

Selvrensing av næringsalter og suspendert stoff gjennom naturlige sivbelter.

Av Jon Lasse Bratli

Jon Lasse Bratli er forskningsleder ved Norsk institutt for vannforskning

Deler av artikkelen ble presentert på fagtreff om økologiske rens tiltak for landbruksforurensning 22. april 1996

Sammendrag

Det er gjennomført en storskala undersøkelse av selvrensing i et naturlig sivbelte i sørenden av Borrevann, Vestfold. Det har hittil vært usikkerhet omkring hvorvidt våtmarker rens eller tilfører omgivelsene næringsalter. Sivområdet ble isolert vha. en PVC-duk for å kunne kvantifisere inn- og utstrømmingen av vann, næringsalter og suspendert stoff. Sju tilløpspunkter ble undersøkt jevnlig, flere med automatisk prøvetakingsutstyr.

Vannbalansestudier viser at ca en tredel av vannet som måles ut av våtmarka ikke fanges opp av innmålinger, og må følgelig regnes som diffus grunnvannsinnelekking. Retensjonen eller selvrensingen er høyest (ca 90%) for suspendert materiale og ortofosfat, noe lavere for totalfosfor (70-80%) og lavest for nitrogen (ca 50%). Retensjonsprosenten var høy gjennom hele året, også om vinteren 1995 da tilførslene var forholdsvis store og de biologiske proses-

ser minimale. Den mulige gevinsten av å tilføre våtmarka mer vann fra hovedtilførselselva vil bli utredet videre.

Innledning

Prosjektet kom i stand i forbindelse med at den utarbeidede tiltaksplanen viste at det ikke var mulig å nå nødvendig avlastning på 50% av fosfortilførslene kun ved gjennomføring av tradisjonelle tiltak innen landbruket, kommunalt avløp og avløp fra spredt bebyggelse. Artikkelen viser foreløpige resultater fra 1994 og 1995 og er rapportert mer utførlig som egen NIVA-rapport (Bratli 1996). Undersøkelsene er støttet av Borre kommune, Statens landbruks tilsyn, Norges forskningsråd (KOMTEK) og NIVA.

Tidligere erfaringer med storskala eksperimenter i naturlige våtmarker.

Særlig i USA er våtmarksområder blitt benyttet som forureningsfilter for behandlet kommunalt avløpsvann i en årrekke. Mange forsøk viser at tilbakeholdelsen i våtmarker gjennom sedimentasjon og omsetning er høy både for fosfor og nitrogen og framfor alt at

tiltakene er kostnadseffektive (Nixon & Lee, 1986; Nichols, 1983; Leonards-son, 1994)

De fleste publiserte undersøkelsene konkluderer med betydelige retensjoner av både fosfor og nitrogen. Det er også publisert undersøkelser som viser det motsatte, at våtmarka lekker nærings-salter bl.a Kufel (1982), Hoffmann (1985) og Jørgensen et al. (1988). Sprangler og medarb. (1976) og Sloey og medarb. (1978) viste at mesteparten av det fosforet som var holdt tilbake i løpet av vekstsesongen ble tapt (spylt ut) etter frosten om høsten og utover vinteren.

Resultatene fra bl.a. amerikanske undersøkelser er vanskelig overførbare til norske forhold, særlig fordi naturtype- ne, plantesamfunn og hydrologiske regimer er forskjellige. Ofte er det bare målt på enkeltfraksjoner som nitrat eller ortofosfat og ikke totalfraksjonene som gjør det mulig å få en oversikt over retensjonen av både de løste (algetil- gjengelig) og partikulære delene av nærings-saltene. Videre er det i mange undersøkelser ikke gitt noen vurdering av grunnvannets betydning for det hydrologiske budsjettet for våtmarkene, noe som kan medføre en overestimering av tidligere rapporterte retensjons- kapasiteter. Det har også vært uvanlig å måle retensjoner gjennom hele året, noe som har medført innsigelser om at det en evt. vinner i retensjon om sommeren tapes igjen om vinteren. Endel av de tidligere resultatene er følgelig av be- grenset nytteverdi.

Retensjonsprosesser i våtmarker

Permanent retensjon for suspendert materiale og næringsalter i våtmark kan skje gjennom en kombinasjon av flere komplekse prosesser,

- sedimentasjon
- adhesjon til sediment
- utfelling
- oppbygging av biomasse i våtmarks systemer som ekspanderer
- denitrifisering

Sedimentasjon skjer når partikler bl.a. inneholdende fosfor bremses opp i siv- beltet. Hvor mye som sedimenterer vil avhenge av hvor mye vannhastigheten bremses opp, eller mer korrekt, hvor lenge vannet får lov til å oppholde seg i våtmarka før vannet transporteres vide- re ut i innsjøen. At oppholdstiden spiller en vesentlig rolle for sedimentasjo- nen er kjent fra studier i innsjøbassen- ger, bl.a. ved arbeidet til Larsen & Mer- cier (1976). Howard-Williams (1985) hevder at de mest betydningsfulle for- hold som styrer sedimentasjonen er materialets sammensetning, nedbryter- nes aktivitet og mengden av tilgjengeli- ge næringsstoffer i det bunnære vannet.

En direkte adhesjon av fosfor og ni- trogen til sedimentoverflata vil også kunne forekomme. Dette vil kunne skje ved at særlig fosfor kan bindes til Al, Fe eller Ca på sedimentoverflata eller at fosforet feller ut sammen med disse stoffene i den frie vannmassen.

Sivplantene tar opp næringsalter i særlig grad fra sedimentet og i mindre grad direkte fra vannmassen. På alle sivstråene vil det imidlertid vokse epy-

fytter (påvekstalger), bakterier og heterotrofe organismer som vil ta opp næringssalter direkte fra vannmassen, og følgelig konkurrere om næringssalten med planktonalgene ute i de frie vannmasser. Opptaket særlig fra epifyttene har vist seg å være betydelig (Müller 1995).

For nitrogen vil denitrifisering i tillegg være en svært betydningsfull prosess. Dette innebærer en reduksjon av nitrat, nitritt eller lystgass (N_2O) til elementært nitrogen (N_2) som unnslipper til atmosfæren. Disse prosessene drives av bakterier under tilnærmet oksygenfrie tilstander hovedsakelig i anoksisk sedimentet, men kan også forekomme i oksygenfrie mikrosjikt der det er rik tilgang på organisk materiale og hvor nedbrytningen er så stor at det ikke diffunderer oksygen raskt nok inn i materialet (Leonardsson 1994).

Områdebeskrivelse og metoder

Innsjøen og nedbørfeltet

Borre vann er en forholdsvis grunn innsjø i Borre kommune, Vestfold, og er demmet opp av raet. Borrevannet har meget velutviklede sivbelter rundt innsjøen, som strekker seg ut til ca 1.5m's dyp. Særlig i sørenden er det et sivbelte, Vassbånn, som dekker ca 200 daa. Våtmarksområdet er sammen med hele innsjøen fredet som naturreservat.

Hele dalsiget ned mot Vassbånn består av jordbruksland. Ned mot vannet er terrenget nærmest helt flatt. Det er bygget en voll langs hele innersiden av sivbeltet for å hindre vann inn på fulldyrka areal, samt å skape en skarp av-

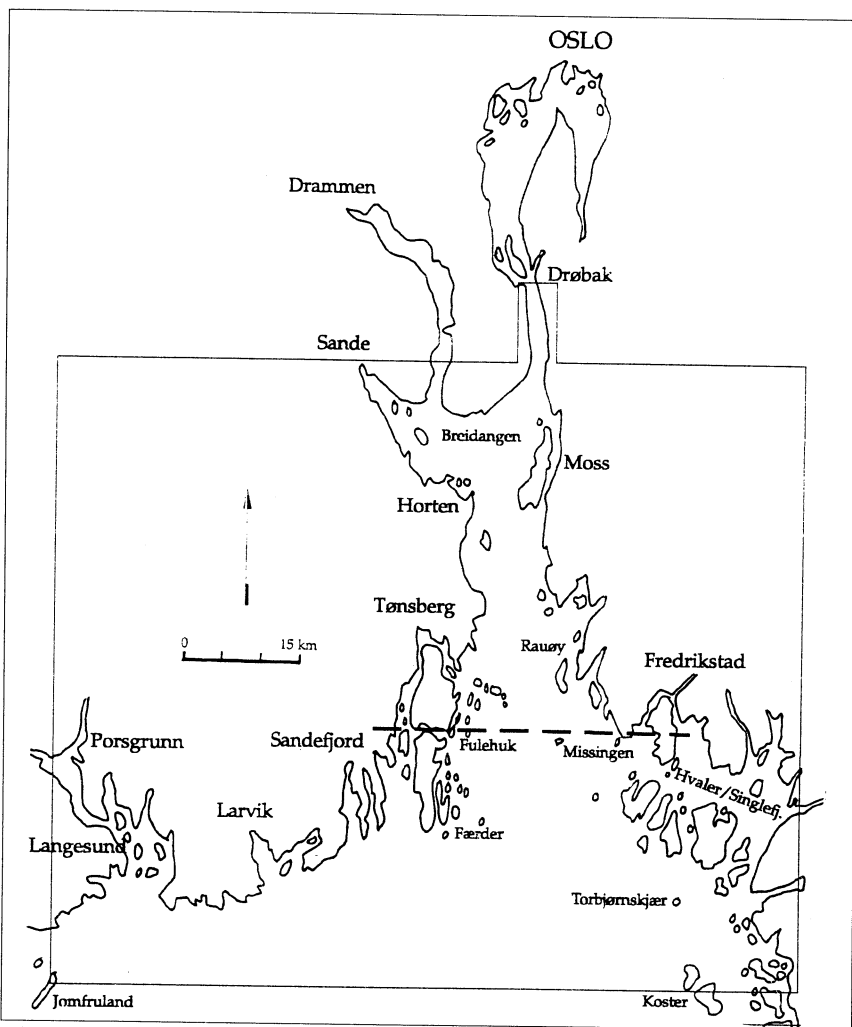
grensning mellom dyrkingsområde og våtmark. Drensvannet fra de nærmeste jordene er samlet i 4 store pumpestasjoner og vannet pumpes over i sivbeltet. Det går også endel mindre bekker inn i området. Før vannet som drenerer til våtmarka kommer ut i den algeproducerende del av innsjøen, må det passere ca. to hundre meter med sivbelte. Vannmengder og forurensninger som kommer inn i sivbeltet måles i kummene og i tre andre bekker som tilrenner våtmarka.

Beskrivelse av vegetasjonen i våtmarka, Vassbånn.

Med Vassbånn mener jeg i denne rapporten våtmarka innenfor vollen og ut til delingsduken. Dette er et område hovedsakelig bestående av høyere vegetasjon (makrovegetasjon) av taker (*Phragmites australis*), noe sjøsvaks (*Shoenoplectus lacustris* (tidl. *Scirpus l.*)) og diverse vierarter (*Salix spp.*) på de noe tørrere områdene av våtmarka. På områdene dypere enn der helofyttvegetasjonen klarer seg, finnes langskuddsplanter som ulike tjønnaksarter (*Potamogeton spp.*) og relativt skjeldne arter som akstusenblad (*Myriophyllum spicatum*) og hornblad (*Ceratophyllum demersum*). Flytebladsplanter som gul og hvit nøkkerose (*Nymphaea alba* og *Nuphar luteum*) er også vanlig i de mer åpne vannmassene både innenfor og utenfor delingsduken.

Prøvetakingssteder og infrastruktur

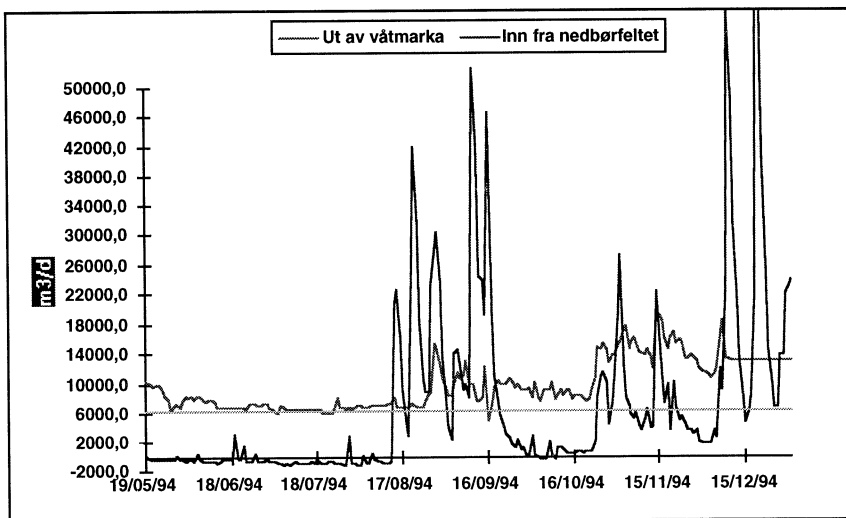
I de fire innløpskummene, i hovedtilførselsbekken (Semsbekken) og i tunnelen i duken er det plassert automa-



Figur 1. Skisse over området med prøvetakingsstasjoner.

tisk vannførings- og prøvetakingsutstyr. Fra august 1995 ble det montert automatisk vannføringsmåler også i Grøftebekken. I 1995 ble prøvetakingen i tunnelen (H) foretatt ved vanlig manuelt prøveuttak hver 14. dag (automatisk i 1994). De to andre bekke-stasjonene ble manuelt prøvetatt.

En armert PVC-duk som er 260 m lang og 4 m på det dypeste er montert tvers over vannet rett nord for våtmarka. Duken er helsveiset og levert av Duksveis A/S. Duken holdes oppe av isopor som ligger inne i en slisse. Duken holdes nede av sandsekker som er tråkket godt med i sedimentet.



Figur 2. Avrenningsverdier fra nedbørfeltet målt i bekkene, og målte utverdier fra våtmarka for perioden 19. mai - 31. desember 1994. Horisontallinjen ved 6 200 m³/d viser spesifikk avrenning.

Øverst på duken er det limt på "ører" av PVC med maljehull for hver 1-2 m. Gjennom disse går en 8 mm rustfri vire som er festet i fjell på østsiden av duken, og i et stort bjørketre på vestsiden. Duken er videre stabilisert i nord-sørlig retning ved at det til viren er det festet for ca. hver 20. m tau med 16 og 32 kg jerbaneskinnebitar som er tråkket på tvers ned i sedimentet, 20-30 m hhv. nord og sør for duken.

Prøvetakingen startet i november 1993 og vil vare ut til og med 1996. Det er foretatt målinger gjennom hele året, både sommer og vinter, så langt det har latt seg gjøre. Figur 1 viser prøvetakingsstedene.

Hydrologi, vannbalanse

Figur 2 viser målte/estimerte vannmengder som tilrenning til våtmarka (ned-

der som tilrenning til våtmarka (nedbørfelt), og målte vannmengder ut av våtmarka gjennom tunell i delingsduken. Verdiene målt ut av våtmarka er observerte verdier med unntak av noen korte perioder (dager) da batteriet på instrumentet var flatt. Veridene er da estimert på bakgrunn av snittverdier for dagen før og etter datamangelen. Dette gjelder også en lengre periode på slutten av året (10-31/12).

Det som måles ut av våtmarka er mye mer stabilt enn det som måles inn, og skyldes særlig to forhold:

1. Vannstanden i våtmarka og ellers i Borrevannet stiger ved økt tilrenning, og stigningen er omtrent proporsjonal, da forholdet mellom våtmarkas tilrenningsområde og våtmarkas overflate er omtrent det samme som forholdet mellom resten av nedbørfeltet og innsjø-

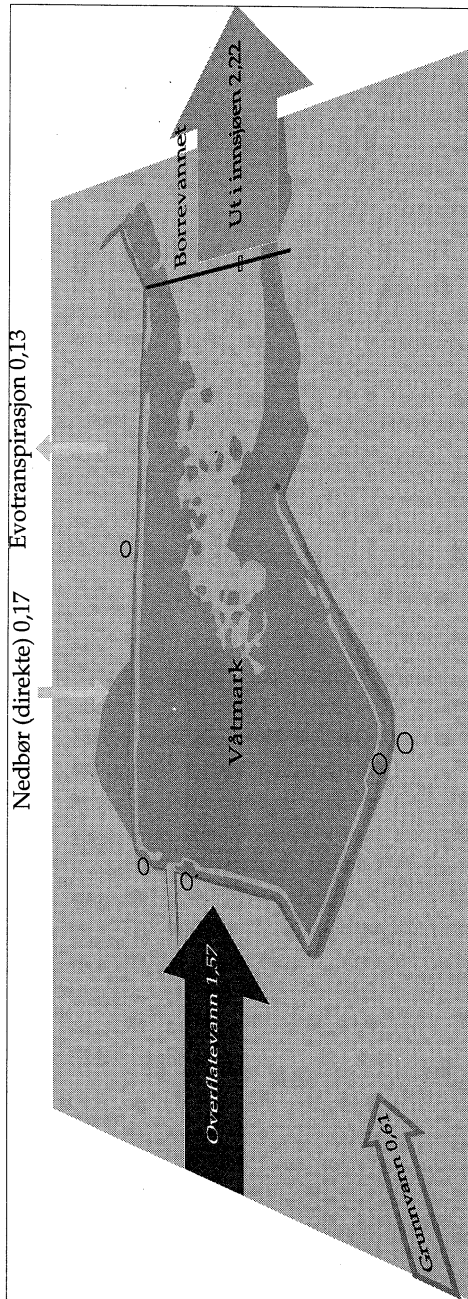
arealet. Avrenningen fra Borrevannet i nord er på ingen måte stor nok til å ta unna de store vanntilførslene ved avsmelting og ved store nedbørsmengder.

Vannstanden i Borrevannet (og våtmarka) stiger altså raskt ved økte vanntilførsler og medfører en oppmagasinering i våtmarka som forklarer at responsen i vannmengde ut av våtmarka er relativt beskjeden, selv når store vannmengder tilføres våtmarka.

2. I enkelte tørre perioder vil tilrenningen være negativ (juli 1994), dvs. at fordampingen fra våtmarka er større enn det som måles i bekkene. I disse periodene er det fortsatt en stabil og reativt stor vannmengde som går ut av våtmarka. Dette skyldes både det at vannstanden i Borrevannet fortsatt synker, og at det høyst sannsynlig vil være innlekking av grunnvann direkte til våtmarka uten at det måles i bekkene.

Valeportmåleren i duken ble satt i drift 19. mai 1994. Hvis en ser på perioden fra denne dag og ut året (227 dager), så er det målt en vannmengde i bekkene på 1,61 mill m³. Vannmengden målt ut av våtmarka er imidlertid 2,22 mill m³. Dette gir en forskjell på 0,61 mill m³, som utgjør 27% av ut-målingen.

Det er grunn til å anta at grunn-



Figur 3.
Hydrologisk balanse i løpet
av perioden 19. mai -
31. desember 1994

vannstilførslene er relativt stabile i løpet av året. Grunnvannstillegget på 0,61 mill m³ er derfor fordelt likt over alle de 227 dagene i 1994. For 1995 utgjør grunnvannet ca 35% av det som måles ut av våtmarka, og som er fordelt jevt på dagene i 1995.

Fig. 3 viser vannbalansen for den perioden det ble målt med automatisk vannføringssutstyr i både innløp og utløp i 1994.

Stofftilførsler, input-output, retensjon

Tilførsler fra landarealene

Tilførslene fra de forskjellige feltene ble regnet ut på bakgrunn av daglige vannføringer og målinger av vannkvalitet, blandprøver og stikkprøver.

Grunnvannets vannkvalitet ble estimert på bakgrunn av et snitt av konsentrasjonene fra kummene A, B, C og den rørlagte bekken F, i tørrværsperioden fra 19/5 til 14/8 1994. For 1995 ble hele perioden fra 10/5 til 20/12 valgt, som overveiende var en tørr periode. Det var da jevnt over lave verdier, og kummene og bekken ble i all hovedsak matet av grunnvannet. Vannføringen var da så lav at resuspensjon fra bekkesedimentet kunne ses bort i fra.

Tilførsler til åpen vannflate

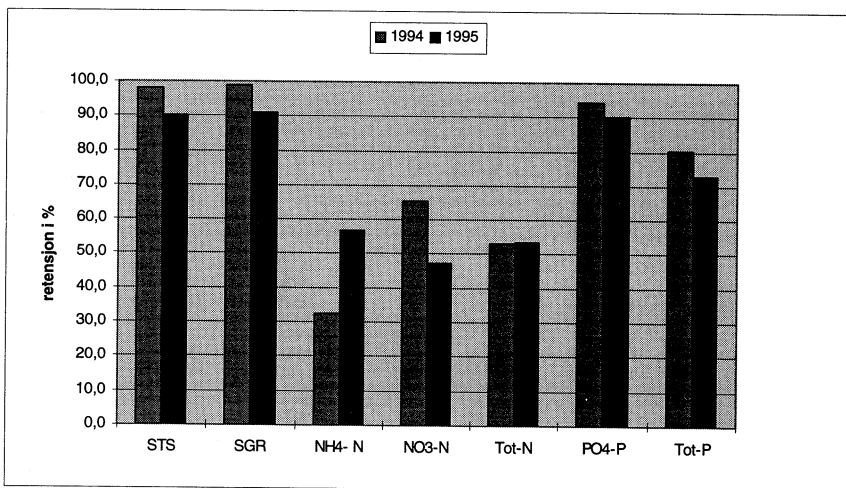
Tilførsler av nitrogen og nitrogenfraksjoner direkte til åpen vannflate er bestemt ved å bruke midlede månedskon-sentrasjoner i nedbør for årene 1991-93 for stasjonen Lardal i Vestfold. (SFT 1992, 1993, 1994). Konsentrasjonene er så multiplisert med aktuell nedbør.

Konsentrasjonene av totalnitrogen regnes som summen av nitrat og ammonium. Tørravsetningen er dermed ikke medregnet. Denne kan utgjøre ca 20 % av totalavsetningen til land (Semb & Tørseth 1994), men til åpen vannflate er den langt lavere og trolig så liten at den kan ses bort i fra (Tørseth pers. medd.).

For fosfor kommer mye av deponisjonen fra tørravsetninger, da fosforet i stor grad følger partikler. Deposjoner fordelt på månedlige variasjoner er hentet fra et arbeid som Berge gjennomførte i 1977-78 på 18 områder i Telemark (Rognerud et. al 1979). Deposisjon som mg/m²*mnd er lagt direkte inn i inputberegningene til Vassbånn. Av målt totalfosfor var over halvparten (54%) partikulært fosfor og dermed lite algetilgjengelig. Ca. 25 % ble målt som løst reaktivt fosfor, og dette brukes som ortofosfatandel i inputberegningene.

Retensjonsberegninger

Flere faktorer vil virke inn på omfanget av retensjon i en våtmark. En av hovedfaktorene vil være belastningen, både den hydrauliske belastningen og stofftilførsel. Nichols (1983) viste klart hvordan den relative retensjonen (målt i %) avtok når stofftilførslen pr. areal og år økte. Hvis en skal kunne regne med en fosforretensjon på 90-95% må belastningen være så lav som 2-5 gP/m²*år. Opp til 70 % retensjon kunne påregnes ved belastninger på 10-15 gP/m²*år, hevdet han. Nichols (op. cit.) bygde her på data fra de fleste amerikanske våtmarksundersøkelser som var gjennomført på den tida.



Figur 4. Retensjon av de ulike parametere i løpet av 1994 og 1995. For året 1994 er perioden 19. mai-31. desember undersøkt, og for 1995 periodene 1. januar-27.mars og 7.juli-31.desember.

I perioden 19.mai-31.desember 1994 ble det tilført 219 kg Tot P til våtmarka. Dette gir 0,9 gP/m² for denne perioden på 227 dager. For hele året, hvor de største tilførslen kom om våren, altså før 19 mai, var tilførslene 585 kg P, og tilsvarende 2,3 gP/m²*år.

Den hydrauliske belastningen er for 1994 målt til 1467 mm/mnd, og i 1995 1383 mm/mnd. Våtmarksarealet er 5,97 % av tilrenningsarealet, noe som er en relativt høy andel i forhold til endel andre undersøkelser det er relevant å sammenlikne seg med.

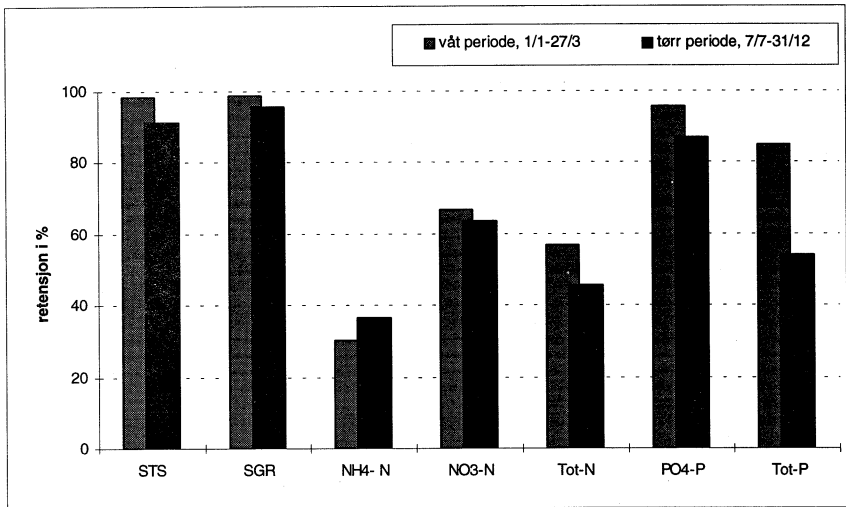
Retensjonsbetraktninger over hele året.

Retensjoner på årsbasis er vist i figur 4. Ikke overraskende er retensjonene av suspendert stoff og suspendert gløderest høy, over 90% begge årene. Dette er stoffer som i stor grad sedimenterer

vannet bremses i våtmarka. Noe av det samme er tilfellet for totalfosfor som i betydelig grad er partikkelbundet. Her ser vi en retensjon på mellom 70 og 80%. At retensjonen av ortofosfat er høy, over 90%, er spesielt verdifullt, da det er denne delen av fosforet som utnyttes spesielt av plantene, enten det er vannplanter og fastsittende alger i våtmarka, eller planktonalger i innsjøen. For nitrogen er verdiene jevnt over lavere, ca 50% for totalnitrogen, noe lavere for ammonium og noe høyere for nitrat.

Retensjon på sesongbasis.

Det har vært ønskelig å gå inn å se på hvordan retensjonen varierer i forhold til tilførselsmengde og når på året tilførslene kommer. Figur 5 viser en inndeling i en våt periode for 1995 fra årets begynnelse til slutten av mars der



Figur 5. Retensjon for "tørr" og "våt" periode 1995

tilførsle av vann og forskjellige stoffer var høy, og som derfor betegnes for "våt" periode. I denne periode er de fysiske/kjemiske prosesser som sedimentasjon og kjemisk binding til sedimentet dominerende. Biologisk opptak fra makrovegetasjon og påvekstalg kan ses bort fra i denne perioden. Borevannets vannstand er i denne perioden relativt stabil omkring kotehøyde 9 (meter over havet).

I den perioden som er kalt "tørr" periode, fra begynnelsen av juli og ut året, er de biologiske prosessene desto mer betydningsfulle, i hvertfall i begynnelsen av denne perioden. Perioden er dessuten relativt tørr. Vannstanden i Borevann er også her relativt stabil, men på et lavere nivå, noe over 8 moh. Dette medfører at vannmagasinet innenfor duken er langt mindre nå enn i forrige periode.

Figur 5 viser at den relative retensjonen, målt i %, er svært stabil, og viser endog høyere verdier for den våte perioden. Dette er i seg selv noe overraskende, da man i den tørre perioden ville regne med at de biologiske prosessene ville bidra mye sammen med rene fysiske/kjemiske prosesser til høyere retensjonsgrad.

For å forsøke å forklare dette er det viktig å være klar over to forhold:

- I den våte perioden er det en høy vannstand i våtmarka
- Konsentrasjonene i den våte perioden er høye

Til det første, nesten en meter høyere vannstand i våtperiode i forhold til den tørre perioden gjør at våtmarka da får et svært mye større vannvolum. Tilførsle er imidlertid også store, men våtmarka klarer å opprettholde en lang oppholdstid pga. sitt store volum. Opp-

holdstiden er vurdert som den viktigste enkeltfaktoren som bestemmer retensjon i innsjøer, og er utvilsomt viktig i en våtmark også (Larsen & Mercier 1976).

Konsentrasjonen av stoffer som tilrenner våtmarka i den våte perioden er høye, med stor vannføring i bekkene eroderes mye leirpartikler (suspendert stoff og totalfosfor) både naturlig i bekkeliet, og fra landbruksarealene. Konsentrasjonen av f.eks. totalfosfor i Semsbekken (stasjon E) er i den omtalte "våte" perioden 496 $\mu\text{g/l}$, mot den gjennomsnittlige 238 $\mu\text{g/l}$, altså et langt større redusjonspotensiale enn for gjennomsnittlige og tørre perioder. I tillegg kommer at vannet som tilføres i tørre perioder er dominert av grunnvann, med langt lavere konsentrasjoner. Grunnvannets gjennomsnittskonsentrasjon for totalfosfor er for 1994 beregnet til 58 $\mu\text{g/l}$, altså på forhånd en relativt lav verdi.

Det er laget en statistisk analyse av sammenhengen mellom tilførsler og retensjon, dvs. totale tilførsler (inkl. grunnvann) regnet som kg/d. Dette vises figur 6. Sammenhengene er her svært gode, med jevnt over høye regresjonskoeffisienter.

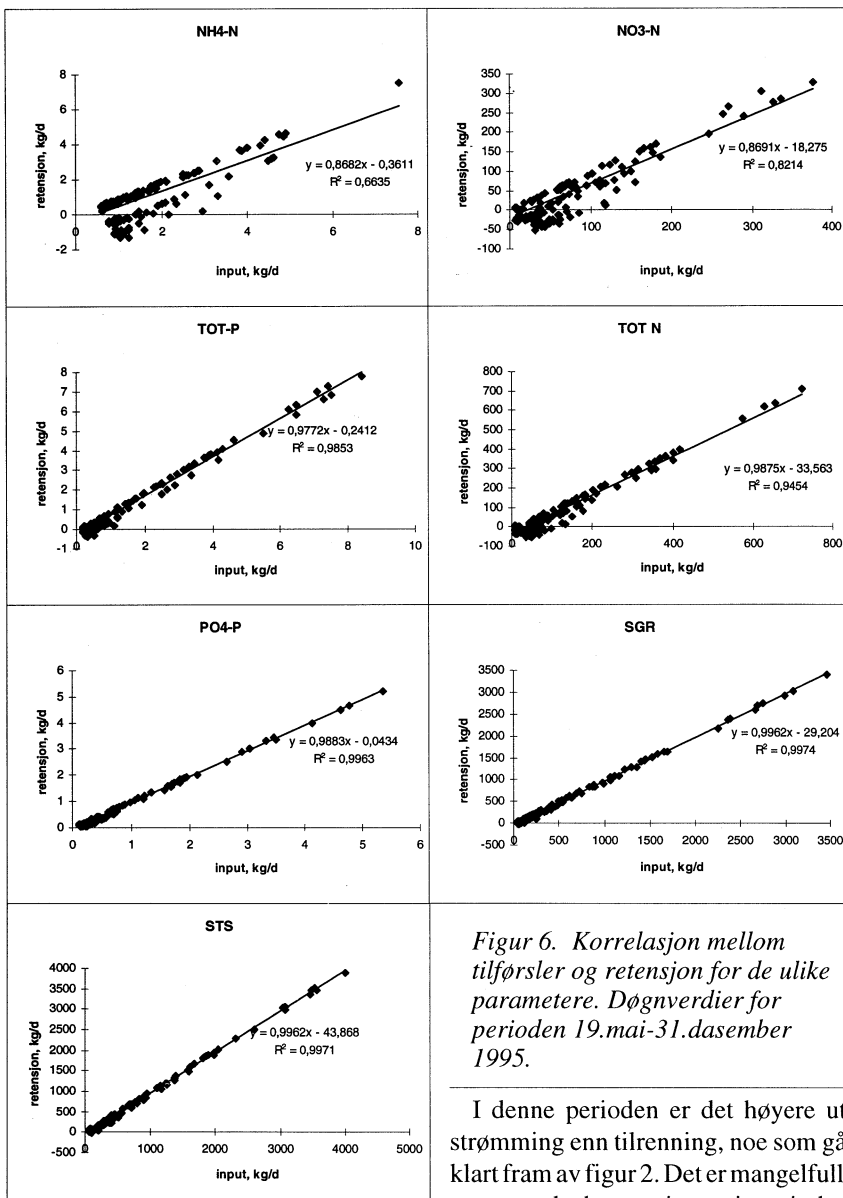
I perioder der våtmarka mottar store vann og stoffmengder vil vannstanden stige både i våtmarka og i resten av innsjøen. Dette har sammenheng med at tilløpet fra nedbørfelter responderer meget raskt på nedbør, noe som igjen skyldes stort innslag av impermeable jordarter (leire). I tillegg er utløpsarrangementet i nord-enden trangt. Mye av vannet som tilføres våtmarka i våte

perioder magasineres derfor opp i våtmarka, og regnes i de foregående presentasjoner som retensjon. Endel av det som tilføres vil derfor i en slik vår periode enda ikke ha vært underlagt rene retensjonsprosesser som sedimentasjon og biologisk opptak, men kun en ren oppmagasinering. Noe av vannet som er tilført i en våt periode skylles ut av våtmarka i en etterfølgende tørr periode da vannstanden i Borrevannet synker. Dette gjør det ikke alltid like lett å tolke retensjoner fra våte og tørre perioder.

Ved presentasjon av data som døgnverdier, figur 6, bør det altså bemerkes at høye retensjonsverdier ved høy tilførsel i stor grad skyldes oppmagasinering og ikke kun de rene retensjonsprosesser. Figur 7 viser hvordan retensjonen varierer gjennom året for de forskjellige parametere i 1994. Som det også går fram av figur 6 er det for fosforfraksjonene og suspendert stoff/gløderest nesten uten unntak positive retensjoner. Dette med et lite unntak for totalfosfor i månedsskiftet november-desember, og faktisk også i slutten av mai. Den siste perioden kan imidlertid delvis forklares ved at det da var en sterk vannstandsreduksjon og derfor også høy utstrømming av våtmarka kombinert med en beskjedne tilrenning (figur 2).

For nitrogen er imidlertid bildet et annet. Fra siste halvdel av september og til begynnelsen av desember lekker våtmarka nitrogen. Forklaringene på dette kan være mange:

- større utrenning enn tilrenning
- utspyling av dekomponerende/de

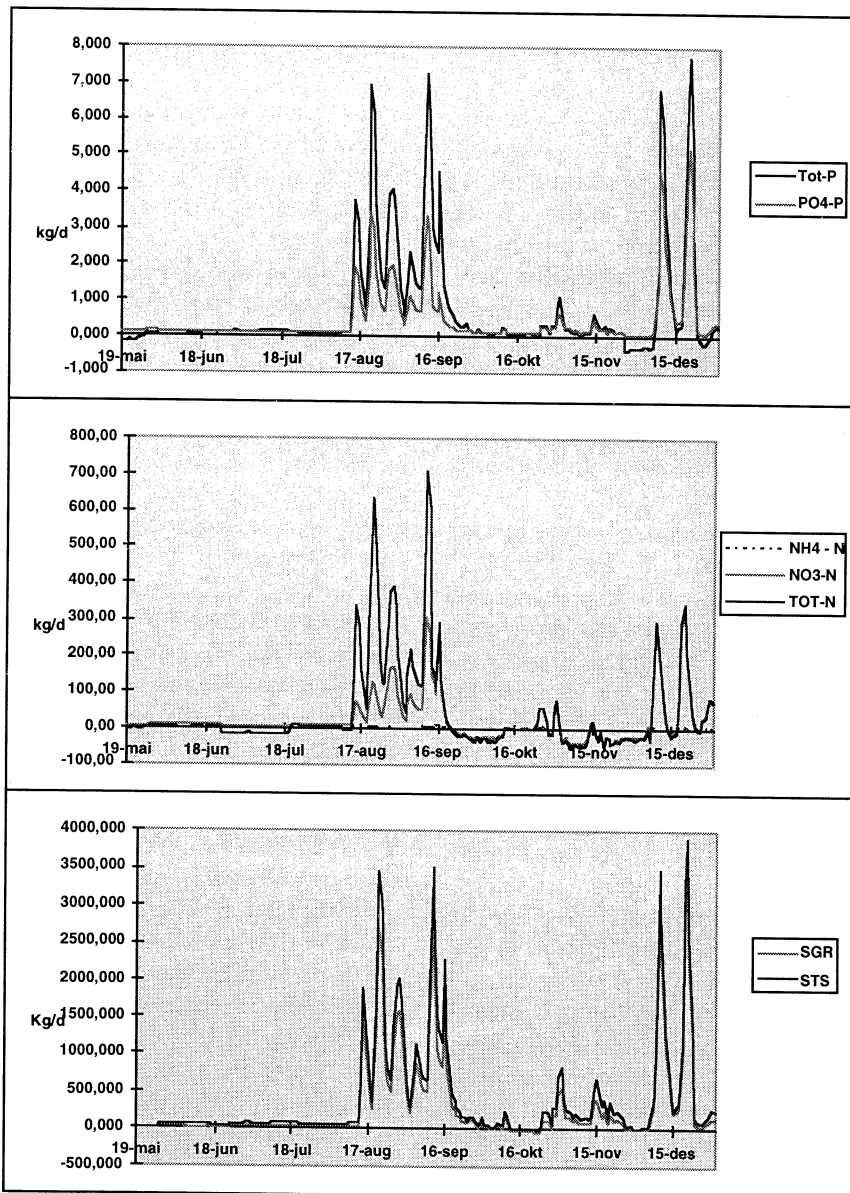


Figur 6. Korrelasjon mellom tilførsler og retensjon for de ulike parametere. Døgnverdier for perioden 19.mai-31.dasember 1995.

I denne perioden er det høyere utstrømming enn tilrenning, noe som går klart fram av figur 2. Det er mangelfulle vannstandsobservasjoner i perioden, men det må antaes at vannstanden fortsetter å synke i november også etter den observerte nedgangen i oktober. Dette

komponert materiale

- oksydering av organisk nitrogen fra sedimentet



Figur 7.
Retensjon over året fra 19. mai - 31. desember 1994. Døgnverdier (kg/d).

vil langt på vei forklare den negative retensjonen i denne perioden for nitrogen.

I denne perioden kan det også tenkes at dødt dekomponerende organisk materiale blir ført ut av våtmarka og derfor medfører en negativ retensjon. Dette burde imidlertid også slå ut på fosforverdiene, noe som ikke er tilfelle. Dessuten blir mesteparten av makrovegetasjonen dekomponert inne i våtmarka og dette sker om våren etter at fjorårsstenglene brytes ned av isløsnings. Disse stenglene inneholder dessuten svært lite næringssalter da dette tilbakeføres til rota før plantene visner.

En annen mulig forklaring kan være at enkelte delvis tørrlagte områder i våtmarka kan ha fått oksydert organisk nitrogen i sedimentet pga. oksygentilførsler. Dette blir så spylt ut når vannstanden igjen stiger og vanntilførslene øker. Dette er beskrevet som et generelt fenomen av Kadlec og Knight (1996). En støtte for en slik forklaringsmodell er at mesteparten av nitrogenet som transporteres ut av våtmarka utgjøres av nitrat.

Berge og Fjeld (1995) har forøvrig observert nitrogenlekkasje fra en senket våtmark i visse perioder av året.

Det at den høye uttappingen, kombinert med beskjedne tilførsler slår spesielt ut for nitrogen og har nesten ingen effekt på de andre parameterne er ikke særlig overraskende. Tap av fosfor og suspendert stoff er i meget stor grad underlagt sedimentasjon, mens for nitrogen skjer dette i mindre grad. I denne perioden på senhøsten vil denitrifiseringsen bremses kraftig opp pga. lave

temperaturer, mens sedimentasjonsprosessen er virksom hele året.

Overføring av mer vann til våtmarka

De beskrevne retensjonsverdiene er unektelig optimistiske, også ved høy tilrenning, og viser at fysisk/kjemiske prosesser som fungerer hele året igjennom er tilstrekkelige for å opprettholde en god retensjonseffekt. Spørsmålet om det ved en øveføring av mer vann fra f.eks. Sandeelva kan påregnes å opprettholde en like god retensjon er imidlertid ikke enkelt å besvare.

Som nevnt i forrige kapittel er man avhengig av en betydelig oppmagasinering, og at man dermed får opprettholdt en lang oppholdstid for vannet når tilførslene er store. Tidligere er det også nevnt at forholdet mellom avrenningsområdet til våtmarka og våtmarka sammenliknet med hele nedbørfeltet og hele innsjøen er nokså likt. Forholdstallet for våtmarka er ca 16,7 og for innsjøen ca 14. Dette medfører altså at tilrenning til våtmark og innsjø relativt sett er likt, og som vi også observerer, vannmengden ut av våtmarka er svært stabil.

Tilførsel av mer vann fra Sandeelva vil forstyrre dette forholdet, og vannet vil strøme fortere igjennom våtmarka. All tidligere erfaring viser at dette vil medføre en nedgang i den prosentvise retensjonen. Hvor stor nedgangen vil være (i absolutte tall) og hva gevinsten vil være i prosent er det foreløpig vanskelig å fastslå. Til dette hører også at vannkvaliteten i Sandeelva er bedre enn det vannet som normalt tilrenner våtmarka. Reduksjonspotensialet er derfor mindre. En studie av tilrenning på

døgnbasis der en vil forsøke å estimere rene retensjonsprosesser i forhold til oppmagasineringseffekten vil kunne gi et bedre grunnlag for å vurdere effekten av en slik overføring.

Videre arbeid

Vi vil forsøke å få dekket opp periodene der vannføringsmåleren ut av våtmarka tidligere har vært ute av drift. Dette gjelder spesielt vår/forsommer situasjonen. Etter at vannstands nivåene per døgn er simulert, sammen med vanntilsig og avløp, vil dette også gi oss en mulighet for å verifisere Valeportverdiene.

Det er satt ned to sandspisser ved Vassbånnveien (figur 1) for å få en indikasjon på vanntilførselen av grunnvann gjennom året. Sandspissene står i leire som er relativt impermeabel, og det er derfor usikkert om vann fra disse sandspissene egner seg som representative vannkvalitetsmål. I alle tilfeller vil vi få målt grunnvannsnivået, som kan gi oss informasjon om variasjonen av grunnvanntilførselen i løpet av året.

I 1996 er det i vår/forsommerperioden benyttet ukentlige prøvetakinger. Dette for å minske måleusikkerhetene i en periode som er dårlig dekket opp i 1994-95.

Usikkerhetsvurderinger

Usikkerhetene knytter seg til flere forhold omkring vannmengde- og vannkvalitetsmålinger inn og ut av våtmarka.

Vannmengdemålingene inn i våtmarka er basert på vannføringstallene fra Semsbekken (stasj. E). For å verifisere

disse dataene er det kjørt en modell (HBV-modellen) som ga en god overenstemmelse med observasjonene i de fleste tilfeller. I de tilfeller en ikke hadde observasjoner, og der en på forhånd viste at de observerte dataene var usikre, ble modellens estimerte verdier brukt. Da det for Grøftebekken (stasj. G) ble installert en vannføringsmåler i august 1995, har det vært to stasjoner å verifisere mot hverandre. Siden avrenningen fra de andre feltene er beregnet på bakgrunn av Semsbekken vil en mindre feil i Semsbekken gi en 4 ganger større feil for alle feltene tilsammen. Etter at målingene i Grøftebekken tok til, er denne feilen redusert til det halve. Dreneringen av alle feltene er tegnet opp på bakgrunn av informasjon fra kommunene og berørte grunneiere. Usikkerheten i dette betegnes derfor som moderat.

Vannkvalitetsmålingene inn i våtmarka er mest usikre for de feltene der det er gjennomført stikkprøvetaking. Dette gjelder for stasjonene F og G. For de andre stasjonene er det vannføringsproposjonale blandprøvetakere. F og G utgjør 45% av det totale tilrenningsarealet.

Prøvetakeren i Semsbekken (E) pumper en delprøve over i en kasse som står i skyggen for sola, men ikke i kjøleskap. Dette kan medføre at det skjer en omsetning av næringssaltfraksjonene som er mest tilgjengelig. Dette kan medføre at ortofosfatandelen er noe underestimert men trolig ikke betydelig. Osygenfrihet i oppsamlingdunken er utelukket, og denitrifisering er dermed unngått. At noe ammonium kan

forsvinne er imidlertid ikke utelukket. Ammoniumverdiene er forøvrig svært lave for alle stasjoner. Totalfraksjonene av næringssalter vil imidlertid være tilnærmet uberørt.

Det er montert vanlig V-overløp i Semsbekken. Alternativet ville vært et Krump-overløp som også er vanlig i slamførende bekker/elver. Ulempene med Krump-overløp er større usikkerhet i vannmengdemålingen ved lav vannføring. Fordelene er imidlertid at en får med seg alt sedimenterbart materiale som bekken fører med seg. Teoretisk sett kan det ved V-overløp sedimenteres partikler foran overløpet hvis oppstuvning. Det var lagt ut plast foran overløpet, dels for å holde dammen tett, og dels for å avdekke mulig sedimentasjon foran overløpet. Observasjoner viser ubetydelig sedimentasjon.

Vannmengdene ut av våtmarka måles i tunnelen med en elektromagnetisk vannføringsmåler. For å justere for avtaket mot veggene av tunnelen vil en laminær strøm gi en best tilpassing. Dette ville imidlertid kreve en lenger tunnel enn den som er montert på 30 cm. Den nedjusteringen av vanntilførselen på 12,5% som er gjort innebærer derfor en viss usikkerhet.

Ved enkelte tilfeller er det ved undervannsinnspeksjon avdekket at den vertikale bevegelsen av duken har vært så stor at noen ganske få av sandsekkene er falt av og duken har sluppet på bunnen. Dette har skjedd i forbindelse med isløsning, men hvor dette er rettet opp nærmest umiddelbart. Ved ett annet tilfelle ble tilsvarende forhold oppdaget på lav vannstand, hvor det også umid-

delbart ble rettet opp. Dette kan ha medført at ikke alt vannet har gått igjennom tunnelen og at transporten ut er underestimert. Retensjonen kan dermed være overestimert. Periodene hvor dette har skjedd har imidlertid vært så korte at det neppe har hatt noen stor betydning for årsverdiene.

Som den eneste målingen på vanntilførselen ut av våtmarka, er dette Valeport-instrumentet sårbart. Når en i tillegg ikke har hatt muligheter til å verifisere verdiene ved modellkjøringer, er usikkerhetene vanskelig å vurdere. Modellsimuleringer vil imidlertid i det videre arbeid evt. verifisere disse målingene.

Vannkvaliteten ut av våtmarka er for 1994 målt ved en automatisk prøvetaker, som forøvrig ikke var vannføringsproposjonal men tidsproposjonal. For 1995 ble det gjennomført vanlig prøvetaking pga. liten variasjon i verdiene. Usikkerheten her blir derfor vurdert til å være relativt liten.

Referanser

Berge, D. & E. Fjeld. 1995. Mobilization of nitrogen from drained wetlands. In: Newsletter 3/95, Nitrogen from mountains to fjords. pp 7-8.

Bratli, J. L. 1996. Restaurering av Borrevannet. Selvrensing av næringssalter og suspendert stoff gjennom naturlige sivbelter, framdriftsrapport. O-92064/E-92426. L.3514-96. NIVA-rapport.70s

Englund, J. O. Personlig meddelelse under møte i mai 1995 NLH, Ås.

- Hoffmann, C. C. 1985. Nitrate reduction in a reedswamp receiving water from an agricultural watershed. Proc. 13th Nordic Symp. on sediments. Aneboda, Sweden. pp 41-62.
- Jørgensen, S. E., Hoffmann, C. C. & Mitch, W. J. 1988. Modelling nutrient retention by a reedswamp and a wet meadow in Denmark. In: Mitch, W. J., Straskraba, M. & Jørgensen, S. E. (Eds.) Wetland modelling. Elsevier. pp 133-151.
- Kadlec, R. H. & R. L. Knight, 1996. Treatment wetlands. Lewis publishers. 893 p.
- Kufel, L. 1982. The phosphorus turnover in reed bed. Pol. Ecol. Stud. 8:87-111.
- Larsen, D.P. & H.T. Mercier 1976. Phosphorus retention capacity of lakes. J. Fish. Res. Board Can., 33(8): 1742-1750.
- Leonardsson, L. 1994. Våtmarker som kvävefällor. Svenska och internationella erfarenheter. Naturvårdsverket, Stockholm 265 p.
- Müller, U. 1995. Vertical zonation production rates of epiphytic algae on *Phragmites australis*. Freshwater Biology, 34:69-80.
- Nichols, D. S. 1983. Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater. Journal WPCF, 55(5): 495-505.
- Nixon, S. W. & V. Lee 1986. Wetlands and Water Quality: A Regional Review of Recent Research in the United States on the Role of Freshwater and Saltwater Wetlands as Sources, Sinks, and Transformers of Nitrogen, Phosphorus, and Various Heavy Metals, "Technical Report Y-86-2, prepared by University of Rhode Island for US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- Rognerud, S., D. Berge & M. Johannesen 1979. Telemarkvassdraget - Hovedrapport fra undersøkelsene i perioden 1975-1979. NIVA-rapport O-70112. Oslo.
- Semb, A. & K. Tørseth. 1994. Dry and wet nitrogen deposition. In: Newsletter 1/1994. Nitrogen from Mountains to Fjords.
- SFT 1992. Overvaking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1991. Rapport 506/92.
- SFT 1993. Overvaking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1992. Rapport 533/93.
- SFT 1994. Overvaking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1993. Rapport 583/94.
- Sloey, W. E., F. L. Sprangler and C. W. Fetter Jr. 1978. Management of freshwater wetlands for nutrient assimilation, s. 321-340. In: R. E. Good, D. F. Wigham and R. E. Simpson (eds.), Freshwater Wetlands: Ecological Processes and Management Potential. Academic Press, NY.
- Sprangler, F. L., W. E. Sloey and C. W. Fetter Jr. 1976. Wastewater treatment by natural and artificial marches. NTIS; Springfield, VA, PB_2599-992. Environmental Protection Technology Series EPA-600/2-76-207.