

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

O-92/78

OVERSIKT OVER FOSFORTILFØRSLER TIL INNSJØER

Blindern, 14. desember 1978

Saksbehandler Hans Holtan

Medarbeidere: Gjertrud Holtan

Brynjar Hals

Instituttetsjef Kjell Baalsrud

ISBN 82-577-0132-7

## INNHOLDSFORTEGNELSE

|   | Side: |
|---|-------|
| FORORD  | 3     |
| 1. INNLEDNING   | 4     |
| 2. INNSJØERS FOSFORINNHold I RELASJON TIL<br>PLANTEPLANKTONPRODUKSJON OG PLANTEPLANKTONMENGDE | 4     |
| 3. FOSFORKILDER OG FOSFORTILFØRSLER   | 10    |
| Atmosfærens fosforbidrag  | 11    |
| Berggrunnens, løsavsetningenes fosforbidrag   | 11    |
| Fosforbidrag fra skogområder  | 12    |
| Fosforbidrag fra jordbruket   | 12    |
| Fosforbidrag fra spredt bebyggelse  | 13    |
| Fosforbidrag fra kommunale kloakkanlegg - punktutslipp  | 14    |
| Tilføringsgrad  | 15    |
| Fosforbidrag fra urbane områder   | 15    |
| Fosforbidrag fra industri   | 15    |
| Indre fosforkilder  | 15    |
| Fosfortilførsel fra fjerne områder  | 16    |
| 4. TEORETISK BEREGNING AV FOSFORTILFØRSEL TIL NOEN NORSKE INNSJØER                            | 18    |
| Data for noen innsjøer med nedbørfelt og teoretisk belastning                                 | 19-40 |
| 5. KOMMENTARER TIL DE ENKELTE RESULTATER  | 41    |
| Østfold fylke   | 41    |
| Vestfold fylke  | 41    |
| Akershus fylke  | 42    |
| Hedmark fylke   | 43    |
| Oppland fylke   | 44    |
| Buskerud fylke  | 45    |
| Telemark fylke  | 46    |
| Rogaland fylke  | 47    |
| Hordaland fylke   | 47    |
| Sør-Trøndelag fylke   | 48    |
| Nord-Trøndelag fylke  | 48    |
| 6. GENERELLE KOMMENTARER  | 49    |
| LITTERATUR  | 51    |

## FIGURFORTEGNELSE

|   |   |
|---|---|
| Fig. 1. Relasjon mellom middel sommer-klorofyll <u>a</u> og<br>middel total fosforkonsentrasjon om våren for<br>en rekke Japanske og andre innsjøer | 6 |
| Fig. 2. Næringssaltbelastning/innsjøtilstand (trofi)  | 9 |

## FORORD

I brev av 27. oktober 1978 fra Det Kongelige Miljøverndepartement ble Norsk institutt for vannforskning bedt om på teoretisk grunnlag å utarbeide en oversikt over fosfortilførselen til en rekke nærmere spesifiserte vassdrag. Det ble stilt kr. 30.000.- (i brev av 20. november s.å. utvidet til kr. 50.000,-) til rådighet for dette arbeidet som også hvis mulig, skulle omfatte beskrivelse av fysisk/kjemisk/biologisk tilstand og vurdering av kritisk fosforbelastning for vannforekomstene samt oversikt over gjennomførte rensetiltak i deres nedbørfelt.

Da observasjonsdata fra de fleste av de angitte vannforekomster er sparsomme eller mangler fullstendig, har arbeidet vært meget vanskelig.

Ved beregning av fosfortilførselen er det i vesentlig grad anvendt avrenningskoeffisienter hentet fra litteraturen - disse er av generell karakter og således på ingen måte almenyldige. De anvendte data for avløpsanleggenes renseseffekt, avrenning fra spredt bebyggelse o.l. er også meget usikre og må angis med meget store forbehold. Videre er det av stor betydning i hvilken form fosforet foreligger - noe som det ikke har vært mulig å ta stilling til her. Fosfortilførsler fra luft, nedbør og industri har det ikke vært mulig å skaffe data for i løpet av den tiden som ble stilt til rådighet.

De angitte belastningsverdier er vurdert ut fra resultatene av visse empiriske modellbetraktninger. Det generelle datagrunnlaget for testing av slike modeller mangler og modellene må derfor brukes med meget stor reservasjon. Her er det også nødvendig å vurdere eutrofieringsutviklingen over tid samt hvilke mål man setter seg med hensyn til innsjøenes produksjonstilstand. En innsjø kan f.eks. meget vel være i økologisk balanse (harmonisk stoffomsetning) selv om den er noe eutrof. Under arbeidets gang er det blitt helt klart at modellene ikke er almenyldige og i sin nåværende form bare må betraktes som et grovt redskap ved vurdering av utviklingen i våre følsomme og relativt lite belastede innsjøer (oligotrofe innsjøer). Det er meget viktig å arbeide videre med slike modeller for eventuelt å kunne forbedre dem og tilpasse dem til norske innsjøer. Det er også åpenbart stort behov for å fremskaffe et bedre datagrunnlag for beregning av forureningsstilførsler samt data for innsjøenes fysisk-kjemiske og biologiske tilstand.

## 1. INNLEDNING

En økende tilførsel av fosfor til en innsjø fører som regel til en økende planteplanktonproduksjon, og dermed en større algemengde (standing crop) i innsjøens overflatelag. Selv om dette er noe forenklet i et kompleks økosystem, er den generelle gyldighet blitt understreket ved en lang rekke undersøkelser i løpet av de siste tiår. Fosforets rolle som nøkkelement for produksjon av planktonalger er også klart dokumentert for en rekke innsjøer her i landet.

Fosforet som over en gitt periode er tilgjengelig for algevekst i en innsjø, er en funksjon av tilførslene fra eksterne kilder i nedbørfeltet og omsetning eller resirkulering av fosfor i selve innsjøen. I de senere år er det i mange land blitt arbeidet intenst med å fremskaffe relevante tilførselsdata for fosfor og relatere disse til produksjonsforholdene i de respektive vannforekomster. Den indre fosforomsetning synes å være relativt konstant fra år til år. Forandringer i en innsjøes produktivitet med tiden er derfor i vesentlig grad knyttet sammen med endringer i tilførselen av fosfor fra ytre kilder.

For å kunne estimere fosfortilførselen til innsjøer, er det nødvendig å kvantifisere og sammenligne betydningen av disse kilder. En kost - benefit - analyse må således ikke bare omfatte de kvantitative aspekt, men også de kvalitative, dvs. i hvilken form fosforet foreligger. Det er den fosforfraksjon som til enhver tid er tilgjengelig for algevekst som er av betydning i denne sammenheng.

## 2. INNSJØERS FOSFORINNHOLD I RELASJON TIL PLANTEPLANKTON- PRODUKSJON OG PLANTEPLANKTONMENGDE

Om vinteren har innsjøer en relativt høy konsentrasjon av løst fosfor og relativt lavt innhold av planteplankton. Om sommeren er det motsatte tilfelle. Etterhvert som algene øker i antall avtar konsentrasjonen av den løste fosforfraksjon. Det foreligger altså en invers årstidsrelasjon mellom fri næringssalter og planteplankton.

Sawyer (1947) anvendte disse kjennsgjerninger i sine forsøk på å finne en sammenheng mellom algevekst og fosforkonsentrasjon for en gruppe innsjøer i Wisconsin. Han konkluderte med at innsjøer som hadde en fosforkonsentrasjon om vinteren større enn 10 µg P/l (og nitrogenkonsentrasjon større enn 300 µg N/l) ville den påfølgende sommer ha en sjenerende høy algemengde.

Sakamoto (1967) utviklet Sawyers arbeide videre ved å relatere sommerens algemengde i de øvre vannlag (uttrykt som klorofyll a) til fosforkonsentrasjonen i vannmassene på senvinteren eller våren (uttrykt som middelkonsentrasjon gjennom hele vannsøylen). Dillon og Riegler (1974) har senere anvendt denne relasjon på kanadiske innsjøer. Fig. 1 viser at det er en høy korrelasjon mellom sommerklorofyll og vårkonsentrasjoner for fosfor. Den totale fosforkonsentrasjonen om våren er her brukt som indeks, og ikke som et mål for den aktuelle fosformengde som er tilgjengelig for algevekst.

De empiriske fosformodeller som i de senere år er utviklet forutsetter at

- innsjøens algeproduksjon er fosforbegrenset
- vannmassene i innsjøen blir fullstendig blandet
- fosfortilførselen er konstant (på årsbasis)
- sedimentasjon og uttransport av fosfor er direkte proporsjonal med fosforkonsentrasjonen i innsjøen.

Under disse forutsetninger har fosforkonsentrasjonen blitt valgt som en indikator på planteplanktonproduksjon i innsjøer (trofiske status). I de anvendte modeller eller relasjoner forutsetter man at:

Forandringer i total fosfor(P) = tilførsel ÷ sedimentering ÷ uttransport.

$$V \frac{d[P]}{dt} = Q [P]_0 - \sigma [P] V - Q [P] \quad (1)$$

hvor V = innsjøens volum

Q = årlig vanntilførsel

[P] = total fosforkonsentrasjon i innsjøen

$[P]_0$  = midlere total fosforkonsentrasjon i tilløpsvannet

σ = spesifikk sedimentasjonshastighet

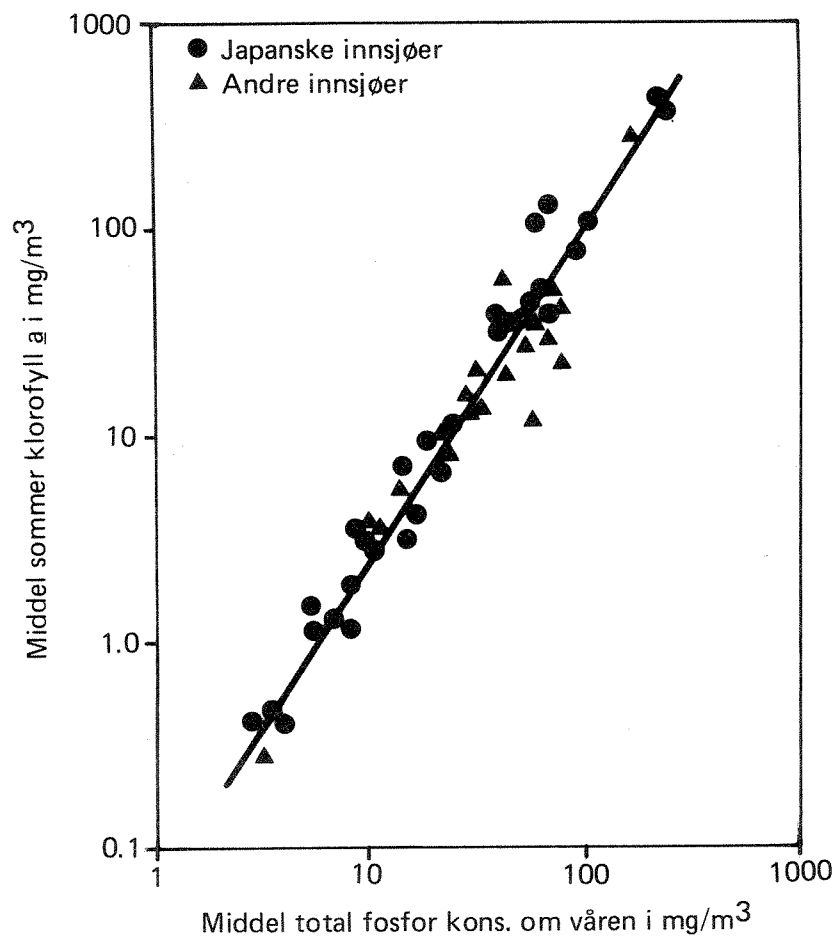


Fig. 1. Relasjon mellom middel sommer klorofyll a og middel total fosforkonsentrasjon om våren for en rekke Japanske og andre innsjøer (etter Dillon 1974).

Ved en steady -state situasjon

$$V \cdot \frac{d [P]}{dt} = 0 \text{ får vi}$$

$$Q [P_0] - \sigma [P] \cdot V - Q [P] = 0$$

$$[P] = \frac{Q [P_0]}{\sigma V + Q}$$

eller (2)  $[P] = [P_0] \cdot \frac{\rho}{\sigma + \rho}$  hvor  $\rho = \frac{Q}{V} = \frac{1}{\tau}$  = den inverse teoretiske oppholdstid.

Alternativt kan også ligning 2 uttrykkes ved belastningsverdier i stedet for ved midlere tilførsel - konsentrasjoner:

$$(3) \quad [P] = \frac{[P_0] \cdot \frac{Q}{V}}{\sigma + \rho} = \frac{[P_0] \cdot \frac{Q}{A}}{\frac{V}{A} (\sigma + \rho)} = \frac{L}{\bar{z} (\sigma + \rho)}$$

hvor  $A$  = innsjøoverflate  
 $L$  = spesifikk fosforbelastning, dvs. tilførsler pr. arealenhet innsjøoverflate  
 $\bar{z}$  = middeldyp (dvs. innsjøvolum : innsjøareal).

Hovedvanskeligheten ved bruk av disse relasjoner er at den spesifikke sedimentasjonshastigheten i de forskjellige innsjøer må bestemmes. Fordi sedimentasjon er brukt for å beskrive alt netto indre tap av fosfor, er det ekstremt vanskelig, for ikke å si umulig, å fremskaffe denne faktor eksperimentelt. Det er derfor gjort forsøk på å fremskaffe verdier for  $\sigma$  på bakgrunn av andre kjente innsjøparametre. Vollenweider (1975) anvendte ligning 3 for å beregne verdier av  $\sigma$  på bakgrunn av et kjent sett av innsjødata. Ved å plote spesifikk sedimentasjonshastighet mot innsjøens middeldyp, fant han

$$(4) \quad \sigma \approx \frac{10}{\bar{z}} \text{ hvor } \bar{z} \text{ er målt i m og } \sigma \text{ i år.}$$

Ved å bruke dette i ligning 3, får vi

$$(5) \quad [P] = \frac{L}{10 + \bar{z} \cdot \rho}$$

Den største akseptable (betenkelige) spesifikke belastning ble definert som det produksjonsnivå man ville få ved en steady-state-situasjon med en fosforkonsentrasjon på 10 mg tot P/m<sup>3</sup>. Det dobbelte av denne verdi, 20 mg tot P/m<sup>3</sup>, ble valgt som nivå for den farlige eller uakseptable belastning.

Ved å bruke de anvendte grenseverdier for fosforkonsentrasjoner i innsjøer, får man følgende uttrykk for betenkelig og ikke akseptabel belastning: (g total fosfor/m<sup>2</sup> og år):

$$L_{10} = .01 (10 + \bar{z}\rho) \quad (6a)$$

$$L_{20} = .02 (20 + \bar{z}\rho) \quad (6b)$$

I fig. 2 er en slik fosforbelastning/innsjøtilstands relasjon illustrert. Denne kurve er blitt mye brukt som redskap for å bestemme hvilke nivåer fosforbelastningen ikke bør overskride for å opprettholde relativt akseptable tilstander i innsjøer.

Både Vollenweider, Dillon og Riegler og andre som har arbeidet med disse problemer har anvendt nevnte grenseverdier (hhv. 10 og 20 µg tot P/l) for betenkelige og uakseptable fosforkonsentrasjoner i innsjøer. Imidlertid er det en rekke faktorer som må taes med i vurderingen når slike grenseverdier anvendes:

- hvilket produksjonsnivå ønsker man innsjøen skal ligge på (målsetning),
- modellene tar ikke hensyn til den indre belastning - noe som kan medføre en underestimert betydning av den ytre belastning særlig for grunne innsjøer hvor sedimentene mer effektivt deltar i stoffomsetningen.
- saltfattige vanntyper er mer ømfintlige for forurensningstilførsler enn kalkrike - våre innsjøer er saltfattige og har dårlige biologiske bufferegenskaper.
- modellene tar ikke hensyn til de høyere ledd i næringskjeden.



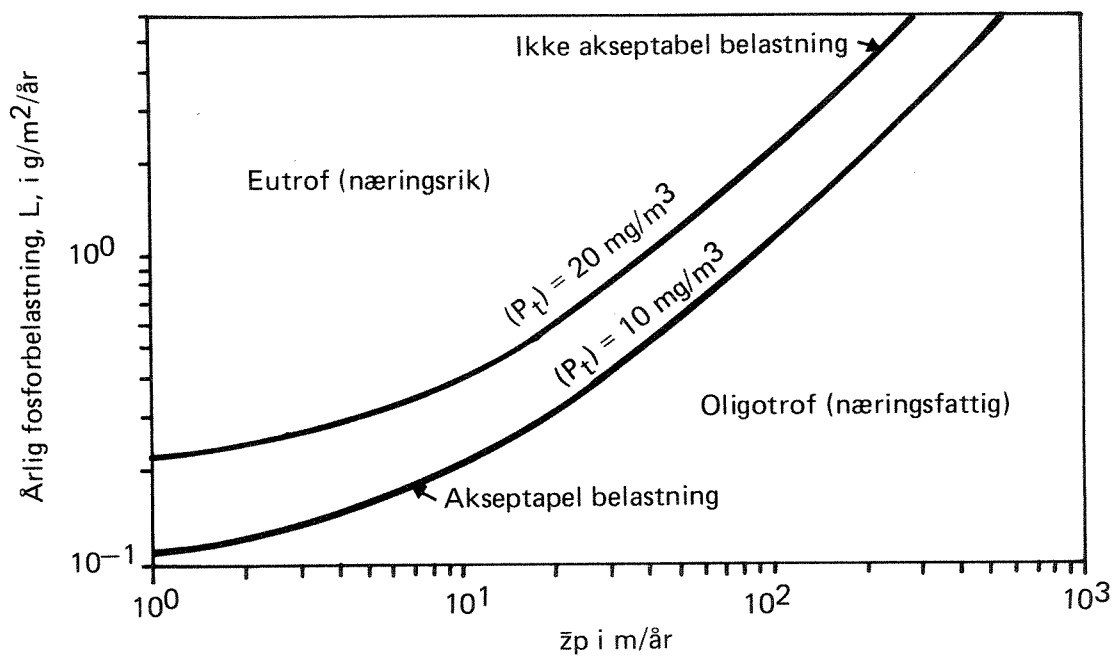


Fig. 2. Næringssaltbelastning/innsjøtilstand (trofi)  
Etter Vollenweider (1975).

- Dessuten er det meget vesentlig å være klar over at en innsjø som er ut-satt for kontinuerlig belastning, dvs. at fosfortilførselen er større enn fosforutførselen, gradvis vil bevege seg mot den betenkelige belastning. Det er derfor meget viktig at forurensningstilførslene blir holdt under kontroll, slik at en uheldig utvikling ikke finner sted.

Ligning 6a og 6b er benyttet i denne utredning ved vurdering av betenkelige og ikke akseptable fosforbelastninger. Bl.a. av momenter nevnt ovenfor er det meget viktig at resultatene betraktes som retningsgivende eller orienterende. Slike beregnede verdier må under ingen omstendighet betraktes som eksakte grenseverdier.

Det utføres i dag en stor forskningsaktivitet for eventuelt å kunne forbedre disse empiriske modeller. Videre er en rekke forskere opptatt med å utvikle funksjonelle eutrofieringsmodeller. Det er derfor mulig at man i nær fremtid vil kunne ha et bedre redskap for å bedømme innsjøers forurensningstilstand og utvikling, og som derfor kan være mer nyttig som forvaltningsredskap.

Uansett modelltype og betraktningsmåte, er det nødvendig systematisk å samle inn relevante data om tilførsler, fysisk-kjemiske og biologiske forhold i innsjøene - dvs. data som kan anvendes for å bedømme utviklingstendenser, belastningsnivåer osv.

### 3. FOSFORKILDER OG FOSFORTILFØRSLER

Fosforinnholdet i innsjøer, vassdrag, fjordområder og havet har primært sin opprinnelse i berggrunnen eller i atmosfæren. De sekundære fosforkilder er knyttet til fosforets anvendelses- og forbruksområder samt visse stoffomsetningsprosesser. Kildene kan være eksterne eller interne.

De eksterne kilder kan deles i punktkilder og diffuse kilder, og man skiller gjerne mellom:

- nedbør og atmosfæriske tørravsetninger
- berggrunn, løsavsetninger,
- områder med skog og vegetasjon
- jordbruksområder og jordbruksaktiviteter
- spredt bosetting
- overflateavrenning fra tettsteder, veier o.l.
- industribedrifter
- kloakkanlegg av forskjellig art og kvalitet

Alt etter sin opprinnelse tilføres fosforet i forskjellige former som:

- løst reaktivt fosfor eller fosfat-fosfor
- organisk løst fosfor
- partikulært fosfor (organisk eller uorganisk)

I perioder med stor vannføring i tilløpselvene kan den partikulære fraksjonen være meget stor sammenlignet med den løste. Dette skyldes utvasking, utgraving eller erosjon både i og utenfor elveleiet. Spesielt er dette tilfelle om våren, f.eks. ved erosjon i åpent åkerlandskap.

De løste fosforfraksjoner er imidlertid av størst betydning i eutrofisammenheng idet det er disse fraksjoner - særlig fosfatfosforet - som har størst betydning for algeveksten - ihvertfall på kort sikt.

#### Atmosfærens fosforbidrag

Nedbørens og tørravsetningenes (atmosfærens) bidrag med hensyn til fosforbelastninger av en vannforekomst er ikke bare avhengig av atmosfærens innhold av fosfor, men også av vannoverflatens størrelse i forhold til nedbørfeltet. Fosfor som faller ned på landarealer vil nemlig hurtig binde seg til jordsmonn, løsavsetninger eller generelt jordbunnen.

Her i landet er det få undersøkelser over nedbørens og atmosfærens innhold av fosfor. I Sverige har Ahl (1977) oppgitt at bakgrunnsverdier for atmosfærens bidrag varierer fra 0,08 til 0,3 kg total fosfor pr. ha og år, hvorav den høyeste verdi gjelder Syd-Sverige. Det regnes med at det atmosfæriske bidrag har økt på grunn av ulike menneskelige aktiviteter. På grunn av manglende data vil denne kilde ikke bli tatt med i vurderingene nedenfor.

#### Berggrunnens, løsavsetningenes fosforbidrag

Det er flere faktorer som påvirker fosfortilførselen fra berggrunn og løsavsetninger, som f.eks.:

- klima, nedbør og nedbørvariasjoner
- undergrunnens kvalitative egenskaper
- topografi
- vegetasjonsdekke

Det er derfor grunn til å tro at det er store regionale variasjoner med hensyn til fosforbidraget fra denne kilde. Dette er også grunnen til at det i litteraturen oppgis meget varierende verdier for forvittringsbidraget fra berggrunn og løsavsetninger. Svenske undersøkelser viser en variasjonsbredde fra 0,04 til 0,07 kg tot fosfor pr. ha og år. Her i landet har det vært vanlig å bruke 0,06 kg total fosfor pr. ha og år, men den senere tids undersøkelsesresultater synes å tyde på at denne verdi ofte er noe for høy.

#### Fosforbidrag fra skogområder

Tilførslene fra skogområder er avhengig av flere forhold, bl.a. bonitet, gjødsling, grøfting o.l. Erfaringsmessig avviker ikke bidraget pr. arealenhet skog i vesentlig grad fra mer uproduktive områder. Vanligvis blir det her i landet brukt en middelvei på 0,065 kg total fosfor pr. ha og år for slike områder. Det er mulig denne verdi kan være noe for høy.

#### Fosforbidrag fra jordbruket

Jordbruk er et inngrep i naturen som i første omgang influerer på markoverflaten og de terrestriske forhold, men som også kan få betydelige konsekvenser for vannkvaliteten og de biologiske forhold i tilstøtende vannsystemer.

Oppdyrkningsprosessen er i seg selv et inngrep som kan medføre en økt belastning av vannforekomster med partikulære og løste stoffer ved f.eks. økt erosjon og utvasking av salter. Det er imidlertid produksjon, bruk og håndtering av gjødselstoffer som medfører de største konsekvenser. Den senere tids omlegging og intensivering av jordbruksdriften med bl.a. stadig større forbruk av gjødselstoffer, øker betydningen av denne aktivitet som forureningskilde.

Tilførselen av fosfor fra jordbruksaktiviteter kan variere betydelig fra område til område, avhengig av klima, jordsmonn, topografi, driftsmåte (husdyr, kontra åkerbruk), gjødslingsrutiner osv. Tilførselen beror således ikke bare på forbruk av gjødselstoffer, men er i høy grad beroende på tilførselen av erosjonsprodukter fra jordbruksområder. Særlig er slike tilførsler store om våren på grunn av snøsmelting og nedbør og følgelig stor erosjon fra

særlig åpent åkerlandskap. Utkjøring av gjødsel på frossen mark har betydning på grunn av overflateavrenning av slike stoffer. Videre er det på enkelte steder utvasking av gjødselstoffer på grunn av oversvømmelsessituasjoner. I tillegg kommer tilførsel av silopressaft, sig fra gjødselkjellere o.l.

For den enkelte vannforekomst har det stor betydning hvor jordbruksaktiviteten foregår - i de nære områder eller i mer fjerntliggende. Grøftesystem, jordbruksvanning o.l. er også viktig i denne sammenheng.

Bortsett fra visse undersøkelser ved NLH, er det her i landet gjort lite for å skaffe til veie relativt pålitelige koeffisienter for tilførsel av gjødselstoffer fra jordbruksaktiviteter. Koeffisientene som har vært brukt for å beregne jordbrukets fosforbidrag, spenner over en variasjonsbredde fra 20 til mer enn 500 kg totalfosfor pr. km<sup>2</sup> og år (Holmen 1978). Selv om avrenningen av grunner nevnt ovenfor nødvendigvis må variere fra område til område, er det lite sannsynlig at spredningen generelt sett er så stor. I Sverige har T. Ahl (1977) brukt verdier på 50-60 kg total fosfor pr. km<sup>2</sup> og år for Mälaren-området. I forbindelse med NIVA's Telemarkprosjekt er det foretatt målinger i 20 mindre jordbruksfelter med generelle jordbruksaktiviteter (blanding husdyrhold, korndyrking o.l.). De foreløpige resultater herfra tyder på at den midlere koeffisienten for rene jordbruksarealer er av størrelsesorden 35 kg total fosfor pr. km<sup>2</sup> og år, men hvis avrenning fra befolkning og driftsbygninger taes med, er verdien bortimot dobbelt så stor (S. Rognerud og D. Berge, pers.medd.) Med bakgrunn i litteraturverdier og resultater fra de senere undersøkelser er det naturlig her å bruke en koeffisient på 50 kg total fosfor pr. km<sup>2</sup> og år ved beregning av jordbrukets fosforbidrag.

#### Fosforbidrag fra spredt bebyggelse

I følge Statistisk årbok bor på landsbasis 66% av befolkningen i såkalte tettbygde strøk, mens resten, ca. 34% bor spredt. I nedbørfeltene til de fleste innsjøer er den spredte bosetting langt større enn den tette.

Fosforbidraget fra den spredte bosetting varierer sterkt fra husstand til husstand avhengig av hvordan det enkelte hus har ordnet sitt avløpsforhold. Enkelte boliger anvender gammeldagse utedoer, mens andre har full sanitær standard med vannklosetter, vaskemaskiner, oppvaskmaskiner osv. Fra noen boliger går avløpet i grunnen, andre anvender overflateinfiltrasjon, atter andre

fører avløpet gjerne via septiktanker direkte til vassdrag. Det er således meget vanskelig å fastslå en generell faktor for fosforbidraget fra slik bebyggelse. Visse data og informasjoner som er fremkommet i forbindelse med "Mjøsaksjonen" tyder på at noe over 50% av fosforbidraget fra den spredte bebyggelse transporteres til vassdrag (Gillund pers. medd.).

#### Fosforbidrag fra kommunale kloakkanlegg - punktutslipp.

Kloakkvannet som produseres i tettsteder blir samlet i større og mindre kloakkanlegg hvorfra det enten urensset eller etter en eller annen form for rensing tilføres resipienten som punktutslipp. Renseanleggenes effekt beror på type rensesanlegg, konstruksjon og drift. I "Retningslinjer for dimensjon av avløpsanlegg" SFT TA 525/Aug -78. oppgis følgende renseeffekt med hensyn til fosfor for forskjellige typer rensesanlegg.

|                    |           |                              |           |
|--------------------|-----------|------------------------------|-----------|
| Mekanisk           | 10 - 15 % | Biofilter/biorotor m/felling | 85 - 95 % |
| Primærfelling      | 85 - 96 % | Forfelling                   | 85 - 95 % |
| Sekundærfelling    | 85 - 95 % | Etterfelling                 | 90 - 95 % |
| Aktivslam          | 15 - 20 % | Biodam m/felling             | 75 - 95 % |
| Biofilter/Biorotor | 15 - 20 % | Biodam m/forfelling          | 90 - 95 % |
| Biodam             | 20 - 30 % | Biodam m/etterfelling        | 90 - 95 % |
| Simultanfelling    | 80 - 95 % |                              |           |

Ledningssystemets kvalitet (tilførselsgraden) er imidlertid av stor betydning for forurensningstilførselen til en vannforekomst. Dette ved siden av varierende driftsresultater på rensesanleggene må tillegges betydning ved vurdering av den egentlige renseeffekt. Rent generelt anvender SFT følgende renseeffekter for fosfor:

|                         |      |
|-------------------------|------|
| Mekaniske rensesanlegg  | 15 % |
| Biologiske rensesanlegg | 25 % |
| Kjemiske fellingsanlegg | 80 % |

Her i landet regner man med en fosforproduksjon på 2,5 g fosfor pr. person og døgn, hvorav minst 25 % stammer fra fosfor i vaskemidler.

### Tilføringsgrad

Det er en kjent sak at på grunn av utette ledninger, overløp o.l. når ikke alt kloakkvannet frem til renseanlegget. Undersøkelser har vist at tilføringsgraden til f.eks. Nordre Follo renseanlegg er 53% (NIVA-rapport O-116/76. Tilføringsgrad for renseanlegg, Oslo 13. september 1978). Imidlertid må man regne med at mye av det resterende kloakkvann blir igjen i feltet - infiltrasjon. I områder med avskjærende kloakksystem er det kanskje naturlig å anvende en tilføringsgrad på ca. 80%. Dette er imidlertid en antagelse som må undersøkes nærmere.

### Fosforbidrag fra urbane områder

Fosforbidraget som tilføres vannforekomster via overflateavrenning fra tettbygde områder (fra gater, veier, gårdsplasser o.l.) kan variere sterkt avhengig av andel tette flater o.l. Vanligvis regner man med en tilførsel på fra 1 kg til 2 kg total fosfor pr. ha og år. (pers.medd. fra L. Vråle samt oppl. fra SFT).

### Fosforbidrag fra industri

Det er en lang rekke industribransjer som kan ha betydning som bidragsyttere av fosfor til vannforekomster. Nevnes kan:

- Treforedlingsindustri
- Gruve, jern- og stålindustri
- Kjemisk industri
- Næringsmiddelindustri
- Gjødselindustri
- Tekstil- og lærindustri

I denne rapport er ikke industriens fosforbidrag vurdert.

### Indre fosforkilder

Fosforomsetningen i vannmassene og mellom vannfasen og sedimentene er det vanskelig å ha noen mening om uten inngående studier.

### Fosfortilførsel fra fjerne områder

Det er alltid store vanskeligheter med teoretisk å beregne fosfortilførselen til en innsjø. Blant annet er det av stor betydning hvor i nedbørfeltet forurensningskilden, jordbruksaktiviteten o.l. befinner seg. Særlig er det vanskelig å beregne belastningens størrelse hvis det ligger en eller flere innsjøer mellom forurensningskilden og den aktuelle vannforekomst. Dette har sammenheng med innsjøens egenskap som buffersystem. Patalas (1977) har beregnet fosfortilførselen til de store sjøer i USA/Canada etter følgende ligning:

$$L_p = E_s \cdot \frac{A_d}{A_o} + \frac{E_c \cdot C}{A_o} + 0,15 L_{AP} \frac{A_o(a)}{A_o}$$

hvor  $E_s$  = tilførsel fra landområder i gram total fosfor (P) pr  $m^2$  av nedbørfeltet pr. år (arealavrenning).

$A_d$  = nedbørfelt i  $m^2$

$A_o$  = innsjøoverflate i  $m^2$

$E_c$  = årstilførsel av fosfor i gram pr. person

$C$  = antall personer

$L_{AP}$  = total fosforbelastning for den nederste innsjø i vassdraget ovenfor i gram P/ $m^2$  innsjøoverflate og år.

$\frac{A_o(a)}{A_o}$  = forholdet mellom overflatearealet av den nederste innsjø i vassdraget ovenfor og den aktuelle innsjø.

0,15 er fremkommet ved å anta at 85% av fosforet som tilføres den siste innsjø ovenfor holdes tilbake i denne innsjø.

Dillon og Riegler (1974) har forsøkt å beregne den såkalte retensjon koeffisienten, R, dvs. den andel av fosfortilførselen som blir holdt tilbake i innsjøen:

$$R = \frac{P_{inn} - P_{ut}}{P_{inn}} \quad (7)$$

eller 
$$R = \frac{[Po] - [P]}{[Po]} \quad \text{dvs. } [P] = [Po] \cdot (1-R)$$



anvender vi dette i ligning (2)  $[P] = [Po] \cdot \frac{\rho}{\sigma+\rho}$ , får vi:

$$[Po] \frac{\rho}{\sigma+\rho} = [Po] \cdot (1-R)$$

$$(8) \quad R = 1 - \frac{\rho}{\sigma+\rho} = \frac{\sigma}{\sigma+\rho}$$

Vanskeligheten består her i å bestemme den spesifikke sedimentasjonskoeffisienten  $\sigma$ . Vollenweider (1976) har ut fra statistiske betraktninger funnet følgende forhold mellom den spesifikke sedimentasjonskoeffisient og den hydrauliske residenstiden (inverse oppholdstid) for innsjøen:

$$(9) \quad \sigma = \sqrt{\rho}$$

Anvender vi dette i 8, får vi følgende uttrykk for R:

$$(10) \quad R = \frac{1}{1+\sqrt{\rho}}$$

For Mjøsa blir verdien for R i henhold til (10):

$$R = \frac{1}{1+\sqrt{1/6}} = 0,71 \text{ dvs. } 71\% \text{ av det tilførte fosfor holdes tilbake i innsjøen.}$$

Dette er i god overensstemmelse med observasjonsresultatene fra denne innsjø. I hvilken grad koeffisienten (10) passer for andre norske innsjøer er ikke kjent.

#### 4. TEORETISK BEREGNING AV FOSFORTILFØRSEL TIL NOEN NORSKE INNSJØER

I følgende tabeller er de viktigste data om en del innsjøer og deres nedbørfelt samlet. Data angående befolkning og arealbruk er hentet fra statistiske årbøker. Fosforbelastningen er beregnet ut fra koeffisienter nevnt foran. Reduksjon av belastningen på grunn av tilbakeholdelse i ovenforliggende innsjøer er også beregnet i noen tilfeller.

Ved vurdering av de forskjellige innsjøers forurensningstilstand er de nevnte modeller anvendt som hjelpemidler. Da det på grunn av manglende fysisk-kjemiske og biologiske data fra de fleste innsjøer ikke har vært mulig å teste de anvendte modellers gyldighet for den enkelte innsjø, vil det være uforsvarlig å anvende dem for bl.a. beregning av grenseverdier for fosforbelastning.

Usikkerheter både med hensyn til resultatene av belastningsberegningene samt modellenes gyldighet, er årsaken til at det her ikke blir oppgitt grenseverdier som lett kan gi misvisende informasjon.

Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Østfold

|   | I sesjø | Vansjø | Lyseren |
|---|---------|--------|---------|
| <u>Innsjødata:</u>                              |         |        |         |
| H. o. h., m                                     | 36      | 24,5   | 16,3    |
| Overfl.areal (A), km <sup>2</sup>               | 1       | 35,8   | 7,0     |
| Største dyp (Z), m                              | 18      | 41     | 53      |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | ca 10   | 7,4    | 9       |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | ca 10   | 263,9  | 67,5    |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 1,1     | 10,8   | 0,39    |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 34,7    | 341,2  | 12,25   |
| Teor.opph.tid ( $\tau$ ) år                     | 0,29    | 0,77   | 5,5     |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |         |        |         |
| Nedbørfelt                                      | 141     | 676,2  | 29      |
| Lite prod. område                               | 3       | 101,2  | 1       |
| Skog  | 108     | 411    | 14      |
| Jordbruksareal                                  | 20      | 114    | 6       |
| Urbant areal                                    | 2       |        |         |
| Vann  | 8       | 50     | 8       |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |         |        |         |
| Bosetting, tettsted                             | 700     | 4417   |         |
| Bosetting, spredt                               | 400     | 14283  | 800     |

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forureningsbegrensende tiltak. tettsted: |        |        |         |
|--|--------|--------|---------|
|  | Isesjø | Vansjø | Lyseren |
| Mekaniske anlegg   |        |        |         |
| Biologiske anlegg  |        |        |         |
| Kjemiske anlegg  |        | 1300   |         |
| Infiltrasjon o.l.  |        |        |         |
| Ingen rensing  |        |        |         |
| <u>Fosforbelastning i tonn pr. år</u>  |        |        |         |
| Lite prod. område  | 0,066  | 0,901  | 0,054   |
| Skog   | 0,702  | 2,672  | 0,091   |
| Jordbruk   | 1,000  | 5,700  | 0,300   |
| Urbant område  | 0,400  |        |         |
| Industri   |        |        |         |
| Befolkn., tettst.  | 0,639  | 3,081  |         |
| Befolkn. spredt  | 0,183  | 6,517  | 0,365   |
| Total belastning   | 2,99   | 18,871 | 0,810   |
| g P/m <sup>2</sup> overfl. år  | 2,99   | 0,53   | 0,12    |

Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Vestfold

|   | Borrev. | Akersv. | Farrisv. | Gogsjø |
|---|---------|---------|----------|--------|
| <u>Innsjødata:</u>                              |         |         |          |        |
| H. o. h., m                                     | 9       | 16      | 21       | 29     |
| Overfl.areal (A), km <sup>2</sup>               | 2       | 2,56    | 23,05    | 3,32   |
| Største dyp (Z), m                              | 16      | 15      | 131      | 25     |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | 6,5     | 7       | 50       | 7,6    |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 13      | 19,5    | 1100     | 26     |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 0,64    | 0,36    | 12       | 3,8    |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 20,18   | 11,35   | 378,4    | 119,8  |
| Teor.opph.tid (T) år                            | 0,64    | 1,72    | 3,0      | 0,3    |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |         |         |          |        |
| Nedbørfelt                                      | 32      | 18      | 480      | 190    |
| Lite prod. område                               | 10      | 2,6     | 43       | 10     |
| Skog  | 8,2     | 3,5     | 380      | 144    |
| Jordbruksareal                                  | 11,8    | 5,5     | 10       | 30     |
| Urbant areal                                    |         |         | 2        |        |
| Vann  | 2       |         | 45       | 6      |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |         |         |          |        |
| Bosetting, tettsted                             |         |         | 518      |        |
| Bosetting, spredt                               | 600     | 350     | 1632     | 3700   |

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forurensningsbegrensende tiltak, tettsted: |         |         |          |        |
|--|---------|---------|----------|--------|
|  | Borrev. | Akersv. | Farrisv. | Gogsjø |
| Mekaniske anlegg   |         |         |          |        |
| Biologiske anlegg  |         |         | 750      | 170    |
| Kjemiske anlegg  |         |         |          |        |
| Infiltrasjon o.l.  |         |         |          |        |
| Ingen rensing  |         |         |          |        |
| <b>Fosforbelastning i tonn pr. år</b>  |         |         |          |        |
| Lite prod. område  | 0,07    | 0,016   | 0,53     | 0,096  |
| Skog   | 0,05    | 0,023   | 2,47     | 0,936  |
| Jordbruk   | 0,59    | 0,275   | 0,50     | 1,500  |
| Urbant område  |         |         | 0,40     |        |
| Industri   |         |         |          |        |
| Befolkn., tettst.  |         |         | 0,51     | 0,116  |
| Befolkn. spredt  | 0,27    | 0,160   | 0,64     | 1,611  |
| Total belastning   | 0,98    | 0,474   | 5,05     | 4,259  |
| g P/m <sup>2</sup> overfl. år  | 0,49    | 0,19    | 0,22     | 1,28   |

Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Akershus

|   | Kolbotnv. | Gjersjøen | Maridalsv. | Hurdalsjø | Øyeren   |
|---|-----------|-----------|------------|-----------|----------|
| <u>Innsjødata:</u>                              |           |           |            |           |          |
| H. o. h., m                                     | 95        | 42        | 63         | 175       | 103      |
| Overfl.areal (A), km <sup>2</sup>               | 0,303     | 2,68      | 3,9        | 31,1      | 87       |
| Største dyp (Z), m                              | 18,5      | 64        | 45         | 59        | 70,5     |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | 10,3      | 23        | 18         | 24,4      | 13,16    |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 3,1       | 61,2      | 79         | 756       | 1121,15  |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 0,044     | 1,26      | 5,45       | 10,3      | 683      |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1,4       | 39,74     | 171,87     | 324,8     | 21539,09 |
| Teor.opph.tid (T) år                            | 2,2       | 1,54      | 0,46       | 2,33      | 0,052    |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |           |           |            |           |          |
| Nedbørfelt                                      | 2,96      | 87,2      | 251,6      | 572,2     | 39964    |
| Lite prod. område                               |           | 2,15      | 9          | 125,2     | 22895    |
| Skog  | 1         | 60,46     | 190        | 383       | 12930    |
| Jordbruksareal                                  |           | 13,20     | 3          | 23        | 1949,6   |
| Urbant areal                                    | 0,96      | 6,64      |            |           |          |
| Vann  | 1         | 4,75      | 50         | 41        | 2252     |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |           |           |            |           |          |
| Bosetting, tettsted                             | 7155      | 21350     |            |           | 219362   |
| Bosetting, spredt                               |           | 150       | 100        | 3500      | 203568   |

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forurensningsbegrensende tiltak, tettsted: |                    |                    |            |           |        |
|--|--------------------|--------------------|------------|-----------|--------|
|  | Kolbotnv.          | Gjersjøen          | Maridalsv. | Hurdalsjø | Øyeren |
| Mekaniske anlegg   | Avskj. kloakkled.  | Avskj. kloakkled.  |            |           | 63460  |
| Biologiske anlegg  | Ant.tilf. grad 80% | Ant.tilf. grad 80% |            |           | 50000  |
| Kjemiske anlegg  | Rest 1,3 tonn P/år | Rest 3,9 tonn P/år |            |           | 100000 |
| Infiltrasjon o.l.  |                    |                    |            |           |        |
| Ingen rensing  |                    |                    |            |           |        |
| <b>Fosforbelastning i tonn pr. år</b>  |                    |                    |            |           |        |
| Lite prod. område  | 0,006              | 0,041              | 0,354      | 0,751     |        |
| Skog   | 0,007              | 0,393              | 1,235      | 2,490     |        |
| Jordbruk   |                    | 0,660              | 0,150      | 1,150     |        |
| Urbant område  | 0,192              | 1,328              |            |           |        |
| Industri   |                    |                    |            |           |        |
| Befolkn., tettst.  | 1,300              | 3,900              |            |           |        |
| Befolkn. spredt  |                    | 0,068              | 0,046      | 1,597     |        |
| Total belastning   | 1,505              | 6,390              | 1,785      | 5,988     |        |
| g P/m <sup>2</sup> overfl. år  | 4,97               | 2,38               | 0,46       | 0,19      |        |



Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Hedmark

|   | Mjøsa   | Storsj.<br>Odal | Storsjøen i |           | Engeren |
|---|---------|-----------------|-------------|-----------|---------|
|   |         |                 | Rendal før  | Rendal nå |         |
| <u>Innsjødata:</u>                              |         |                 |             |           |         |
| H. o. h., m                                     | 121     | 130             | 251         | 251       | 468     |
| Overfl.areal (A), km <sup>2</sup>               | 365     | 44,3            | 50          | 50        | 12      |
| Største dyp (Z), m                              | 449     | 17              | 309         | 309       | 84      |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | 153     | 7               | 144         | 144       | 34,4    |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 56244   | 308,5           | 7200        | 7200      | 412,8   |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 320     | 10              | 33,8        | 65,7      | 7,5     |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 10091,5 | 315,4           | 1065,9      | 2072,9    | 238     |
| Teor.opph.tid (T) år                            | 6       | 1               | 6,75        | 3,47      | 1,73    |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |         |                 |             |           |         |
| Nedbørfelt                                      | 16079   | 774             | 2270        | x) 4476   | 394     |
| Lite prod. område                               | 8175    | 131             | 671         | 2511      | 213     |
| Skog  | 6263    | 588             | 1522        | 1847      | 82      |
| Jordbruksareal                                  | 1030    | 30              | 34          | 125       | 5       |
| Urbant areal                                    | 19      | -               |             |           |         |
| Vann  | 546     | 45              | 56          | 125       | 14      |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |         |                 |             |           |         |
| Bosetting, tettsted                             | 77649   |                 |             | x) 5389   |         |
| Bosetting, spredt                               | 118451  | 7000            | 4000        | ca 4300   | 700     |

x) belastning fra Glåmas nedbørfelt er beregnet i henhold til overførte vannmengder.

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forurensningsbegrensende tiltak, tettsted: |  |                 |             |           |         |     |
|--|--|-----------------|-------------|-----------|---------|-----|
|  | Mjøsa  | Storsj.<br>Odal | Storsjøen i |           | Engeren |     |
|  |  |                 | Rendal før  | Rendal nå |         |     |
| Mekaniske anlegg   | Vesentlig biologisk-kjemiske eller kjemiske anlegg |                 |             |           |         |     |
| Biologiske anlegg  |  |                 |             | 1200      |         |     |
| Kjemiske anlegg  |  |                 |             |           | 5440    | 300 |
| Infiltrasjon o.l.  |  |                 |             |           |         |     |
| Ingen rensing  |  |                 |             |           |         |     |
| <b>Fosforbelastning i tonn pr. år</b>  |  |                 |             |           |         |     |
| Lite prod. område  | 52,326   | 1,056           | 4,362       | 15,816    | 1,362   |     |
| Skog   | 40,710   | 3,822           | 9,893       | 12,006    | 0,533   |     |
| Jordbruk   | 51,500   | 1,500           | 1,700       | 6,250     | 0,250   |     |
| Urbant område  | 3,800  |                 |             |           |         |     |
| Industri   | 45,000   |                 |             |           |         |     |
| Befolkn., tettst.  | 14,171   |                 |             | 1,814     |         |     |
| Befolkn. spredt  | 54,043   | 3,194           | 1,825       | 1,378     | 0,238   |     |
| Total belastning   | 261,55   | 9,572           | 17,78       | 37,264    | 2,383   |     |
| g P/m <sup>2</sup> overfl. år  | 0,72   | 0,22            | 0,36        | 0,74      | 0,20    |     |

Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Oppland

|   | Strondafj. | Randsfj. | Jarenavatn | Einavatn |
|---|------------|----------|------------|----------|
| <u>Innsjødata:</u>                              |            |          |            |          |
| H. o. h., m                                     | 353        | 134      | 194        | 397      |
| Overfl.areal (A), km <sup>2</sup>               | 13         | 136,9    | 1,7        | 13,24    |
| Største dyp (Z), m                              | ca 100     | 120,5    | 38         | 52       |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | ca 40      | 44,4     | 12,6       | 17       |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 520        | 6080     | 21,4       | 225,4    |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 38,3       | 58,6     | 1,46       | 2,54     |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1207,8     | 1848     | 46,04      | 80       |
| Teor.opph.tid (T) år                            | 0,43       | 3,3      | 0,46       | 2,8      |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |            |          |            |          |
| Nedbørfelt                                      | 1709       | 3663     | 111        | 145      |
| Lite prod. område                               | 1486,1     | 1549,9   | 2          | 3        |
| Skog  | 79         | 1767     | 38         | 105      |
| Jordbruksareal                                  | 95,9       | 196,1    | 68         | 20       |
| Urbant areal                                    | 2          |          | 1          | 1        |
| Vann  | 46         | 150      | 2          | 16       |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |            |          |            |          |
| Bosetting, tettsted                             | 2775       | 9194     | 1185       | 396      |
| Bosetting, spredt                               | 9773       | 20470    | 4815       | 969      |

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forurensningsbegrensende tiltak, tettsted: |            |          |            |          |
|--|------------|----------|------------|----------|
|  | Strondafj. | Randsfj. | Jarenvatn  | Einavatn |
| Mekaniske anlegg   |            |          |            |          |
| Biologiske anlegg  | 2000       | 3455     | 250        | 250      |
| Kjemiske anlegg  |            | 7470     | Avskjær.   |          |
| Infiltrasjon o.l.  |            |          | kloakkled. |          |
| Ingen rensing  |            |          | ledning    |          |
|  |            |          | f. 935 pe. |          |
| <u>Fosforbelastning i tonn pr. år</u>  |            |          |            |          |
| Lite prod. område  | 9,193      | 10,199   | 0,024      | 0,114    |
| Skog   | 0,514      | 11,486   | 0,247      | 0,683    |
| Jordbruk   | 4,795      | 9,805    | 3,400      | 1,000    |
| Urbant område  | 0,400      |          | 0,200      | 0,200    |
| Industri   |            |          |            |          |
| Befolkn., tettst.  | 2,076      | 3,727    | 0,171      | 0,304    |
| Befolkn. spredt  | 4,459      | 4,355    | 2,197      | 0,442    |
| Total belastning   | 21,437     | 39,572   | 6,239      | 2,743    |
| g P/m <sup>2</sup> overfl. år  | 1,65       | 0,29     | 3,67       | 0,21     |

Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Buskerud

|   | Fiskumv. | Eikeren | Tyrifj. | Krøderen | Sperillen |
|---|----------|---------|---------|----------|-----------|
| <u>Innsjødata:</u>                              |          |         |         |          |           |
| H. o. h., m                                     | 18       | 19      | 63      | 133      | 149       |
| Overfl.areal (A), km <sup>2</sup>               | 3,05     | 25,7    | 134     | 41       | 37,6      |
| Største dyp (Z), m                              | 20       | 154     | 295     | 130      | 123       |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | 6        | 94,4    | 114     | 33       | 38,5      |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 18       | 2426    | 13830   | 1337     | 1647      |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 10,2     | 7,1     | 170     | 120      | 90        |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 321,7    | 223,9   | 5361,12 | 3784,32  | 2838,24   |
| Teor.opph.tid (T) år                            | 0,06     | 10,84   | 2,58    | 0,35     | 0,58      |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |          |         |         |          |           |
| Nedbørfelt                                      | 508,5    | 352,3   | 9808    | 5094     | 4590      |
| Lite prod. område                               | 58,4     | 4,6     | 4781    | 3848     | 3023      |
| Skog  | 404,9    | 286,2   | 3926    | 952      | 1237      |
| Jordbruksareal                                  | 40,7     | 31,5    | 454     | 109      | 137       |
| Urbant areal                                    | 1,5      | 1       | 8       | 4        | 2         |
| Vann  | 3        | 29      | 639     | 181      | 191       |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |          |         |         |          |           |
| Bosetting, tettsted                             | 533      | 533     | 35720   | 6352     | 2971      |
| Bosetting, spredt                               | 3845     | 2540    | 55574   | 12659    | 14590     |

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forurensningsbegrensende tiltak, tettsted: |          |         |         |          |           |
|--|----------|---------|---------|----------|-----------|
|  | Fiskumv. | Eikeren | Tyrifj. | Krøderen | Sperillen |
| Mekaniske anlegg   |          |         |         |          |           |
| Biologiske anlegg  |          |         |         | 6352     | 3200      |
| Kjemiske anlegg  | 533      | 533     | 13905   |          |           |
| Infiltrasjon o.l.  |          |         |         |          |           |
| Ingen rensing  |          |         |         |          |           |
| <u>Fosforbelastning i tonn pr. år</u>  |          |         |         |          |           |
| Fra innsjøen ovenfor   |          |         | 33,900  |          | 12,862    |
| Lite prod. område  | 0,368    | 0,202   | 3,037   | 24,174   | 10,091    |
| Skog   | 2,632    | 1,860   | 5,993   | 6,188    | 7,527     |
| Jordbruk   | 2,035    | 1,575   | 6,045   | 5,450    | 2,055     |
| Urbant område  | 0,300    | 0,200   | 1,200   | 0,800    | 0,400     |
| Industri   |          |         |         |          |           |
| Befolkn., tettst.  | 0,097    | 0,097   | 11,343  | 4,347    | 0,134     |
| Befolkn. spredt  | 1,754    | 1,159   | 9,360   | 5,776    | 2,198     |
| Total belastning   | 7,185    | 5,093   | 70,878  | 46,735   | 34,967    |
| g P/m <sup>2</sup> overfl. år  | 2,36     | 0,20    | 0,52    | 1,14     | 0,93      |

Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Telemark

|   | Tinnsjø | Heddalsv. | Norsjø |
|---|---------|-----------|--------|
| <u>Innsjødata:</u>                              |         |           |        |
| H. o. h., m                                     | 190     | 16        | 15     |
| Overfl.areal (A), km <sup>2</sup>               | 51      | 12        | 59     |
| Største dyp (Z), m                              | 460     | 55        | 176    |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | 190     | 37,1      | 86     |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 9708    | 441,25    | 5100   |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 103     | 135       | 298    |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3250    | 4257,4    | 9397,7 |
| Teor.opph.tid (T) år                            | 3       | 0,1       | 0,54   |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |         |           |        |
| Nedbørfelt                                      | 3758    | 5036      | 9975   |
| Lite prod. område                               | 3390    | 4187      | 7468,3 |
| Skog  | 291     | 687       | 1933   |
| Jordbruksareal                                  | 14      | 40        | 174,7  |
| Urbant areal                                    |         | 3         |        |
| Vann  | 63      | 119       | 399    |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |         |           |        |
| Bosetting, tettsted                             | 5569    | 14738     | 24857  |
| Bosetting, spredt                               | 4631    | 9299      | 29066  |

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forurensningsbegrensende tiltak, tettsted: |              |               |               |
|--|--------------|---------------|---------------|
|  | Tinnsjø      | Heddalsv.     | Norsjø        |
| Mekaniske anlegg   | 5569         |               | 300           |
| Biologiske anlegg  |              | 1150          | 5250          |
| Kjemiske anlegg  |              |               | 5000          |
| Infiltrasjon o.l.  |              |               |               |
| Ingen rensing  |              |               |               |
| <u>Fosforbelastning i tonn pr. år</u>  |              |               |               |
| Fra innsjøen ovenfor   | -            | 11,004        | 23,431        |
| Lite prod. område  | 20,72        | 5,118         | 21,268        |
| Skog   | 1,89         | 2,574         | 8,099         |
| Jordbruk   | 0,70         | 1,300         | 6,736         |
| Urbant område  |              | 0,600         |               |
| Industri   |              |               |               |
| Befolkn., tettst.  | 4,32         | 8,104         | 4,444         |
| Befolkn. spredt  | 2,11         | 2,130         | 9,019         |
| <b>Total belastning</b>  | <b>29,74</b> | <b>30,830</b> | <b>73,097</b> |
| <b>g P/m<sup>2</sup> overfl. år</b>  | <b>0,58</b>  | <b>2,57</b>   | <b>1,24</b>   |



Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Rogaland

|   | Frøylandsvatn |
|---|---------------|
| <u>Innsjødata:</u>                              |               |
| H. o. h., m                                     |               |
| Overfl.areal (A), km <sup>2</sup>               | 4,7           |
| Største dyp (Z), m                              | 29            |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | 8             |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 38            |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 2,8           |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 88,3          |
| Teor.opph.tid (T) år                            | ca 0,42       |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |               |
| Nedbørfelt                                      | 52            |
| Lite prod. område                               | 10            |
| Skog  | 4,2           |
| Jordbruksareal                                  | 29,35         |
| Urbant areal                                    | 2,35          |
| Vann  | 6,1           |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |               |
| Bosetting, tettsted                             | 3451          |
| Bosetting, spredt                               | 1732          |

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forurensningsbegrensende tiltak, tettsted: |               |
|--|---------------|
|  | Frøylandsvatn |
| Mekaniske anlegg   | 1500          |
| Biologiske anlegg  |               |
| Kjemiske anlegg  |               |
| Infiltrasjon o.l.  |               |
| Ingen rensing  |               |
| <u>Fosforbelastning i tonn pr. år</u>  |               |
| Lite prod. område  | 0,097         |
| Skog   | 0,027         |
| Jordbruk   | 1,468         |
| Urbant område  | 0,470         |
| Industri   | -             |
| Befolkn., tettst.  | 2,807         |
| Befolkn. spredt  | 0,790         |
| Total belastning   | 5,659         |
| g P/m <sup>2</sup> overfl. år  | 1,20          |

Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Hordaland

|   | Vangsvatn | Lønavatn | Evangervatn | Eidfjordvatn |
|---|-----------|----------|-------------|--------------|
| <u>Innsjødata:</u>                              |           |          |             |              |
| H. o. h., m                                     | 46        | 71,5     | 10          | 19           |
| Overfl.areal (A), km <sup>2</sup>               | 8,0       | 3        | 4,5         | 3,6          |
| Største dyp (Z), m                              | 60        | 27       | 107         | 79           |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | 32,1      | 11       | 48          | 53           |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 257       | 34       | 215         | 191          |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 66,7      | 22,4     | 105         | 44           |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 2043      | 706,4    | 3311,3      | 1388         |
| Teor.opph.tid (T) år                            | 0,126     | 0,048    | 0,065       | 0,14         |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |           |          |             |              |
| Nedbørfelt                                      | 1070      | 375      | 1405        | 1105         |
| Lite prod. område                               | 644,7     | 208      | 849,2       | 1046         |
| Skog  | 366,5     | 142      | 487,5       | 56,8         |
| Jordbruksareal                                  | 39,7      | 16       | 46,2        | 2,2          |
| Urbant areal                                    | 2,1       |          | 2,1         |              |
| Vann  | 17        | 9        | 20          |              |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |           |          |             |              |
| Bosetting, tettsted                             | 5944      |          | 6174        |              |
| Bosetting, spredt                               | 5588      | 2613     | 6762        | 380          |

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forurensningsbegrensende tiltak, tettsted: |           |           |             |              |
|--|-----------|-----------|-------------|--------------|
|  | Vangsvatn | Lønnavatn | Evangervatn | Eidfjordvatn |
| Mekaniske anlegg   | 150       |           | 150         |              |
| Biologiske anlegg  | 400       |           | 400         |              |
| Kjemiske anlegg  |           |           |             |              |
| Infiltrasjon o.l.  |           | 150       |             |              |
| Ingen rensing  | 6050      | 50        | 6250        |              |
| <u>Fosforbelastning i tonn pr. år</u>  |           |           |             |              |
| Lite prod. område  | 3,970     | 1,302     | 5,215       | 6,276        |
| Skog   | 2,382     | 0,923     | 3,169       | 0,369        |
| Jordbruk   | 1,985     | 0,800     | 2,310       | 0,110        |
| Urbant område  | 0,420     |           | 0,420       |              |
| Industri   |           |           |             |              |
| Befolkn., tettst.  | 5,910     |           | 6,093       |              |
| Befolkn. spredt  | 2,250     | 1,192     | 2,800       | 0,173        |
| Total belastning   | 16,917    | 4,217     | 20,007      | 6,928        |
| g P/m <sup>2</sup> overfl. år  | 2,11      | 1,41      | 4,45        | 1,92         |

Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Sør-Trøndelag

|   | Selbusjøen | Jonsvatn | Aursunden |
|---|------------|----------|-----------|
| <u>Innsjødata:</u>                              |            |          |           |
| H. o. h., m                                     | 158        | 149      | 690       |
| Overfl. areal (A), km <sup>2</sup>              | 57,88      | 14,2     | 43,7      |
| Største dyp (Z), m                              | 204        | 97       | 60        |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | 69,0       | 37,0     | 14        |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 3996,4     | 518,9    | 610       |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 99,9       | 1,73     | 20        |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3148       | 54,6     | 630,7     |
| Teor. opph.tid (T) år                           | 1,23       | 9,5      | 1,0       |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |            |          |           |
| Nedbørfelt                                      | 2950       | 79,6     | 830       |
| Lite prod. område                               | 2042       | 1        | 600,6     |
| Skog  | 712        | 51,6     | 171,9     |
| Jordbruksareal                                  | 72         | 11       | 7,5       |
| Urbant areal                                    | 5          | 1        |           |
| Vann  | 119        | 15       | 50,0      |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |            |          |           |
| Bosetting, tettsted                             |            |          | 200       |
| Bosetting, spredt                               | 5070       | 637      | 619       |

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forurensningsbegrensende tiltak, tettsted: |            |          |           |
|--|------------|----------|-----------|
|  | Selbusjøen | Jonsvatn | Aursunden |
| Mekaniske anlegg   |            |          |           |
| Biologiske anlegg  |            |          | 120       |
| Kjemiske anlegg  |            |          |           |
| Infiltrasjon o.l.  |            |          |           |
| Ingen rensing  |            |          | 80        |
| <u>Fosforbelastning i tonn pr. år</u>  |            |          |           |
| Lite prod. område  | 12,96      | 0,10     | 3,90      |
| Skog   | 4,63       | 0,34     | 1,12      |
| Jordbruk   | 3,60       | 0,55     | 0,38      |
| Urbant område  | 1,00       | 0,20     |           |
| Industri   |            |          |           |
| Befolkn., tettst.  |            |          | 0,16      |
| Befolkn. spredt  | 2,31       | 0,29     | 0,28      |
| Total belastning   | 24,5       | 1,48     | 5,84      |
| g P/m <sup>2</sup> overfl. år  | 0,42       | 0,10     | 0,13      |

Data for innsjø, nedbørfelt og teoretisk belastning.

Fylke: Nord-Trøndelag

|   | Snåsavatn | Leksdalsv. | Movatn | Hoklingen | Hammervatn |
|---|-----------|------------|--------|-----------|------------|
| <u>Innsjødata:</u>                              |           |            |        |           |            |
| H. o. h., m                                     | 24        | 83         | 89     | 88        | 16         |
| Overfl.areal (A), km <sup>2</sup>               | 118       | 21,5       | 6,5    | 6,1       | 6,5        |
| Største dyp (Z), m                              | 121       | 25         | 37     | 42        |            |
| Middeldyp ( $\bar{z}$ ), m                      | 46        | 14         | 18     | 23        | 25         |
| Volum (V) . 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      | 5500      | 300        | 116    | 140,2     | 132,5      |
| Middelvannf., m <sup>3</sup> /s                 | 56        | 6,64       | 4,10   | 4,66      |            |
| Årstilførsel (Q).10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1766      | 200        | 128    | 145,7     |            |
| Teor.opph.tid (T) år                            | 3,1       | 1,5        | 0,91   | 0,96      |            |
| <u>Nedbørfelt og arealer, km<sup>2</sup></u>    |           |            |        |           |            |
| Nedbørfelt                                      | 1400      | 166        | 129    | 149       | 186        |
| Lite prod. område                               | 692       | 53         | 18     | 18        | 20         |
| Skog  | 674       | 47         | 91     | 97        | 110        |
| Jordbruksareal                                  | 56        | 42         | 10     | 17        | 30         |
| Urbant areal                                    |           |            |        |           | 3          |
| Vann  |           | 23         | 10     | 17        | 23         |
| <u>Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet</u> |           |            |        |           |            |
| Bosetting, tettsted                             | 829       |            |        |           | 247        |
| Bosetting, spredt                               | 4001      | 1046       | 593    | 1361      | 1596       |

| Antall personer tilkn. renseanlegg og forurensningsbegrensende tiltak, tettsted: |           |            |        |           |            |
|--|-----------|------------|--------|-----------|------------|
|  | Snåsavatn | Leksdalsv. | Movatn | Hoklingen | Hammervatn |
| Mekaniske anlegg   |           |            |        |           |            |
| Biologiske anlegg  | 445       |            | 25     | 25        | 25         |
| Kjemiske anlegg  |           |            |        |           |            |
| Infiltrasjon o.l.  | 4001      | 1046       | 568    | 1336      | 1571       |
| Ingen rensing  | 384       |            |        |           | 247        |
| <u>Fosforbelastning i tonn pr. år</u>  |           |            |        |           |            |
| Lite prod. område  | 4,20      | 0,46       | 0,168  | 0,21      | 0,258      |
| Skog   | 4,40      | 0,31       | 0,592  | 0,63      | 0,715      |
| Jordbruk   | 2,80      | 2,10       | 0,500  | 0,85      | 1,500      |
| Urbant område  |           | 0,01       |        |           | 0,030      |
| Industri   | 0,20      |            |        |           |            |
| Befolkn., tettst.  | 0,67      |            |        |           | 0,225      |
| Befolkn. spredt  | 1,83      | 0,48       | 0,276  | 0,63      | 0,735      |
| Total belastning   | 14,10     | 3,36       | 1,536  | 2,32      | 3,463      |
| g P/m <sup>2</sup> overfl. år  | 0,12      | 0,16       | 0,24   | 0,38      | 0,53       |



## 5. KOMMENTARER TIL DE ENKELTE RESULTATER

### Østfold fylke

Isesjø er en grunn innsjø som ligger i et frodig jordbruksområde. Innsjøen er sterkt belastet med fosfor. Jordbruket er antakelig den største belastningskilde, men kloakkvannstilførselen er også stor. Observasjonsdata fra innsjøen foreligger ikke. Den teoretiske fosforbelastning som nå er henimot 3 tonn P/år hvorav kloakkvannets bidrag er henimot 20%, bør bringes ned mot 1 tonn tot. fosfor pr. år.

Vansjø er i likhet med Isesjø, grunn og ligger i et frodig jordbruksområde. Kloakkvannstilførselen representerer ca. 50% av fosforbelastningen (teoretisk). Det finnes også en del industri i området. Innsjøen er betydelig eutrofiert, spesielt gjelder dette de grunne områder hvor den høyere vegetasjon har hatt en rivende utvikling i den senere tid. Innsjøen brukes som drikkevannskilde. Østfold fylke har i samarbeide med NIVA utført en enkel undersøkelse i Vansjø, og det legges nå opp til en overvåking av forurensningstilstanden. Fosforbelastningen som er blitt beregnet til henimot 20 tonn total fosfor pr. år, bør antakelig bringes ned til omtrent det halve, dvs. ca. 10 tonn total P/år.

Lyseren har stor likhet med Vansjø hva utforming og dybde angår. Ved siden av en del gårdsbruk og fastboende er det ca. 1.000 hytter i nedbørfeltet. Innsjøen er frodig, men står belastningsmessig langt tilbake for Vansjø. Lyseren er vannkilde for Spydeberg og Hobøl. Det foreligger ikke systematisk observasjonsmateriale om innsjøens tilstand. På grunn av drikkevannsinteressene som knytter seg til innsjøen, bør den ikke anvendes som resipient for avløpsvann. Det er nå utarbeidet et undersøkelsesprogram for Lyseren etter oppdrag fra Spydeberg kommune og Østfold fylke.

### Vestfold fylke

Borrevatn er en frodig innsjø som i første rekke belastes med fosfor fra jordbruksaktiviteter. Innsjøen er reservevannkilde for Horten. Det foreligger betydelige observasjonsdata fra Borrevatn, men disse kan i liten grad anvendes for belastningsstudier. Det er på bakgrunn av det foreliggende observasjonsmateriale vanskelig å avgjøre om innsjøen er i økologisk balanse.

Akersvatn er i første rekke belastet med fosfor fra jordbruksaktiviteter, men det er også en del spredt bosetting i området. Det foreligger ingen observasjonsdata fra innsjøen, og det er derfor ikke mulig å angi innsjøens økologiske status.

Gogsjø er en grunn, frodig innsjø med betydelig jordbruksaktivitet i nedbørfeltet. Kloakkvannets fosforbidrag er relativt stort og utgjør muligens ca. 40% av den totale fosfor-belastning. På grunn av eutrofiutviklingen som har funnet sted i de senere år bl.a. med økende utbredelse av høyere vegetasjon, skal Sandefjord kommune i 1979 starte opp en undersøkelse av Gogsjø. Programforslag er utarbeidet av NIVA.

Farrisvatn er vannkilde for Vestfold interkommunale vannverk. Innsjøens til-løp brukes som resipient for kommunalt avløpsvann. Det ble for noen år siden utført en enkel undersøkelse for å bedømme innsjøens kjemiske og bakterio-logiske vannkvalitet. De biologiske forhold er ikke undersøkt. Fosforbelast-ningen synes imidlertid ikke å være faretruende høy.

#### Akershus fylke

Kolbotnvatn er til tross for avskjærende kloakksystemer, sterkt forurenset med kloakkvann som fortsatt representerer ca. 90% av den totale fosforbe-lastning. Algeveksten er til stor sjenanse (lukt - uestetisk) for boset-tingen rundt innsjøen. Det er foretatt en enkel undersøkelse av innsjøen. Det er stort behov for sanering av avløpssystemet og restaurering av inn-sjøen.

Gjersjøen som brukes som drikkevannskilde for Oppegård og Ski, er en eutro-fiert innsjø, forårsaket av kloakkvannstilførsel. I 1972 ble det bygd av-skjærende kloakksystemer - noe som har redusert algeveksten i noen grad. På grunn av lekkasjer, overløp o.l. er fosforbelastningen fortsatt relativt stor. Innsjøen har vært fortløpende undersøkt siden 1958.

Maridalsvatn er drikkevannskilde for Oslo. Bortsett fra noen få gårdsbruk og stor rekreasjonsaktivitet i nedbørfeltet, er det ingen forurensnings-kilde av betydning i nedbørfeltet, og Maridalsvatn er fortsatt næringsfat-tig. Innsjøen har vært under kontinuerlig overvåking siden 1960.

Hurdalsjøen får i noen grad tilførsel av fosfor via kloakkvann (ca. 25% av total fosforbelastning) og avrenningsvann fra jordbruksaktiviteter. Innsjøen er næringsfattig og oligotrof. I 1977 samlet NIVA regelmessig inn fysisk-kjemisk og biologisk materiale fra Hurdalsjøen. ANØ samler regelmessig inn prøver fra innsjøen i overvåkingsammenheng.

Øyeren mottar store mengder fosfor og forurensningsmateriale fra befolkning, industri og jordbruksaktivitet. Innsjøen er følgelig sterkt forurenset og eutrofiert. I forbindelse med ANØ's overvåkingsprogram blir det gjennomført en enkel undersøkelse av Øyeren.

#### Hedmark fylke

Mjøsa. Siden begynnelsen av 50-årene har det vært en gradvis økende algevekst i Mjøsa. Denne utvikling kulminerte (foreløpig) i 1976 med oppblomstring av blågrønnalger på sensommeren/høsten. Årsaken til dette har vært en økende tilførsel av næringssalter, særlig fosfor. Fosforbidraget via kommunalt avløpsvann utgjorde antakelig ca. 40% av den totale fosforbelastning. En vesentlig årsak til den sterke algeveksten var tilførselen av kloakkvann til innsjøens overflatelag under vekstsesongen om sommeren. I følge de foreløpige beregninger bør fosforbelastningen ikke overstige 175 tonn total fosfor pr. år. Dette betinger en stor og uendret sommerkjøpning i Gudbrandsdalslågen (stor gjennomspylingseffekt). En eventuell reduksjon av Lågens sommervannføring vil medføre at nevnte grenseverdi bør settes enda lavere - muligens ned mot 130 tonn total fosfor pr. år. Dette er imidlertid forhold som bør vurderes og utredes nærmere.

Storsjøen i Odal. Ut fra de foreliggende teoretiske beregninger tilføres Storsjøen i Odal mellom 9 og 10 tonn total fosfor pr. år, hvorav bidraget via kommunalt avløpsvann utgjør over 30%. Datagrunnlaget for å bedømme innsjøens forurensningstilstand er meget sparsomt, men sporadiske undersøkelser tyder på en betydelig forurensning og algevekst. På bakgrunn av innsjøens størrelse og dybde bør fosforbelastningen antakelig ikke overstige ca. 7 tonn total fosfor pr. år.

Storsjøen i Rendal. I henhold til sporadisk innsamlet datamateriale, har det etter Glåmaoverføringen til Rendalen kraftverk i 1972, vært en viss begroing (langs strendene) og produksjons(alger)-utvikling i Storsjøen. Uten målinger av vannføring og fosfor-konsentrasjoner i tilløpselvene er det vanskelig å anslå innsjøens fosforbelastning (på grunn av Glåmaoverføringen). Antakelig ligger den henimot området som kan ansees for betenkelig dvs. 20-25 tonn total fosfor pr. år. I forbindelse med Glåmaundersøkelsen som nå er satt i gang, vil det bli samlet inn observasjonsmateriale som gjør det mulig å angi innsjøens forurensningssituasjon mer eksakt.

Engeren. I 1977 ble det gjennomført en enkel undersøkelse av Engerens forurensningssituasjon. Det ble bl.a. observert en viss algevekst (kiselalger) i innsjøen, og det var betydelig algebegroing langs strendene. I følge de teoretiske beregninger utgjør kloakkvannets bidrag ca. 10% av den totale fosforbelastning. Utvasking av husdyrgjødsel fra dyrket mark langs tilløpselven (Engeråa) under flomsituasjonen på forsommeren, er antakelig av stor betydning i denne sammenheng. Innsjøens forurensningsutvikling bør følges nøye.

#### Oppland fylke

Strondafjorden er i følge det innsamlede datamateriale relativt sterkt belastet med fosfor. Kloakkvannsbelastningen utgjør ca. 20% av den totale fosforbelastning. Det skal imidlertid påpekes at på grunn av mangel på data er det ikke tatt hensyn til buffervirkningen i de ovenforliggende innsjøer - og den beregnede belastning er derfor sannsynligvis for høy. Det er ikke samlet inn systematiske data fra Strondafjorden. Fosfortilførselen bør i henhold til foreløpige overslag, ikke overstige 12-15 tonn total P/år.

Randsfjorden tilføres betydelige fosformengder både fra befolkning (ca. 20%) og jordbruksaktiviteter. Ved vurdering av innsjøens "toleransegrense" er det av betydning å ta hensyn til at fosforet i stor utstrekning tilføres innsjøen i de sydlige områder - mot utløpet. Det er nå startet opp en undersøkelse av Randsfjorden, og de første resultater fra denne vil bli tilgjengelig i løpet av kort tid. Ut fra de foreløpige betraktninger bør ikke fosforbelastningen overstige ca. 30 tonn total fosfor pr. år.

Jarenavatn er sterkt belastet med avløpsvann fra jordbruksaktiviteter og boligbebyggelse (ca. 40%). Innsjøen er eutrofiert og er dessuten sterkt be- vokst med vasspest (*Elodea canadensis*). Det er foretatt en del usystematiske undersøkelser i innsjøen (Limn. inst., NIVA). Fosforbelastningen bør antake- lig reduseres til ca. 1 tonn total fosfor pr. år ("kritisk belastning").

Einavatn er en frodig innsjø som ligger i et jordbruksområde og i noen grad benyttes som resipient for avløpsvann. I 1977 ble det samlet inn bio- logisk og fysisk-kjemiske data fra innsjøen. Dette er imidlertid lite be- arbeidet foreløpig. Den årlige fosfortilførsel bør antakelig ikke over- stige 2 tonn total fosfor pr. år.

#### Buskerud fylke

Fiskumvatn er en gjennomstrømmingssjø og faller derfor noe på siden av den anvendte modellsintensjoner. Ved belastningsberegningene er det ikke tatt hensyn til Eikerens "buffervirksomhet". Innsjøen er frodig og den høyere vegetasjon langs strendene synes å øke. Fosfortilførselen bør reduseres, og det antas at 4 tonn total fosfor pr. år kan betraktes som grenseverdi foreløpig.

Eikeren. Innsjøene i Eikerenvassdraget (oppstrøms Eikeren) er sterkt for- urensset og eutrofierte. Ved belastningsberegningene er det ikke tatt hen- syn til at disse innsjøer har stor buffervirkning for tilførsel av foru- rensninger. Eikeren er en potensiell vannkilde for Drammen og Vestfold. Det er i de senere år samlet inn betydelig observasjonsmateriale fra innsjøen og vassdraget oppstrøms. (Limn. inst./NIVA). Vannets kvalitet er foreløpig meget god og innsjøen har et siktedyp på over 10 m selv midt på sommeren. Fosforbelastningen bør antakelig ikke overstige 4 tonn total fosfor pr. år, dvs. at det må etableres effektive forurensningsbegrensende tiltak langs vassdraget.

Tyrifjorden har vært i en viss eutrofierende utvikling i de senere år. Kloakkvannstilførselen representerer den største fosforbelastning (30-40%). Innsjøens fosforbelastning bør antakelig ikke overstige ca. 60 tonn total fosfor pr. år. Undersøkelsen som nå pågår, har som mål bl.a. å fremskaf- fe data for beregning av et mer eksakt fosforbudsjett samt å antyde belast- ningsgrense for fosfor.

Sperillens tilstand er sterkt avhengig av forholdene i Strondafjorden. Innsjøen er lite undersøkt og dens forurensningstilstand er ikke dokumentert. Fosforbelastningen bør antakelig ikke overstige ca. 25 tonn total fosfor pr. år.

Krøderen. Hallingdalselva mottar i betydelig grad kloakkvann fra tettsteder og spredt bebyggelse. Vassdraget er dessuten sterkt regulert. Krøderen er lite undersøkt, og dens forurensningstilstand er ikke dokumentert. Det synes å være nødvendig med en betydelig fosforreduksjon også her. Fosforbelastningen bør antakelig ikke overstige ca. 40 tonn total fosfor pr. år.

### Telemark fylke

Tinnsjø er en stor og dyp innsjø. Det er i første rekke bosettings- og industriaktiviteter i Rjukan og de nordlige områder som har betydning i forurensningssammenheng. Planteplanktonproduksjonen er relativt lav, men det er en del algebegroing langs strendene om sommeren. Tilløpsvassdragene er sterkt regulerte. Innsjøen er blitt undersøkt i forbindelse med NIVA/TDH's Telemarkprosjekt. Fosforbelastningen synes foreløpig å være innenfor de akseptable grenseverdier, men lokale problemer i forbindelse med kloakkvannsutslipp foreligger.

Heddalsvatn er en typisk gjennomstrømmingssjø. Innsjøen er i betydelig grad belastet med kloakkvann, særlig fra Notodden. Fosforbidraget via kloakkvannet utgjør vel 30% av den totale belastning (ca. 30 tonn/år). Tilløpselvene er sterkt regulert, slik at sommervannføringen er noe større enn den naturlige. Det er vanskelig å angi noen grenseverdi for fosforbelastningen i denne type innsjøer (stor gjennomstrømming). Muligens vil en totalbelastning på 20-25 tonn fosfor pr. år kunne aksepteres. En nærmere utredning om dette vil bli gjort i en rapport fra NIVA/TDH's Telemarksundersøkelse, som vil foreligge om relativt kort tid.

Norsjø brukes i betydelig grad som resipient for kommunalt avløpsvann og avrenningsvann fra jordbruksaktiviteter. Selv om vanngjennomstrømmingen er stor, må det legges vekt på at vassdragene er sterkt regulerte, slik at sommerens vannføring er endret i forhold til den naturlige. Om sommeren

er det betydelig algevekst i de frie vannmasser, og det har i de senere år vært en økende tilvekst av høyere vegetasjon langs strendene. På grunn av den utjevne vannføring er det vanskelig å angi grenser for fosforbelastning. Dette vil det bli nærmere redegjort for i den omtalte rapport. Foreløpig kan et grenseområde på 50-60 tonn fosfor pr. år angis.

#### Rogaland fylke

I henhold til undersøkelser utført av Fiskeforskningen, Direktoratet for vilt og ferskvannsfiske samt sporadiske undersøkelser utført av NIVA, er flere innsjøer og vassdrag på Jæren sterkt forurenset og eutrofierte. Frøylandsvatnet er et typisk eksempel på dette. Denne innsjø har i en årrekke vært sterkt eutrofiert som følge av stor tilførsel av næringssalter fra jordbruksaktiviteter, industri og husholdninger. Denne tilstand har bl.a. medført fiskedød og siste år, 1978, dødsfall blant husdyr (drikkevann) på grunn av giftige blågrønnalger. Fosforbidraget via kloakkvannet utgjør 50-60% av den totale fosfortilførsel som er av størrelsesorden 5-6 tonn pr. år (industrien ikke medregnet). På bakgrunn av et foreløpig overslag er fosforbelastningen i dag minst 4-5 ganger høyere enn hva som kan ansees for akseptabelt for innsjøen. Hverken fra Frøylandsvatn eller de øvrige innsjøer på Jæren foreligger det datagrunnlag for å bedømme innsjøenes forureningsstilstand og belastningsnivåer.

#### Hordaland fylke

Vangsvatn er en typisk gjennomstrømningsinnsjø. På bakgrunn av et enkelt beregningsoverslag synes kloakkvannstilførselen å representere bortimot 50% av den totale fosforbelastning. En stor del av disse fosformengder (ca. 8 tonn) tilføres Vangsvatnet som punktutslipp i overflatevannmassene. Derved vil fosfortilførselen optimalt kunne stimulere planteplanktonproduksjonen om sommeren. Det pågår for tiden en undersøkelse av forurenings-situasjonen i Vangsvatn, og rapport vil foreligge om relativt kort tid. (Univ. i Oslo/NIVA).

Lønnavatn ligger ovenfor Vangsvatnet i Vossevassdraget. Fosforbidraget via tilførsel av boligkloakk utgjør i følge de foreløpige beregninger, ca. 30% av den totale belastningen. Gjennomstrømningen er meget stor, og den

midlere teoretiske oppholdstid er ca. 17 døgn. Dette har stor betydning med hensyn til eutrofiutviklingen i innsjøen, som også er vanskelig å vurdere utfra modellbetraktninger. Innsjøen er blitt undersøkt i forbindelse med NIVA's Vosseprosjekt, og endelig rapport vil foreligge om relativt kort tid. (Univ. i Oslo/NIVA).

Evangervatnet. Denne innsjøen ligger nederst i Vossevassdraget og er en typisk gjennomstrømmingssjø. Vannkvaliteten her må derfor nødvendigvis ha stor likhet med Vangsvatnets, men den tilføres også en del forurensning fra det lokale nedbørfelt. Det foreligger ikke data fra selve Evangervatnet for bedømmelse av dets vannkvalitet og eventuelt belastningsnivå.

Eidfjordvatn. Ut fra fosforbelastningens størrelse er Eidfjordvatnet en typisk oligotrof (næringsfattig) innsjø, og synes ikke i dag å være utsatt for store tilførsler av næringsalter. Imidlertid er det viktig å sikre data angående innsjøens produksjonstilstand. Det er her blitt utført en enkel undersøkelse og rapport vil foreligge om kort tid.

#### Sør-Trøndelag fylke

Selbusjøen synes i forhold til innsjøens størrelse å være relativt lite belastet. Innsjøens forurensningstilstand er i liten grad dokumentert, og det er derfor vanskelig å angi noen grenseverdier for belastning.

Jonsvatn brukes som vannkilde for Trondheim by. Området ved innsjøens utløp - Litlevatn - mottar i betydelig grad forurensninger fra de omkringliggende gårdsbruk. Innsjøens biologiske tilstand er ikke dokumentert, men Storvatnet antas å være en næringsfattig innsjø.

Aursunden synes i forhold til størrelsen å være relativt lite belastet med avløpsvann (ca. 6 tonn fosfor pr. år). Innsjøens forurensningstilstand er i liten grad dokumentert. En enkel undersøkelse vil bli gjennomført i forbindelse med NIVA's Glåmaprosjekt.

#### Nord-Trøndelag fylke

Movatn, Hoklingen og Hammervatn ligger i ett og samme vassdrag. Forurensningstilførselen øker nedover i vassdraget - særlig er den nederste innsjø, Hammervatn, i betydelig grad utsatt. Vassdraget er ikke blitt



undersøkt i de senere år. Hoklingen er vannkilde for Levanger og Nordenfjeldske Treforedling på Fiborgtangen. Både Hoklingen og Hammervatnet synes i dag å ha en fosforbelastning som grenser mot det "betenkelige", og bør antakelig reduseres, særlig hva Hammervatnet angår.

Leksdalsvatn er i første rekke utsatt for forurensningstilførsler fra jordbruksaktiviteter. Innsjøens forurensningstilstand er ikke kjent, men ut fra teoretiske betraktninger er belastningen stor i forhold til innsjøens størrelse og toleranseevne.

Snåsavatn er i forhold til størrelsen relativt lite belastet med avløpsvann. Det foreligger enkelte, spredte observasjoner fra innsjøen, men dens forurensningstilstand er ikke tilstrekkelig dokumentert. Det blir av lokalbefolkningen rapportert om at det i de senere år har vært en økende begroing langs strendene. En sammenstilling av de foreløpige undersøkelsesresultater vil bli gitt ut i egen rapport i løpet av kort tid.

## 6. GENERELLE KOMMENTARER

Under forutsetning av at fosfor er begrensende faktor for algevekst i de aktuelle lokaliteter, er det i denne rapport på bakgrunn av enkle empiriske modeller gjort et forsøk på å relatere innsjøers teoretiske fosforbelastning til den biologiske respons man kan forvente. De anvendte modeller er meget brukt utenlands og har vist seg å være hendige redskaper ved tolkning av innsjøers tilstand og utviklingstendenser. Det skal imidlertid understrekes at modellene har vist seg ikke å være like anvendelige for alle typer innsjøer - spesielt har de gitt avvikende resultater for grunne innsjøer og gjennomstrømmingssjøer. Det er også i liten grad undersøkt hvordan modellene passer for norske innsjøer med sin vanligvis saltfattige vann-type, relativt lave temperatur, ofte korte vekstsesong (høyfjellssjøer) osv. Det vil om kort tid foreligge en rapport om en undersøkelse i OECD's regi som har hatt som mål å etterprøve modellenes almene gyldighet. Norge har deltatt i denne undersøkelse med data fra Gjersjøen og Mjøsa. Imidlertid er materialet som er samlet inn i denne forbindelse av variert art og kvalitet - noe som vanskeliggjør tolkningsarbeidet. Av grunner nevnt ovenfor skal det advares mot ukritisk å anvende denne type modeller i forvaltningssammenheng.

Ut fra en forsiktig tolkning av teoretiske belastningsverdier og visse undersøkelserresultater synes en rekke av de større og mindre innsjøer på Østlandet å være i eller nærme seg faresonen hva fosforbelastning angår. Ved siden av Mjøsa, Vansjø, Øyeren, Gjersjøen m.fl. gjelder dette innsjøer som Randsfjorden, Strondafjorden, Sperillen, Tyrifjorden, Krøderen, Eikeren og Heddalsvatn-Norsjø. Det skal imidlertid bemerkes at de utførte belastningsberegningene er overfladiske bl.a. på grunn av at det i flere tilfeller er nødvendig å ta hensyn til selvrensningseffekten i ovenforliggende innsjøer. Videre kan hovedbelastningen i noen tilfeller skje ved innsjøens utløp (Randsfjorden). Med hensyn til utviklingen i Heddalsvatn og Norsjø er det grunn til å understreke betydningen av de sterke reguleringsinngrep i Telemarksvassdraget som medfører at sommervannføringen i tilløpselvene blir betydelig endret.

Rent generelt er tilgangen på systematisk innsamlede data fra norske innsjøer en mangelvare, og det er derfor vanskelig å bedømme den beskrevne modellens generelle gyldighet. Dessuten er det av samme grunn ikke mulig å dokumentere innsjøenes forurensningstilstand. Ved siden av de omtalte innsjøer finnes en rekke mindre innsjøer særlig i det sydlige Norge hvorfra det overhode ikke finnes observasjonsdata.

Beregningsgrunnlaget for forurensningstilførsler er også meget svakt. På dette felt er det nødvendig å velge ut flere typeområder i forskjellige klimaområder o.l. hvor avrenning fra jordbruk, spredt bebyggelse (diffuse tilførsler) osv. blir relativt detaljert undersøkt.

LITTERATUR

- Ahl, T. og T. Wiederholm. 1977: Svenska Vattenkvalitetskriterier. Eutrofi-  
erande ämnen.  
Statens Naturvårdsverk. SNV PM 918. 124 pp.
- Dillon, P.J. and F.H. Riegler, 1974: A test of a simple nutrient budget  
model predicting the phosphorus concentrations in lake water.  
J. Fish. Res. Bd. Canada 31: 1771-1778.
- Holmen, S.A., 1978. NIVA-rapport A2-32. Tilførsler av organisk stoff,  
nitrogen og fosfor fra nedbør, skog, snaufjell og jordbruk  
ISBN 82-577 - 0111-4. 51 pp.
- Patalas, K., 1972: Crustacean plankton and the eutrophication of the  
St. Lawrence Great Lakes.  
J. Fish. Res. Bd. Canada. 29: 1451-1462.
- Sakamoto, M., 1966: Primary Production by Phytoplankton Community in Some  
Japanese Lakes and Its Dependence on Lake Depth.  
Arch. Hydrobio. 62: 1-28.
- Sawyer, C.N., 1947: Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage.  
New England Water Works Assoc. 61: 109-127.
- Statens forurensningstilsyn 1978: Retningslinjer for dimensjonering av  
avløpsanlegg. TA 525/Aug. -78.
- Vollenweider, R.A., 1975: Input-output models with special reference to the  
phosphorus loading concept in limnology.  
Schweiz. Z. Hydrol. 37: 53-83.
- Vollenweider, R.A., 1976: Advances in defining critical loading levels for  
phosphorus in lake eutrophication.  
Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33: 53-83.