

0-88035

***Betydning av sur nedbør
for økte nitrogen-tilførsler
til fjordområder.***

Forprosjekt

NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor

Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80

Sørlandsavdelingen

Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen

Breiviken 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.:

O-88035

Undernummer:

Løpenummer:

2257

Begrenset distribusjon:

Nei

Rapportens tittel: Betydning av sur nedbør for økte nitrogen-tilførsler til fjordområder. Forprosjekt.	Dato: 21.06.89
	Prosjektnummer: O-88035
Forfatter (e): Atle Hindar Kristoffer Næs Jarle Molvær	Faggruppe: Sur nedbør
	Geografisk område: Agder
	Antall sider (inkl. bilag): 45

Oppdragsgiver: NTNF	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.): FK 03.15772
----------------------------	---

Ekstrakt:

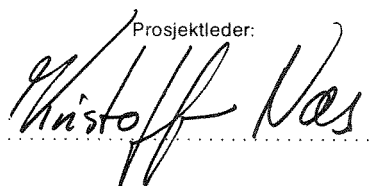
Forurenset luft og nedbør er en betydelig kilde for nitrogen i vassdrag på Sørlandet. 35-40% av nitrogentransporten i Nidelva og Otra kan skyldes forurenset luft og nedbør. For de aktuelle sjøresipientene betyr det at i de øvre 5 m av vannsøylen, kan 30% av nitrogenet stamme fra denne kilden. Hvis tendensen til økt nitrogenavrenning forsterkes i årene framover, ved f.eks. at tilbakeholdelsen av nitrat + ammonium avtar fra dagens 90-95% til 80%, vil nitrogenkonsentrasjonen i Nidelva og Otra øke drastisk. Nitrogen fra forurenset luft og nedbør vil da kunne utgjøre 40% av nitrogenet i den øvre delen av vannsøylen i sjøresipientene.

4 emneord, norske:

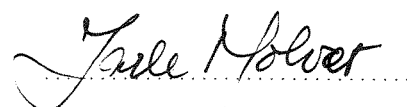
1. Sur nedbør
2. Nitrogen
3. Marin eutrofi
- 4.

4 emneord, engelske:

1. Acid rain
2. Nitrogen
3. Marine eutrophication
- 4.

Prosjektleder:


For administrasjonen:



ISBN - 82-577-1554-9

O-88035

Betydning av sur nedbør for økte nitrogen-tilførsler til
fjordområder - forprosjekt.

Grimstad, 21. juni 1989

Prosjektleder: Kristoffer Næs
Medarbeidere: Atle Hindar
Jarle Molvær
Richard Wright

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Forord	3
Konklusjoner	4
1. Innledning	5
1.1 Generell bakgrunn	5
1.2 Målsetting	5
2. Organisering av arbeidet	6
3. Resultater fra litteraturgjennomgang	6
4. Stoffbudsjetter for Nidelva og Otra	11
4.1 Forutsetninger	11
4.1.1 Nidelva	11
4.1.2 Otra	13
4.1.3 Beregning av nitrogentilførsler	15
4.2 Resultater for Nidelva	17
4.2.1 Vannkjemi	17
4.2.2 Tilførsler fra landbruk	20
4.2.3 Tilførsler fra husholdningskloakk	21
4.2.4 Avrenning fra skog og fjell	22
4.2.5 Tilførsler fra forurenset nedbør	23
4.2.6 Tilførsler fra industri	23
4.2.7 Tilførsler fra andre kilder	24
4.3 Resultater for Otra	25
4.3.1 Vannkjemi	25
4.3.2 Tilførsler fra landbruk	29
4.3.3 Tilførsler fra husholdningskloakk	30
4.3.4 Avrenning fra skog og fjell	31
4.3.5 Tilførsler fra forurenset nedbør	32
4.3.6 Tilførsler fra industri	32
4.3.7 Tilførsler fra andre kilder	32
4.4 Diskusjon av stoffbudsjetter for Nidelva og Otra	33
5. Stoffbudsjetter for Utnes og Kristiansandsfjorden	37
5.1 Forutsetninger	37
5.2 Stoffbudsjett for Utnesområdet	37
5.3 Resultater for Kristiansandsfjorden	39
6. Sammenfattende vurdering og forslag til videreføring	41
7. Litteratur	43

FORORD

Dette forprosjektet "Betydning av sur nedbør for økte nitrogen-tilførsler til fjordområder" er finansiert av NTNF, komite for langtransporterte luftforurensninger (NTNF-prosjekt FK03.15772).

Medarbeidere i prosjektet har vært Atle Hindar, Jarle Molvær og Richard Wright.

Grimstad, 21. juni 1989

Kristoffer Næs
Prosjektleder

KONKLUSJONER

Formålet med dette forprosjektet har vært å kvantifisere hvor stor del av nitrogenmengden i Nidelva (Aust-Agder) og Otra (Vest-Agder) som kan tilbakeføres til forurensning via luft og nedbør. Videre har målet vært å bestemme om dette er en viktig kilde for nitrogen i de respektive sjøresipientene, Utnesområdet og Kristiansandsfjorden.

Resultatene viser at nitrogen fra forurenset luft og nedbør er en betydelig kilde til den nitrogentransporten som finner sted i vassdrag på Sørlandet. Likeledes er denne kilden av betydning for nitrogenbudsjettet i de nære sjøresipienter.

Det direkte nedfallet på innsjøoverflatene utgjør omkring 15-20% av nitrogentilførslene til vassdragene. Det er dessuten funnet en betydelig differanse mellom målte nitrogenverdier og kvantifiserte tilførsler. Det er sannsynliggjort at denne differansen, som er i samme størrelsesorden som det direkte nedfallet på innsjøoverflater, kan skyldes avrenning av nitrogen som også kommer via luft og nedbør.

Hvis den differansen vi har funnet i sin helhet tilskrives forurenset luft og nedbør, vil det si at 35-40% av nitrogentransporten i Nidelva og Otra skyldes forurenset luft og nedbør.

Dette bidraget har betydning for de nære sjøområder. 30% av nitrogenet i de øvre 5 m av vannsøylen i disse områdene kan stamme fra forurenset luft og nedbør under de samme forutsetninger som over.

Beregninger for Nidelva og Otra viser at hhv. 4 og 8% av nitrogendeposisjonen kommer ut i vassdragene hvis vår differanse i sin helhet tilskrives avrenning pga forurenset nedbør. Forskjellen mellom de to vassdragene skyldes trolig høyere avrenning og kortere kontakttid mellom avrenning og vegetasjon i Otras nedbørfelt. Dette gir relativt mindre retensjon i nedbørfeltet.

Hvis tendensen til økt avrenning av nitrogen forsterkes i årene framover ved at f.eks. tilbakeholdelsen av nitrat+ammonium avtar fra dagens 90-95% til 80%, vil nitrogenkonsentrasjonen i Otra og Nidelva øke drastisk. Nitrogenbudsjettet ved Utnes vil øke med 40% og bidraget fra forurenset luft og nedbør vil utgjøre hele 50% av budsjettet. Nitrogenbudsjettet for Kristiansandsfjorden vil øke med 25% og bidraget fra forurenset luft og nedbør vil utgjøre 40% av budsjettet.

Dette er dramatiske konsekvenser for både vassdrag og nære sjøområder.

Vi tilrår på bakgrunn av dette at forskningen omkring nitrogenavrenning og nitrogenmobilisering intensiveres.

1. INNLEDNING

1.1. Generell bakgrunn.

Uregelmessige oppblomstringer av planteplankton de siste 20 årene har ført til fokusering på en eventuell overgjødning av fjorder og kystvann. Med en slik overgjødning, eller eutrofiering, menes det økning av næringssaltkonsentrasjonen utover normaltilstanden. Disse oppblomstringene har misfarget sjøen og ofte ført til giftvirkning på spesielt fisk i innhegninger. Selv om dette er et gammelt fenomen, er det etter at Gyrodinium aureolum første gang forårsaket brun sjø og fiskedød i Norge i 1966 (Braarud & Heimdal 1970, Dahl et al. 1985), en vanlig oppfatning at hyppigheten av slike fenomener er økende. Særlig gjelder det innelukkede sjø- og fjordområder som mottar kloakk og annen næring fra land.

Det hevdes at økningen kan være tilsynelatende på grunn av bedre registrering i dag enn tidligere. Det har imidlertid i våre farvann de seinere årene vært masseforekomster av arter vi ikke tidligere har registrert eller bare registrert i små mengder. Dette tyder på visse forandringer i våre nære havområder. Årsak/virkningsforholdene er imidlertid uklare. Det pekes både på meteorologiske/hydrografiske grunner og økning i næringstilførsler fra kommunal kloakk, industri og jordbruk.

Imidlertid, eventuelle påvirkninger som skyldes langtransporterte forurensninger har til nå vært lite fokusert. Dette vil i stor grad være nitrogenforbindelser, både som direkte nedfall på fjord/sjøoverflate, men også som økte nitrogenkonsentrasjoner i avrenningsvann. Dette er ytterligere aktualisert ved resultatene fra den såkalte 1000-sjøers undersøkelsen (SFT 1987). Den viste at de fleste innsjøer i den sørligste delen av Norge hadde fordoblet sitt innhold av nitrogen fra 1974-75 til 1986. Det ble også her pekt på en mulig begynnende nitrogenmetning av jordsmonn i deler av Sørlandsregionen.

1.2. Målsetting.

Målsettingen med dette forprosjektet har derfor vært, på grunnlag av eksisterende data, å forsøke å kvantifisere bidraget fra langtransportert forurensning i form av økte nitrogenkonsentrasjoner i Nidelva og Otra. En eventuell næringssaltøkning vil igjen kunne ha betydning for eutrofitilstanden i de respektive sjøresipienter. Nitrogenbudsjetter for disse, hvor bidraget fra vannutskiftingen er tatt hensyn til, skal derfor stilles opp.

2. ORGANISERING AV ARBEIDET

Arbeidet har bestått i innhenting av aktuell litteratur og kontakt med utenlandske miljøer, spesielt amerikanske. Dette er utført av Richard Wright. Videre er det satt opp konkrete nitrogenbudsjetter for Nidelva og Otra av Atle Hindar, og for Utnes og Kristiansandsfjorden av Jarle Molvær.

3. RESULTATER FRA LITTERATURGJENNOMGANG

Nedenfor vil det først bli referert arbeider som har relevans til uvanlige algeoppblomstringer og mulige årsaker til disse. Dernest vil det bli lagt vekt på et nylig gjennomført prosjekt over nitrogentilførsler til Chesapeake Bay, USA og som har direkte relevans til dette prosjektet.

I en diskusjon om mulige effekter av økt nitrogentilførsel til fjorder og kystvann, vil spørsmålet om begrensende nærings salt melde seg. Vi vil ikke komme inn på dette her, men velger i utgangspunktet å se på økt nitrogentilførsel som potensiell kilde til økt planktonproduksjon i fjorder og kystvann. For en nærmere diskusjon av begrensende nærings salt henvises det til Howarth (1988), Howarth et al. (1988a,b), Sakshaug & Olsen (1986) og Paasche et al. (1987).

I litteraturen er mulige årsaker til uvanlige algeoppblomstringer ofte tilskrevet fysiske faktorer og/eller antropogene faktorer. Fysiske faktorer inkluderer blant annet lang/korttids variasjoner i klimatiske og oceanografiske forhold. På en mindre skala er ofte områder med høy biomasse knyttet til frontfenomener eller "upwelling" (Parker 1987). Den første registrerte masseforekomsten av Gyrodinium aureolum i norske og europeiske farvann ble tilskrevet vind-indusert "upwelling" i det aktuelle området (Braarud & Heimdal 1970). Tangen (1977) oppgir også upwelling som årsak til initieringen av Gyrodinium-oppblomstringen i 1976 samtidig som den fortsatte i vannmasser påvirket av stor ferskvannstilførsel.

Lindahl (1983,1986) mener at oppblomstringer av denne algen i skandinaviske farvann initieres til havs, sannsynligvis i forbindelse med sterke saltholdighetsfronter mellom Nordsjø- og Skagerrakvann. Den kan konsentreres i kystvann ved pålandsvind og strøm hvor "upwelling" og næringsrikt brakkvannslag på grunn av stor ferskvannstilførsel gir næring til masseforekomster. Disse mekanismene legges til grunn av Dahl et al. (1987) for oppblomstringen av Gyrodinium i 1981. Det er interessant å merke seg at ferskvannstilførsel tilskrives 7-17 % av nitrogentilførselen nødvendig for denne oppblomstringen. Dahl et al. anmerker også at den store ferskvannstilførselen kan ha tilført kystvannet mikronæringssemner og vekststimulerende stoffer essensielle for oppblomstringen. For en oversikt over fysiske og biologiske interaksjoner i forbindelse med oppblomstringer av Gyrodinium aureolum i skandinaviske farvann vises det til Richardsson & Kullenberg (1987).

Gowen (1987) har sett på oppblomstringer av Gonyaulax tamarensis og Gonyaulax aureolum i skotske farvann. Disse tilskrives frontfenomener i kystvannet. Ellers vises det til Cosper et al. (1987), Holligan (1987) og White (1987) for oppblomstringer i amerikanske farvann tilskrevet fysiske faktorer.

Det er også flere vitnesbyrd om antropogene tilførsler som mulige årsaker til masseforekomster av planktonalger. Undersøkelser i Seto Inland Sea i Japan har vist at hyppigheten av "red-tide" har økt i takt med økende organisk forurensning (Prakash 1987).

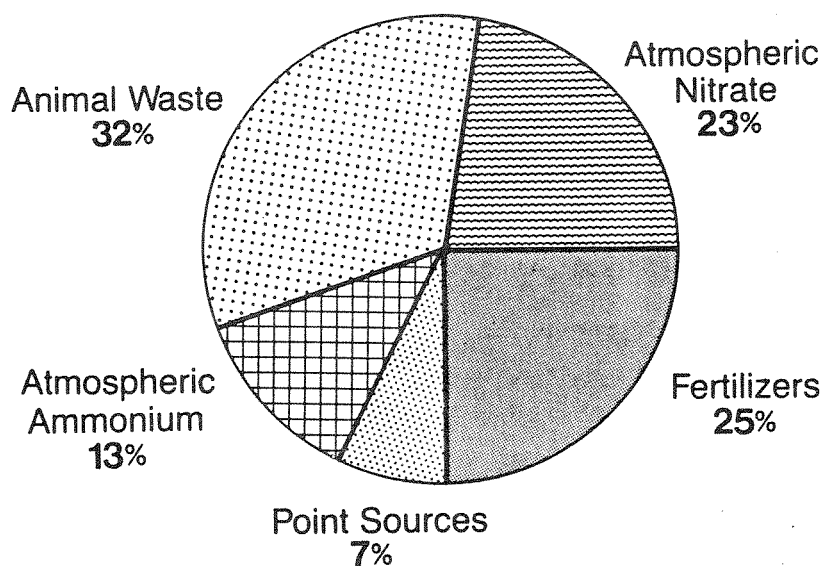
Tiltagende eutrofiering og påfølgende masseforekomster av alger og oksygenvikt i dypvannet i Kattegatområdet de seinere årene er blitt påpekt. I svenske kystfarvann ble dette først observert i Laholmsbukta (Fleisher et al. 1987). Økte tilførsler av nitrogen for landbruket ble påpekt som den viktigste faktoren. Den relative betydningen av de forskjellige nitrogenkildene varierer med årstidene, men i sommerhalvåret kan lokalt avrenningsvann stå for 70 % av nitrogentilførslene til fjordområdet (Fleisher et al. 1987).

Det er i litteraturen også blitt påpekt mulige koplinger mellom eutrofiering/uvanlige planktonoppblomstringer og forsuringseffekter på grunn av sur nedbør. Sangfors (1988) påpeker at sur nedbør har ført til økt mobilisering av metaller fra jordsmonn, spesielt kobolt. Kobolt er en fundamental bestanddel av vitamin B-12. Denne er en hovedforutsetning for vekst av dinoflagellater. Japanske forskere har argumentert at vitamin B-12 kan påvirke initieringen av "red tide" i kystfarvann og at avrenningsvann er den viktigste kilden til vitaminet (Nishijima & Hata 1986).

Paerl (1985) undersøkte næringsbegrensning og effekt av nedbør på fytoplanktonvekst på fire lokaliteter på kysten av North Carolina, USA. Han fant at den sureste nedbøren som også hadde den konsentrasjonen av nitrogen, stimulerte planktonveksten sterkest og konkluderer med at dette kan være viktig for primærproduksjonen i området påvirket av sur nedbør.

Det er nylig blitt gjennomført en undersøkelse av størrelsen på de forskjellige antropogene (ikke naturlig avrenning medregnet) nitrogenkildene til Chesapeake Bay, USA og fjordområdets nedbørsfelt (Fisher et al. 1988). Chesapeake Bay har i de seinere årene erfart økende eutrofiering. Massive oppblomstringer av blågrønnalger er observert hyppig i den øvre delen av fjordområdet, mens det i 1960-årene kun var spredte forekomster. Det opplyses at nitrogenreduksjoner er viktigst for å redusere planktonproduksjonen. I denne undersøkelsen framgår det at atmosfæriske tilførsler er en meget viktig kilde. Figur 1 viser budsjettet for nedbørsfeltet.

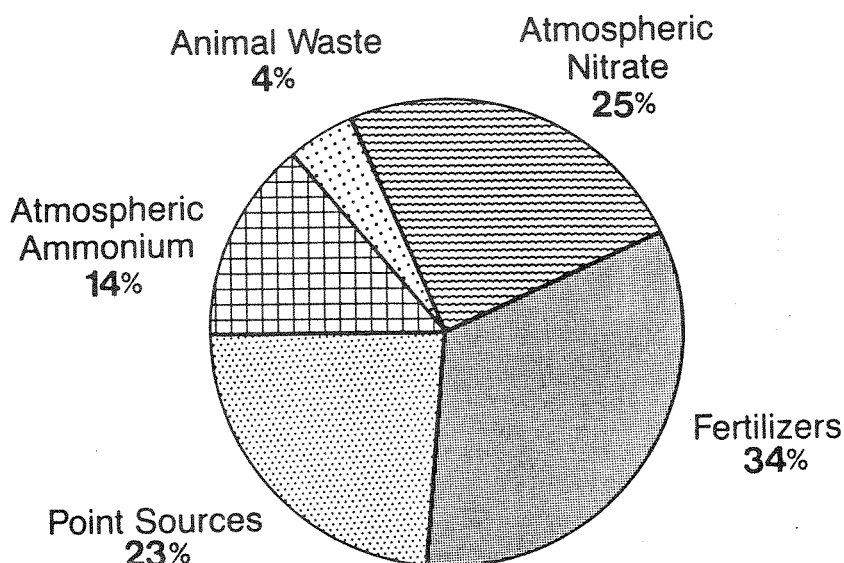
Sources of Nitrogen—The Watershed



Figur 1. Prosentvis fordeling av nitrogentilførsler til Chesapeake Bay's nedbørsfelt (etter Fisher et al. 1988).

Atmosfærisk nitratavsetning i dette nedbørfeltet kommer i hovedsak fra nitrogenoksydutslipp ved forbrenning av fossilt brennstoff. Biltrafikk står her for 36 % av utslippene, elektrisitetsverk for 32 % og industri for 15 %. Naturlige kilder for tilførsler av nitrogenoksyder er neglisjerbare i denne sammenhengen. Det resulterende nitrogenbudsjettet for Chesapeake Bay viste at atmosfæriske tilførsler sto for 25 % av de antropogene nitrogentilførslene, fig. 2. Man skal merke seg at dette er et budsjett over de antropogene tilførslene, nitrogentilførsler med vannutskifting er ikke medregnet.

Sources of Nitrogen—The Bay

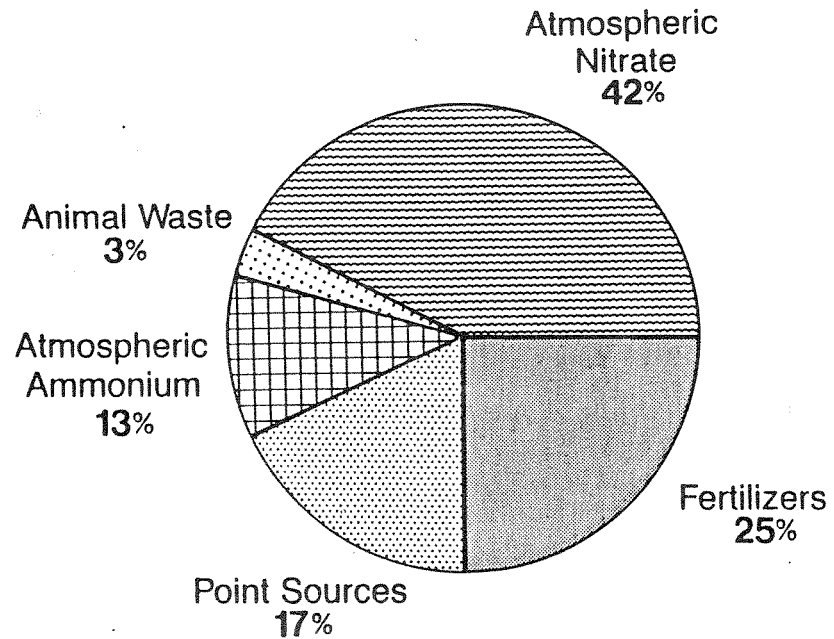


Figur 2. Prosentvis fordeling av nitrogentilførslene til Chesapeake Bay (etter Fisher et al. 1988).

Fisher et al. oppgir at Chesapeake Bay trolig er typisk også for andre amerikanske atlanterhavsfarvann. En foreløpig analyse av nitrogenkildene til Long Island Sound og Neuse River Estuary indikerer en lignende kildefordeling som den i Chesapeake Bay.

Det ble også gjort en prognose for den fremtidige nitrogenbalansen i Chesapeake Bay (år 2030). Man forventer at størrelsen av de atmosfæriske tilførslene skal øke både relativt (på grunn av utslippsreduksjoner fra industri, landbruk og kommunalkloakk) og absolutt, slik at disse utgjør 42 % i år 2030, fig. 3.

Future Nitrogen Loading to The Bay



Figur 3. Prognose for framtidig (år 2040) fordeling av nitrogentilførslene til Chesapeake Bay (etter Fisher et al. 1988)

4. STOFFBUDSJETTER FOR NIDELVA OG OTRA.

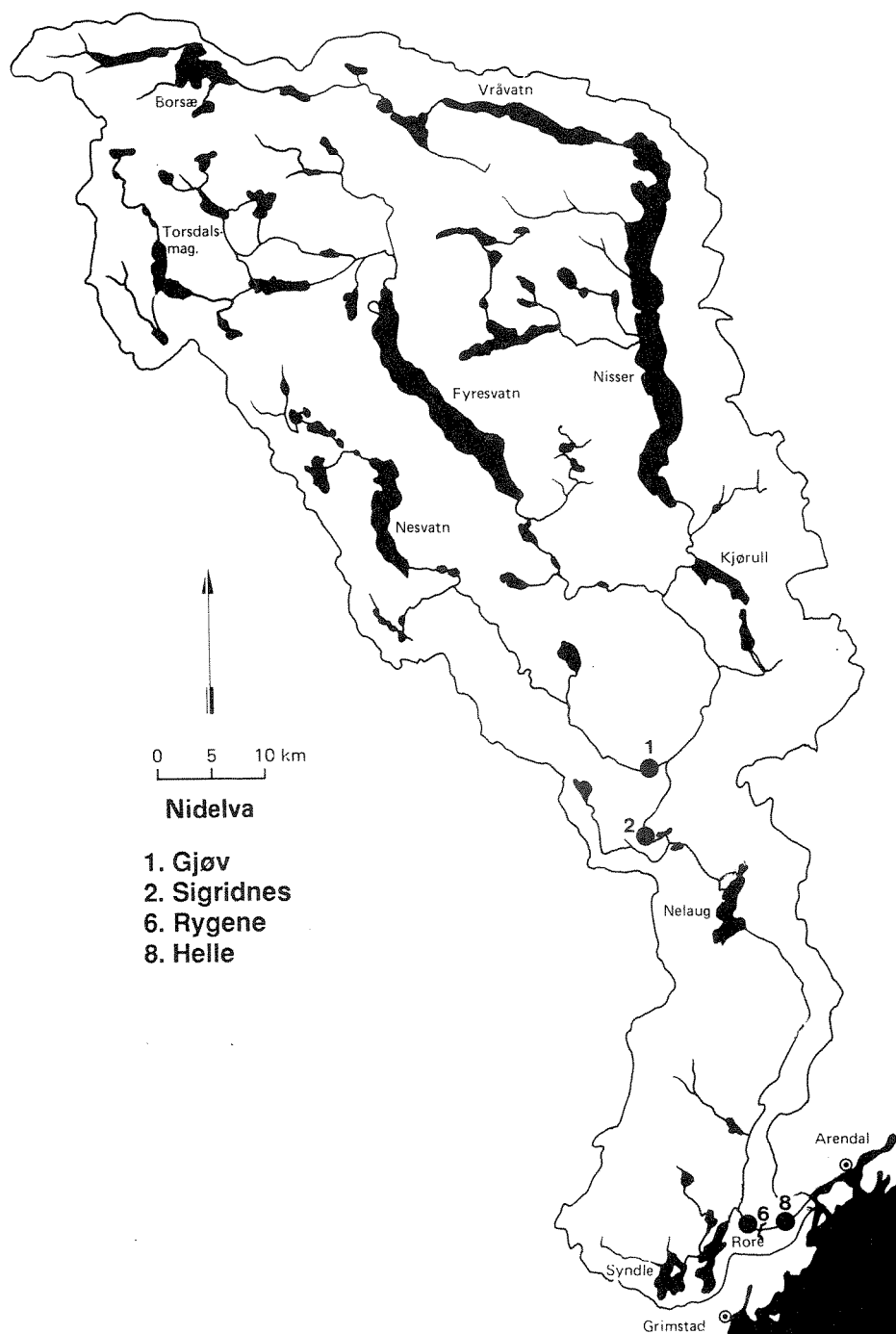
4.1. Forutsetninger.

4.1.1. Nidelva.

Nidelva strekker seg fra kildeområdene i Telemark og ned til sjøen ved Arendal i Aust-Agder (figur 4). Vassdraget er sterkt regulert for produksjon av elektrisk kraft. Data for vassdraget er gitt i tabell 1.

Nidelva er lite preget av lokale forurensningskilder. Det er meget spredt bosetting i de øvre områdene. Det er renseanlegg for husholdningskloakk i de største tettstedene ovenfor Åmli.

Fra Åmli og ned til Rygene øker befolkningstettheten og dermed forurensningsbelastningen. I dette området er det drift av renseanlegg for Åmli, Nelaug og Osedalen (Neset). Anlegget i Vallekilen er nedlagt, men kloakken pumpes nå til et nytt renseanlegg for Åmli.



Figur 4. Nedbørfeltet til Nidelva (Arendalsvassdraget).

Langtransportert forurenset luft og nedbør har ført til forsuring av Nidelvas nedbørfelt, men vassdraget har fortsatt gode bestander av flere fiskearter. I Nisser og Fyresvatn ligger pH på 5.3-5.5, men begge innsjøer har bestander av aure. I elva ligger pH mellom 4.8 og 5.5.

Sidevassdragene kan være betydelig surere, spesielt i nedre deler som ligger over marin grense.

Tabell 1. Data for Nidelva

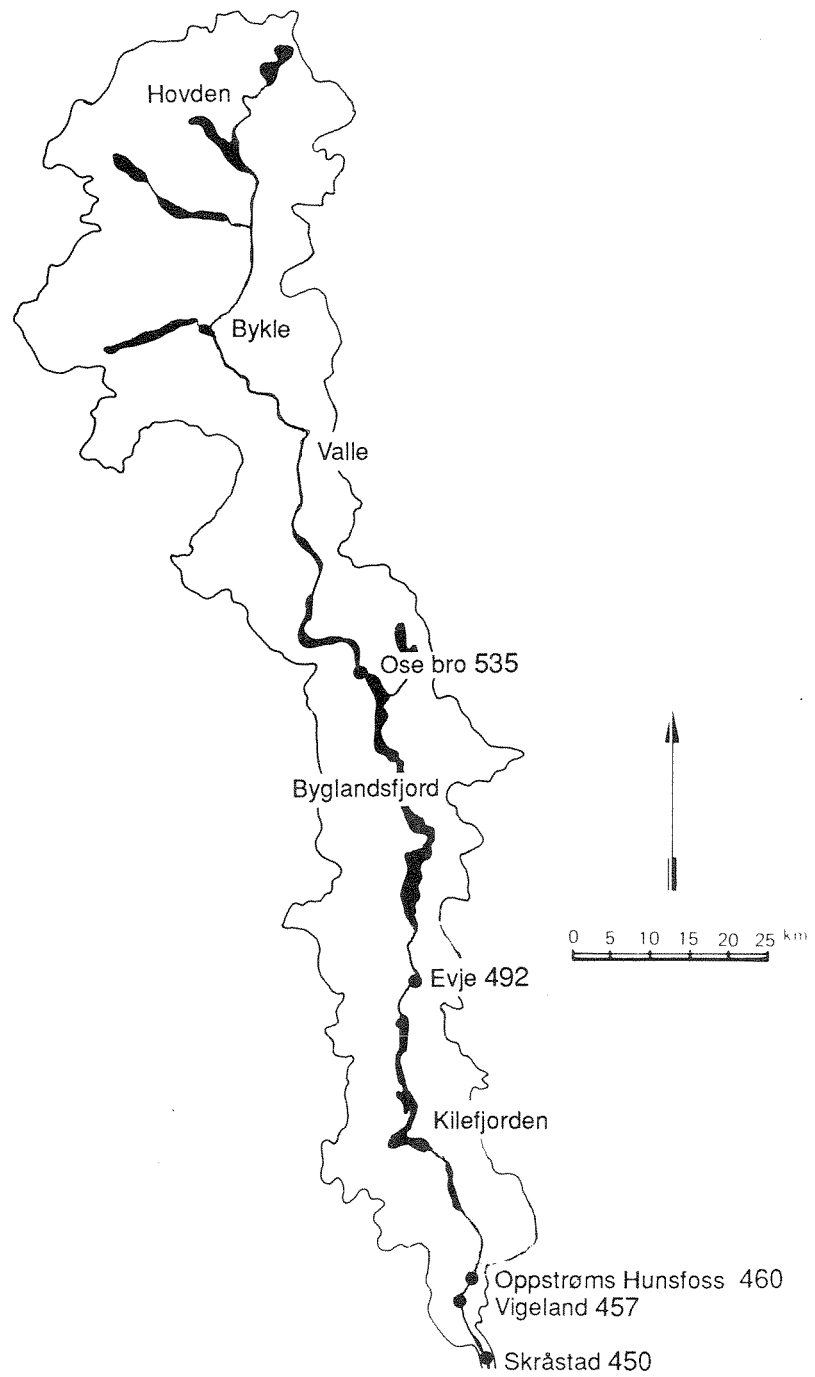
Nedbørfelt	4005	km ²
Spesifikk avrenning	28.3	l/km ² .s
Middelvannføring	113	m ³ /s
Årlig middelavrenning	3570	mill. m ³
Totalt innsjøareal	266	km ²

Vannprøvetaking i perioden juli 1985 - desember 1986 danner utgangspunkt for å beregne middelkonsentrasjon av nitrogen i Nidelva.

Vannføringen i den perioden vannprøvene ble tatt varierte svært lite. De tre største døgn-vannføringer i perioden ble observert den 07.08.85 med 251 m³/s, den 05.05.86 med 279 m³/s og den 30.08.86 med 279 m³/s.

4.1.2. Otra.

Otravassdraget (figur 5) er omlag like stort (3730 km²) som Arendalsvassdraget. Fra kildeområdene nord for Hovden i Setesdalen og til utløpet i Kristiansandsfjorden er det en strekning på 240 km. Data for vassdraget er vist i tabell 2.



Figur 5. Nedbørfeltet til Otravassdraget.

Otra har vært regulert for produksjon av elektrisk kraft siden ca. 1900. Fram til idag er det foretatt omfattende reguleringer og overføringer i hele vassdraget, spesielt i øvre del.

Vassdraget er lite preget av lokale forurensningskilder i øvre del om en ser bort fra elveavsnitt der vannet ledes i rør slik at vannføringen i Otra er vesentlig redusert. Det er renseanlegg for husholdningskloakk i Bykle, Valle, Bygland og Evje.

I nedre del er elva sterkt preget av utslipp fra treforedlingsindustrien i Vennesla. Utslippene fører til stor organisk belastning og forsuring. Årlig middel-pH i elva reduseres fra omkring 5.5 til omkring 5.2 pga disse utslippene.

Husholdningskloakken blir i liten grad rensert i Otras nedre del. Kommunale og private slamavskillere er eneste anleggstype.

Vassdraget er preget av forsuring som følge av forurenset nedbør. I øvre deler (Bykle) ligger pH stort sett over 6.0, men i området fra Valle og nedover er det en rekke sure tilløpselver. Årlig middel-pH oppstrøms Hunsfoss ligger på omkring 5.5.

Tabell 2. Data for Otra.

Nedbørfelt	3730	km ²
Spesifikk avrenning	41.5	l/km ² .s
Middelvannføring	155	m ³ /s
Årlig middelavrenning	4882	mill. m ³
Totalt innsjøareal	160	km ²

Månedlig vannprøvetaking siden 1980 danner utgangspunkt for å beregne middelkonsentrasjon av nitrogen i Otra.

4.1.3. Beregning av nitrogentilførsler

I tabell 3 og 4 er det gitt en oversikt over hvilke koeffisienter og faktorer som er benyttet i beregningene av nitrogentilførsler.

Det er viktig å være klar over at flere av koeffisientene og faktorene angir forurensningsproduksjon og ikke netto tilførsler til vassdrag. De prosesser som er med på å holde stoffer tilbake i nedbørfelt og vassdrag kan ha stor betydning for tilførselsregnskapet.

Tabell 3. Faktorer og koeffisienter som brukes for å beregne tilførsler av nitrogen (N) fra ulike kilder.

Bruksområde	Størrelse	Benevning
N - belastning fra mennesker	12	g N/person·døgn
N - avrenning fra landbruk	2000	kg N/km ² .år
N - avrenning fra skog	220	kg N/km ² .år
N - avrenning fra fjell	110	kg N/km ² .år
N - med normalnedbør på innsjø	200	kg N/km ² .år
N - total nedbør på innsjø	1200	kg N/km ² .år
Avrenning fra gjødselkjellere	4.8	% av produksjon
Silolekkasje	30	% av produksjon
N - innhold i silomasse	0.3	kg N/m ³ masse

Til denne undersøkelsen er det benyttet data fra det nye nasjonale vassdragsregisteret. Det gjelder spesielt bosettingsmønster og arealfordeling. Opplysningene i registeret er svært godt egnet i undersøkelser av denne typen fordi de er ordnet etter nedbørfelt og ikke etter forvaltningsmessige enheter som kommuner og fylker.

De arealene som finnes under hvert enkelt delnedbørfelt i registeret er arealer som eies av personer som er hjemmehørende i feltet. Av denne grunn kan områder innenfor et nedbørfelt A være plassert innenfor et annet nedbørfelt B fordi eieren bor i B. Opplysningene er her i første rekke brukt til å beregne andelen av forskjellige areal typer innenfor Nidelvas og Otras nedbørfelt og det antas derfor at slike "feilføringer" i registeret har liten betydning.

Tabell 4. Mengde nitrogen i husdyrgjødsel fra ett års produksjon fra diverse dyr og fugl. Tallene er oppgitt i kg N/enhet·år.

Kilde	kg N/enhet·år
Ku	86
Sau	14.4
Purke	28.8
Slaktegris	10.8
Høns	0.7
Storfe	28.8

Beregning av avrenningen fra gjødselkjellere og silo blir svært usikker og ganske sikkert feil om en bruker faktorene her for ett og ett gårdsbruk. De tallene vi bruker er middeltall for en rekke gårdsbruk i Aust-Agder og er hentet fra Miljøvern avdelingen i Aust-Agder.

Belastning av nitrogen via nedbør er summen av nitrat og ammonium og er hentet fra SFT's årsrapporter (SFT 1985, 1986, 1987 og 1988). Nedbørstasjoner som er brukt er de sterkt forurensningsbelastede stasjonene Birkenes og Treungen og bakgrunnsstasjonene Kårvatn, Tustervatn og Nausta.

Øvrige koeffisienter er hentet fra Vennerød (1982).

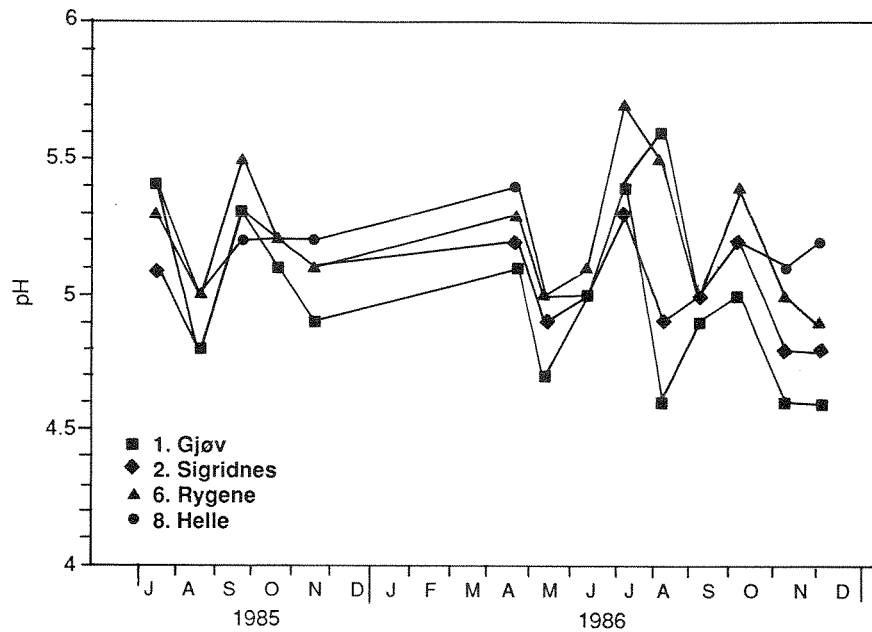
De litteraturverdiene som er brukt er framkommet gjennom undersøkelser i forskjellige deler av landet. Det kan reises tvil om hvor representative de er for Agder. Det er også kjent at Statens forurensningstilsyn vil endre belastningskoeffisientene for mennesker til noe lavere verdier enn de som er brukt her.

For denne forundersøkelsens del er det i første rekke viktig å komme fram til om nitrogen fra forurenset nedbør er betydelig kilde til nitrogen i Nidelva og Otra. Selvom de faktorer og koeffisienter som er brukt kan være avvikende fra de faktiske forhold, vil beregningene gi tilstrekkelig informasjon her. I diskusjonsdelen er betydningen av å variere enkelte faktorer vurdert.

4.2. Resultater for Nidelva

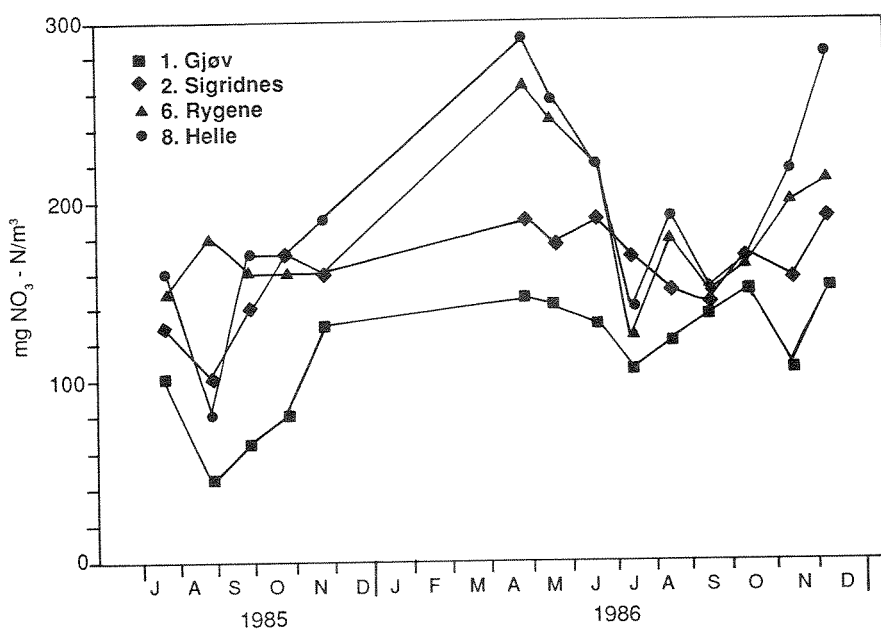
4.2.1. Vannkjemi

Tidligere undersøkelser av Nidelva viser at vassdraget er surt. Figur 6 viser at sidevassdraget Gjøv er surere enn hovedvassdraget. pH varierer fra 4.6 til 5.4 i hovedvassdraget. Det er en svak økning i pH nedover i vassdraget fra Sigridnes til Rygene. Forskjellen er bare omkring 0.2 pH-enheter.

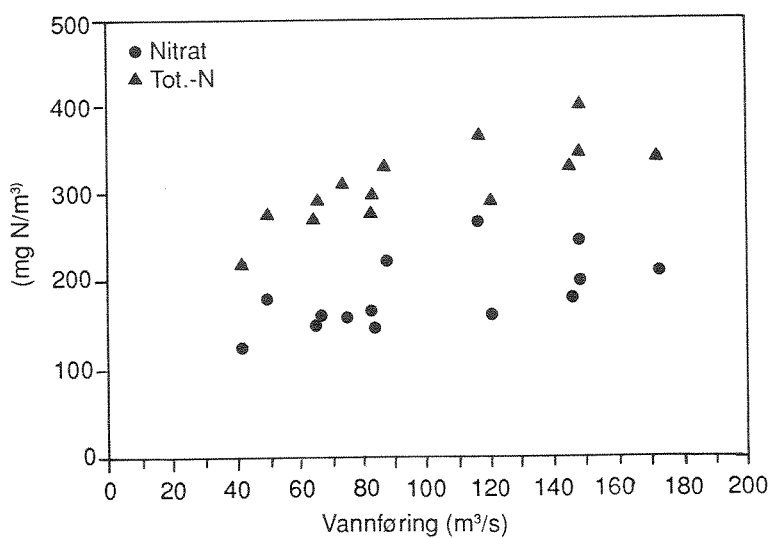


Figur 6. Surhet (pH) i Nidelva og Gjøv.

I perioden juli 1985 - desember 1986 var konsentrasjonene av nitrat bare unntaksvis over 0.250 mg N/l ved Helle nederst i elva. Høyere oppe i vassdraget var verdiene lavere (figur 7). Total-nitrogen inneholder også den delen av nitrogen som er bundet organisk. Total-N ligger omlag 0.100 mg N/l høyere enn nitrat på Sigridnes og Helle. Figur 8 viser at det er en svak økning i både nitrat og total-nitrogen når vannføringen øker.



Figur 7. Nitratkonsentrasjoner i Nidelva og Gjøv.



Figur 8. Konsentrasjoner av nitrat og total nitrogen som funksjon av vannføring ved Rygene. Middelvannføringen ved Rygene dam er 111 m³/s.

På grunnlag av vannføringsdata og målte verdier for total nitrogen er det gjort en beregning av volumveiet middelkonsentrasjon av nitrogen i perioden. Middelerdien er 0.35 mg tot N/l.

4.2.2. Tilførsler fra landbruk

Tidlig i arbeidet med å kartlegge tilførsler til vassdraget ble det klart at landbruket står for en relativt liten andel av de totale næringssalttilførslene. Detaljkartlegging av alle gårdsbruk er derfor ikke prioritert og ville heller ikke vært mulig innenfor rammen av prosjektet. Opplysninger om størrelse og driftsform for enkeltbruk er heller ikke samlet inn.

Jordbruksaktiviteten er økende nedover mot Rygene. Resultater fra silo- og gjødselkontrollen, som gjennomføres av Miljøvern-avdelingen i Aust-Agder, viser at små gårdsbruk i Aust-Agder uten siloanlegg og med dårlige lagringsmuligheter for gjødsel representerer en stor fare for forurensning av vassdrag. Omkring 2/3 av kontrollerte anlegg i årene 1984-1986 var kilde til forurensning. Tilførslene skjer i stor grad til små bekker og vassdrag med liten vannføring (Miljøvern-avdelingen i Aust-Agder 1987).

I tabell 5 er det vist en oversikt over jordbruksarealer og antall bruk i drift fordelt på delnedbørfelt til Arendalsvassdraget.

Tabell 5. Jordbruksarealer og bruk i drift innenfor hvert enkelt delnedbørfelt til Arendalsvassdraget.

Område	Jordbruksareal i drift (da)	Ant. bruk i drift	Ant. bosatte
Syndle/Roresand	2770	76	993
Froland Verk	1135	44	562
Gjøveland	1494	40	265
Nesvatn/Fyresv.	233	6	37
Binndalen	70	3	84
Fyresdal	2867	60	1019
Hæstad	2169	42	360
Arendal	7854	171	8202
Rise	4377	75	880
Blakstad	3124	100	2379
Åmli	4428	68	1641
Olstad	906	27	271
Treungen	1034	34	543
Nissedal	2435	79	966
Årdals Verk	3129	82	914
SUM	38088	907	19116

I tabell 6 er kvantifiserte tilførsler av nitrogen fra landbruk satt opp.

Tabell 6. Utslipp av nitrogen fra gjødselkjellere og silo, samt avrenning fra landbruksarealer. Alle tall er oppgitt i kg N.

	Gjødselkj.	Silo	Avrenn.	Sum
Kvites., Nissed., Fyresd.			24000	24000
Åmli	3300	270	11800	15370
Froland	2200	290	8600	11090
Øyestad	3200	500		3700
Arendal	100			100
Øyest., Grimst., Arend.			30000	30000
SUM	8800	1060	74400	84260

Det var ikke mulig å få tall for utslipp fra gjødsellagere og silo for Kviteseid, Nissedal og Fyresdal. Bidragene antas å være relativt beskjedne. Betydningen av utslipp fra pelsdyrgårder har ikke vært mulig å kvantifisere.

Det er 38 km² jordbruksareal i drift i nedbørfeltet ifølge landbrukstellinga i 1979. 50 % av dette arealet ligger lenger ned i vassdraget enn Åmli kommune. Rise, Blakstad og Åmli er de viktigste jordbruksområdene. Det er drøyt 900 bruk som er i drift i vassdraget. Brukene er relativt jevnt fordelt.

Totalt er tilførslene fra landbruket 84 tonn nitrogen på ett år.

4.2.3. Tilførsler fra husholdningskloakk

Det er bosatt omlag 19000 mennesker innenfor Nidelvas nedbørfelt. Den midlere befolkningstettheten blir 4.8 personer/km². Det er halvparten av gjennomsnittet for Aust-Agder.

I tabell 7 og 8 er det satt opp hvor mange personer som er knyttet til større kommunale renseanlegg eller slamavskillere og hvor mange som har private slamavskillere. Tall for tilførselsgrad fra husholdning og fram til anlegg og anleggenes rensegrad er anslått i samråd med teknisk etat i kommunene. For de store renseanleggene foreligger driftsresultater. Disse er brukt i vurderingene. Der det er flere renseanlegg i samme tabell, er det beregnet volumveide middelveier for tilførselsgrad og rensegrad.

Totalt er drøyt 6000 personer tilknyttet offentlig renseanlegg i nedbørfeltet til Nidelva. Dette må sies å være tilfredsstillende tatt i betraktning den spredte bosettingen. Befolkningen på Roresanden i Grimstad kommune og i deler av Arendal og Øyestad er

tilknyttet anlegg som fører kloakken ut av nedbørfeltet til Nidelva. De er derfor ikke tatt med i regnskapet her.

Tabell 7. Beregning av produksjon av nitrogen fra husholdninger i Nissedal, Fyresdal, Kviteseid og Åmli kommuner.

Type anl.	Ant. tilkn.	Tilf.grad	Rensegrad	N-prod
Renseanlegg	4825	0.9	0.15	12610
Lekkasje i ledn.		0.1	0	1910
Priv. slamavsk.	2050	1	0.1	8070
Komm. slamavsk.	0			
Prosessavløp	125	0.95	0.1	470
Lekkasje i ledn.				
SUM	3925			23090

Tabell 8. Beregning av produksjon av nitrogen fra husholdninger i Froland, Øyestad, Grimstad og Arendal kommuner.

Type anl.	Ant. tilkn.	Tilf.grad	Rensegrad	N-prod
Renseanlegg	1214	0.95	0.15	4300
Lekkasje i ledn.		0.05	0	270
Priv. slamavsk.	5907	1	0.1	23290
Komm. slamavsk.	136	0.95	0.1	510
Prosessavløp	2100	0.7	0.15	5470
Lekkasje i ledn.				2790
SUM	9357			36630

Totalt produseres 60 tonn nitrogen på ett år.

4.2.4. Avrenning fra skog og fjell

Nidelvas nedbørfelt er preget av tungt nedbrytbare bergarter, tynt løsmassedekke og store områder med sparsom vegetasjon. Den naturlige tilførselen av forvittringsprodukter og organisk stoff til vassdraget er derfor relativt lav. Det viser de kjemiske analysene fra elva.

Det er mulig å beregne avrenningen av nitrogen fra skog-og fjellområder i Nidelvas nedbørfelt. Med de avrenningskoeffisientene som er brukt (se tabell 3) blir de totale tilførslene som vist i tabell 9.

Tabell 9. Avrenning av nitrogen fra skog og fjellområder i Nidelva ned til Rygene.

Skog og myr	426300 kg N/år
Fjell og annet	191200 kg N/år

Totalt	617500 kg N/år

Avrenningen av nitrogen er dobbelt så stor fra skogområder som fra fjellområder, hhv. 426 tonn og 191 tonn, fordi den spesifikke avrenningen er hhv. 220 kg N/km².år for skog og 110 kg N/km².år for fjell.

4.2.5. Tilførsler fra forurenset nedbør.

Langtransportert forurenset nedbør har skapt store problemer for fiskebestandene i Nidelva og sidevassdrag. Det er først og fremst fordi sulfat er et såkalt mobilt anion og virker forsurende. Det er først i den senere tid en har blitt oppmerksom på at det store nedfallet av nitrogen i form av nitrat og ammonium kan øke nitrogenkonsentrasjonen i vassdrag på Sørlandet (SFT 1988).

Nedbør direkte på innsjøoverflater som kilde til nitrogenregnskapet for Nidelva er vist i tabell 10. Data fra norske bakgrunnsstasjoner for vannkvalitet i nedbør gir grunnlag for å beregne en normal belastning av nitrogen fra nedbør. Data fra nedbørstasjonene Birkenes og Treungen er brukt til å beregne direkte nitrogenbelastning som skyldes forurenset nedbør.

Tabell 10. Totale mengder av nitrogen i nedbør direkte på 260 km² innsjøoverflater.

"Normal" nedbør	53200 kg N/år
Bidrag fra forurenset nedbør	266000 kg N/år

Totalt	319000 kg N/år

Det skjer en seksdobling av nitrogenbelastningen pga luftforurensninger. Totalt faller det hele 319 tonn nitrogen på innsjøoverflatene i løpet av ett år.

4.2.6. Tilførsler fra industri

Enkelte industribedrifter leder sitt avløp til kommunale kloakkledninger. Det er det tatt hensyn til i avsnittet om husholdningskloakk, selvom disse bidragene egentlig hører hjemme her. Det er gjort for å samle bidragene fra renseanlegg i ett avsnitt.

4.2.7. Tilførsler fra andre kilder

De næringssalttilførslerne som er beregnet kan summeres og sammenholdes med den midlere konsentrasjon av disse stoffene i Nidelva. Store avvik kan tyde på at det er flere kilder til nitrogen i nedbørfeltet enn de som er tatt med i regnestykket.

Den midlere konsentrasjon av total nitrogen i Nidelva er 0.35 mg N/l. Dette er volumveide middelerverdier for hele undersøkelsesperioden i 1985-1986.

Tabell 11 viser alle tilførsler av nitrogen. For at det skal bli balanse mellom tilførsler og transport basert på volumveiet årsmiddelkonsentrasjon av total nitrogen i elva må det innføres en differanse.

Tabell 11. Tilførsel av nitrogen (kg N) til Nidelva fra alle tilførselskilder. Se tekst for forklaring.

Kilder:	kg N
-----	-----
Landbruk	84300
Kloakk	59700
Skog og myr	426300
Fjell og annet	191200
Normal nedbør på innsjøer	53200
Forurenset nedbør på innsjøer	266000
Differanse	+ 183300

Totalt*)	1264000

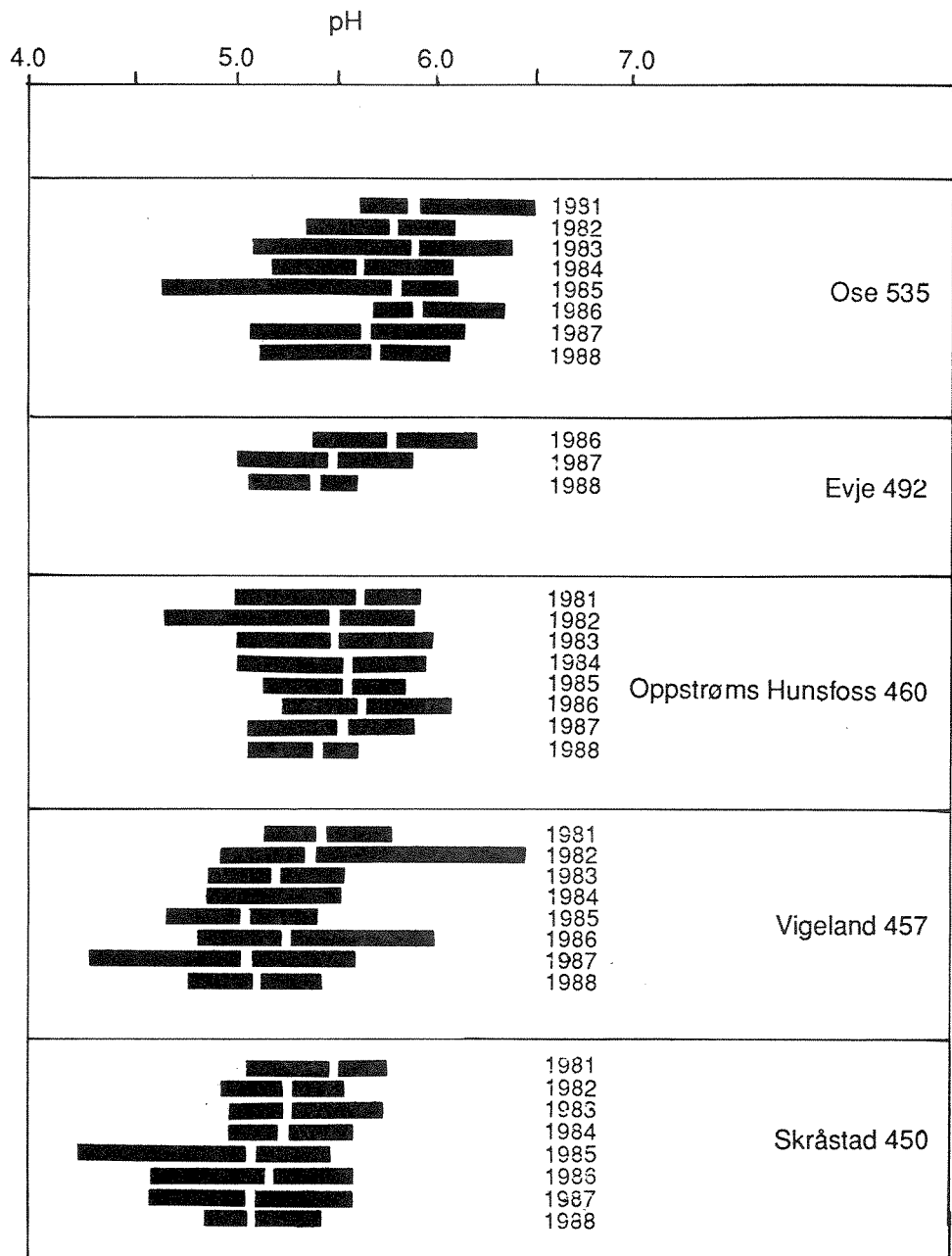
*) Beregnet etter volumveid middelerkonsentrasjon i Nidelva ved Helle.

Retensjon av nitrogen i selve vassdraget pga denitrifikasjon antas å være lav. Grunnen til dette er at de lave fosforverdiene i vassdraget ikke gir grunnlag for særlig plantevekst. Nitrogenomsetningen blir tilsvarende lav. Lav produksjon gir ikke grunnlag for særlig oksygenforbruk i vannmassen eller i sedimentene. Innsjøene er derfor godt oksygenerte gjennom hele året. En mulig nitrogenfjerning ved denitrifikasjon antas derfor å være uten særlig betydning i dette vassdraget. En viktig betingelse for denitrifikasjon er at det skal være lite oksygen til stede og tilstrekkelig organisk stoff for å drive prosessen.

4.3. Resultater for Otra

4.3.1. Vannkjemi

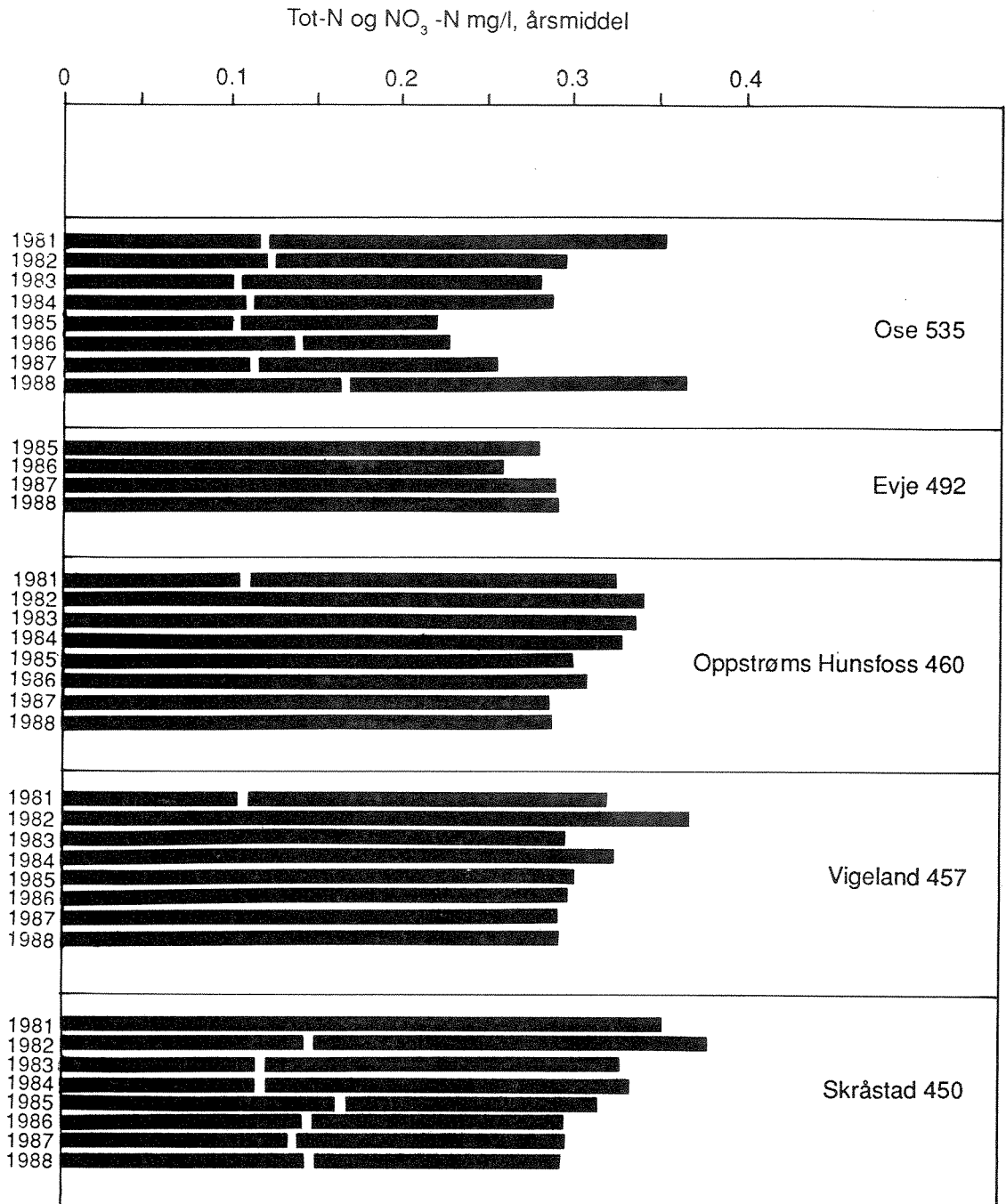
Resultater fra overvåkingen av Otra siden 1980 viser at vassdraget er surt. I figur 9 er pH fra forskjellige stasjoner i Otra vist. Området i Valle er spesielt surt fordi sure sidevassdrag dominerer ved minstevannføring. De nederste stasjonene har spesielt lav pH pga utslipp fra treforedlingsindustrien.



Figur 9. Surhet (pH) på forskjellige stasjoner i Otra i perioden 1981-1987. Laveste og høyeste verdi samt årlig middel-pH er vist.

Årsmiddelkonsentrasjonen av nitrat ved Skråstad nederst i vassdraget er omkring 0.125 mg N/l (figur 10). Årsmiddelet for total nitrogen har vært 0.29 mg N/l de tre siste årene. Disse tallene er ikke volumveiet.

Figur 10 viser at det nesten ikke er endring i årsmiddelkonsentrasjonen for totalt nitrogen i Otra fra Evje og til Kristiansandsfjorden.



Figur 10. Årsmiddelerverdier for nitrat (venstre søyle) og total nitrogen (hele søyla) for stasjoner i Otra i perioden 1981-1988.

4.3.2. Tilførsler fra landbruk

I tabell 12 er det vist en oversikt over jordbruksarealer og antall bruk i drift fordelt på delnedbørfelt til Otravassdraget.

Tabell 12. Jordbruksarealer og antall bruk i drift fordelt på delnedbørfelt til Otravassdraget.

Område	Jordbruksareal i drift (da)	Ant. bruk i drift	Ant. bosatte
Dåselvi/Hornnes	1370	25	631
Faråni/Str.fjell	2	0	0
Kristiansand	4297	135	9696
Setesdal	1193	32	604
Iveland	5940	101	1790
Moi	5587	88	1426
Evje	2110	62	2018
Bygland	3378	80	864
Årdalsfjorden	1046	29	121
Rysstad	3704	96	568
Nomeland	7687	170	1098
Trydal	227	8	97
SUM	36541	826	18913

I tabell 13 er tilførsler fra landbruk kvantifisert.

Tabell 13. Utslipp av nitrogen fra gjødselkjellere og silo, samt avrenning fra landbruksarealer.

	Gjødselkj.	Silo	Avrenning	SUM
Bykle, Valle og Bygland	7440	792	34280	42512
Evje og Hornnes	3190	270	30020	33480
Vennesla og Kr.sand	893	194	8600	9687
SUM	11523	1256	72900	85679

Det er 36 km² jordbruksareal i drift i vassdraget ifølge landbrukstellinga i 1979. Arealene strekker seg langs hele vassdraget, med unntak av områdene nord for Valle, der det er lite landbruksaktivitet. Det er drøyt 800 bruk i drift.

Totalt er tilførslene fra landbruket 86 tonn nitrogen på ett år.

4.3.3. Tilførsler fra husholdningskloakk

Det er bosatt omlag 19.000 mennesker innenfor OTRAS nedbørfelt. Det er 5 personer/km², som er omlag en tredel av gjennomsnittet for Vest-Agder.

I tabell 14-16 er satt opp hvor mange personer som er tilknyttet større kommunale renseanlegg eller slamavskillere og hvor mange som har private slamavskillere. Tall for tilførselsgrad og rensegrad er satt opp i samråd med Miljøvernavdelingen i Vest-Agder og etter data fra Miljøvernavdelingen i Aust-Agder (MV-avdelingen i Aust-Agder 1987).

Tabell 14. Beregning av produksjon av nitrogen fra husholdninger i Bykle, Valle og Bygland kommuner.

Type anl.	Ant. tilkn.	Tilf.grad	Rensegrad	N-prod.
Renseanlegg	3100	0.85	0.15	9810
Lekkasje i ledn.		0.15	0	2040
Priv. slamavsk.	1735	0.95	0.1	6840
Komm. slamavsk.				
Prosessavløp	150	0.85	0.15	480
Lekkasje i ledn.				100
SUM	4985			19270

Tabell 15. Beregning av produksjon av nitrogen fra husholdninger i E og Hornnes kommune.

Type anl.	Ant. tilkn.	Tilf.grad	Rensegrad	N-prod.
Renseanlegg	3000	0.85	0.15	9490
Lekkasje i ledn.		0.15	0	1970
Priv. slamavsk.	384	1	0.1	1510
Komm. slamavsk.				
Prosessavløp				
Lekkasje i ledn.				
SUM	3384			12970

Tabell 16. Beregning av produksjon av nitrogen fra husholdninger i Vennesla og Krostiansand kommuner.

Type anl.	Ant. tilkn.	Tilf.grad	Rensegrad	N-prod.
Renseanlegg	200	0.8	0.15	600
Lekkasje i ledn.		0.2	0	170
Priv. slamavsk.	990	1	0.1	3900
Komm. slamavsk.	10700	0.9	0.1	37960
Prosessavløp Lekkasje i ledn.	(egne tall)			4690
SUM	11890			47320

Totalt er 6300 personer tilknyttet offentlig renseanlegg. 10700 personer er tilknyttet kommunale slamavskillere i nedre Otra. Totalt produseres det 80 tonn nitrogen på ett år fra husholdningskloakk.

4.3.4. Avrenning fra skog og fjell

Otras nedbørfelt er preget av tungt nedbrytbare bergarter, spesielt i området sør for Vatnedalen mellom Bykle og Hovden. Hoveddelen av Otras nedbørfelt består derfor av gneis og granitt. Nord for denne grensen og i området øst for Valle finnes det metamorfe og sedimentære bergarter.

Også i Otras nedbørfelt er det en relativt lik fordeling mellom skog- og fjellområder. Avrenningen fra disse områdene blir slik som vist i tabell 17.

Tabell 17. Avrenning fra skog- og fjellområder i Otras nedbørfelt (kg N/år)

Skog og myr	332000 kg N/år
Fjell og annet	217600 kg N/år
SUM	549600 kg N/år

Avrenningen av nitrogen fra skogområder er 332 tonn og fra fjellområder 217 tonn på ett år.

4.3.5. Tilførsler fra forurenset nedbør

Forurenset nedbør har gitt forsureningsskader på fisk fra Bykle og nedover i vassdraget og gjør fisken i vassdraget ekstra følsom for industriutslipp i nedre del. I vassdraget er det 160 km² innsjøareal. Direkte nedfall av nitrogen med nedbør på innsjøoverflatene er satt opp i tabell 18. Grunnlaget for beregningene er de samme som er brukt for Nidelva.

Tabell 18. Totale mengder av nitrogen i nedbør direkte på innsjøoverflater i Otras nedbørfelt (kg N/år).

"Normal nedbør"	40000 kg N/år
Bidrag fra forurenset nedbør	200000 kg N/år

SUM	240000 kg N/år

Totalt faller det 240 tonn nitrogen direkte på innsjøoverflater i løpet av ett år.

4.3.6. Tilførsler fra industri

Industrien i Vennesla, særlig Hunsfos og Norsk Wallboard, bidrar med tilførsler av nitrogen til Otra. Grande et al (1982) oppgir utslippene ifølge konsesjon til 56 tonn N på ett år.

4.3.7. Tilførsler fra andre kilder

Den midlere konsentrasjon av nitrogen (total N) i Otra er beregnet til 0.29 mg N/l ved Skråstad. Det tilsvarer en årlig transport på 1400 tonn nitrogen. For at dette skal balanseres med de kvantifiserte nitrogentilførsler som det er redegjort for over, må det innføres en differanse på 380 tonn nitrogen. Dette er hele 27 % av de totale mengder og tyder på at det er en nitrogenkilde i nedbørfeltet det ikke er tatt hensyn til. Dette er vist i tabell 19.

Tabell 19. Tilførsel av nitrogen (kg N/år) til Otra fra alle tilførselskilder. Se tekst for forklaring.

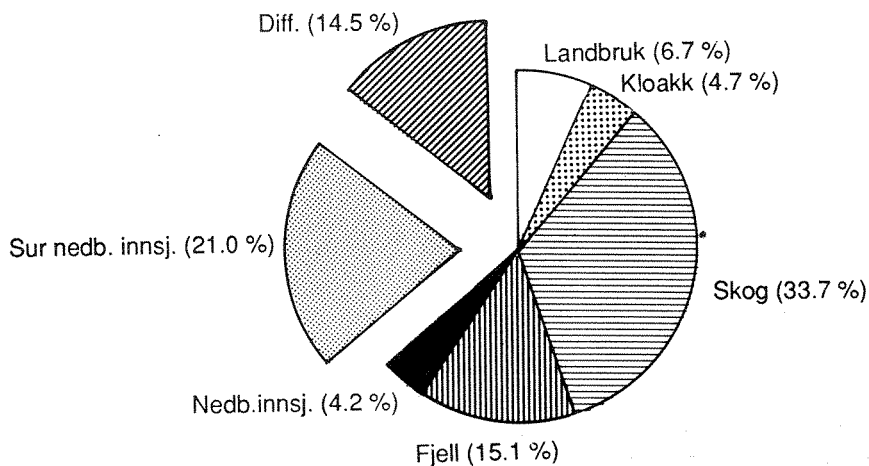
Kilder:	kg N/år
Landbruk	85680
Kloakk	79560
Industri	56000
Skog og myr	332000
Fjell og annet	217600
Normal nedbør på innsjøer	40000
Forurenset nedbør på innsjøer	200000
Differanse	+ 378800

Totalt*)	1389640

*) Beregnet etter årlig middelkonsentrasjon i Otra ved Skråstad.

4.4. Diskusjon av stoffbudsjetter for Nidelva og Otra.

For Nidelva bidrar upåvirket avrenning fra skog- og fjellområder med 49 % av nitrogentilførslene, mens landbruk og husholdningskloakk bare bidrar med hhv. 7 og 5 % (figur 11). Nedbør direkte på innsjøoverflater er en betydelig kilde til nitrogen for Nidelva. Det er ialt 266 km² innsjøoverflater i vassdraget. Denne kilden bidrar med 25 % av nitrogentilførslene. Den delen som skyldes forurensninger i nedbøren utgjør hele 21 % av de totale nitrogenkildene.

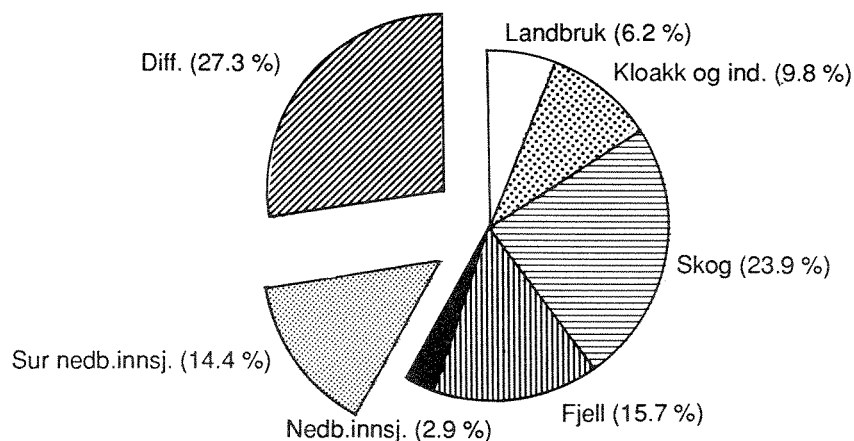


Figur 11. Prosentvis fordeling av nitrogenkilder i Nidelvas nedbørfelt.

Forsøk på å variere avrenningskoeffisientene for nitrogen for skog- og fjellområder fra hhv. 220 og 110 kg N/km²·år til 200 og 150 kg N/km²·år ga bare mindre endringer i den prosentvise fordelingen mellom naturlige kilder og menneskelige aktiviteter.

Differansen mellom beregnede tilførsler av nitrogen og beregnet transport av nitrogen i vassdraget utgjør 14.5 % av tilførslene. Det er under forutsetning av at det ikke skjer retensjon av nitrogen i vassdraget. Selvom tilbakeholdelsen sannsynligvis er liten, er denne differansen trolig for lav.

For Otra bidrar upåvirket avrenning fra skog- og fjellområder med 40 % av nitrogentilførslene, mens landbruk og husholdningskloakk hver bidrar med 6 %. Nedbør direkte på innsjøoverflater bidrar med 17 %. Den delen som stammer fra forurensninger bidrar med 14 % av den totale nitrogentransporten i Otra. Fordelingen er vist i figur 12.



Figur 12. Prosentvis fordeling av nitrogenkilder i OTRAS nedbørfelt.

Figuren viser at 27 % av tilførslene ikke er identifisert. Med en viss retensjon av nitrogen i vassdraget vil denne differansen være noe større.

Sammenfattende bidrar forurenset nedbør direkte på innsjøoverflater med 14-24 % av nitrogentransporten med henholdsvis Nidelva og Otra etter de beregningene som er gjort her.

Beregningene for Otra viser at det er en betydelig del av

nitrogentransporten det i første omgang ikke er identifisert en kilde for.

I grunnlaget for beregningene ligger mange usikkerhetsmomenter som det skal redegjøres for. Tilførsler fra landbruk og husholdningskloakk er så beskjedne at store feilkilder gir svært små utslag på den prosentvise fordelingen. Tilførslene fra industrien er relativt godt kartlagt og heller ikke de er så store at feilberegninger vil gi særlige endringer i den prosentvise sammensetningen av kildene.

Grunnlaget for å beregne avrenning fra skog- og fjellområder er avrenningskoeffisienter som er funnet i litteraturen. Disse er framkommet gjennom studier i andre deler av landet enn Agderfylkene. De undersøkte nedbørfeltene i denne rapporten er preget av lite løsavsetninger og jordsmonn. Avrenningen er 27 og 42 l/km²·s i hhv. Nidelvas og OTRAS nedbørfelt. Dette er f.eks. omkring dobbelt så høy avrenning som i sentrale østlandsområder. Det er uklart hvilken betydning slike forskjeller har for avrenningen av nitrogen i ulike deler av landet.

Det direkte nedfallet av nitrogen på innsjøoverflater er relativt usikre anslag. Det er betydelige årlige variasjoner i deponisjon. De to nedbørfeltene på omkring 4000 km² hver er dekket med stasjonene Birkenes, Treungen og Vatnedalen. Variasjon i våtavsetningen av nitrogen på overvåkingsstasjoner (NILU) i perioden 1984-1987 er vist i tabell 20. I tillegg kommer tørravsetningen, som anslås til omlag 20 % av totalavsetningen for nitrogen (Grennfelt 1987).

Tabell 20. Variasjon i våtavsetningen av nitrogen (g N/m²) på overvåkingsstasjonene Birkenes og Treungen (etter SFT: Årsrapporter 1984-1987).

	1984	1985	1986	1987
Birkenes	1.91	1.61	2.08	1.39
Treungen	0.76	0.44	1.23	0.84

Det tallet som er lagt til grunn for beregningene i denne rapporten (1.2 g N/m²) tilsvarer våtavsetningen på Treungen i 1986 og er samtidig middelerdi for alle observasjonene i tabell 20. Ved å bruke middelerdien for Treungen for de fire årene (0.81 g N/m²) blir våtavsetningen på innsjøoverflater pga forurensninger 60 % av den verdien som er brukt. Det direkte bidraget fra forurenset nedbør på innsjøoverflater blir da 13 og 9 % for hhv. Nidelva og Otra.

Tørravsetningen vil være størst i områder med skog framfor områder med bart fjell. Summen av våtavsetning og tørravsetning de fire siste år vil etter dette være 1.0 g N/m² for Treungen og 2.1 g N/m² for Birkenes.

Nedfallet på Treungen gir trolig det mest representative grunnlaget for å beregne det direkte nedfallet av nitrogen på innsjøoverflatene i Nidelva og Otras nedbørfelt. De verdiene for prosentvis bidrag som er gitt her må derfor oppfattes som maksimalverdier for de siste årene.

Beregningene og diskusjonen over gir grunnlag for å antyde at nitrogenavrenning pga forurenset nedbør er kilde til den observerte differanse mellom kvantifiserte nitrogenkilder og beregnet total transport av nitrogen i vassdragene. Hvis det totale nedfallet på innsjøoverflater settes lavere enn det som er gjort her, vil denne differansen bli tilsvarende større. Differansen er størst i Otra.

For Otra vil nitrogenavrenning pga forurenset nedbør kunne tilsvare en midlere arealavrenning på omkring $100 \text{ kg N/km}^2 \cdot \text{år}$. Det tilsvarer nesten halvparten av bakgrunnsavrenningen fra skogområder i Norge. Hvis forurenset nedbør som kilde til nitrogen på innsjøoverflater settes til 70 % av det som er brukt i rapporten, er denne arealavrenningen $118 \text{ kg N/km}^2 \cdot \text{år}$.

For Nidelva er tilsvarende tall 46 og $66 \text{ kg N/km}^2 \cdot \text{år}$. Det tilsvarer omkring 20-30 % av arealavrenningen fra skog i Norge.

5. STOFFBUDSJETTER FOR UTNES OG KRISTIANSANDSFJORDEN

5.1. Forutsetninger.

Hvis et fullstendig stoffbudsjett for alle nitrogentilførsler til et sjøområde skal stilles opp, er det nødvendig, i tillegg til tilførsler fra land, å inkludere bidraget fra vannutskiftningen. Vannutskiftningen eller oppholdstiden for vannmassene er en relativt vanskelig parameter å bestemme eksakt og som krever både hydrokjemiske målinger og strømmålinger. Ved lang oppholdstid blir bidraget fra nærliggende vannmasser mindre enn med kortere oppholdstid. Strømmålinger i overflatelaget er ikke gjennomført i noen av fjordene.

Videre er det for vårt bruk en svakhet at det bare finnes hydrokjemidata fra 0-2 m dyp. Dette gir ikke mulighet for beregning av bidrag fra "upwelling", eller annen innblanding fra underliggende vannmasser.

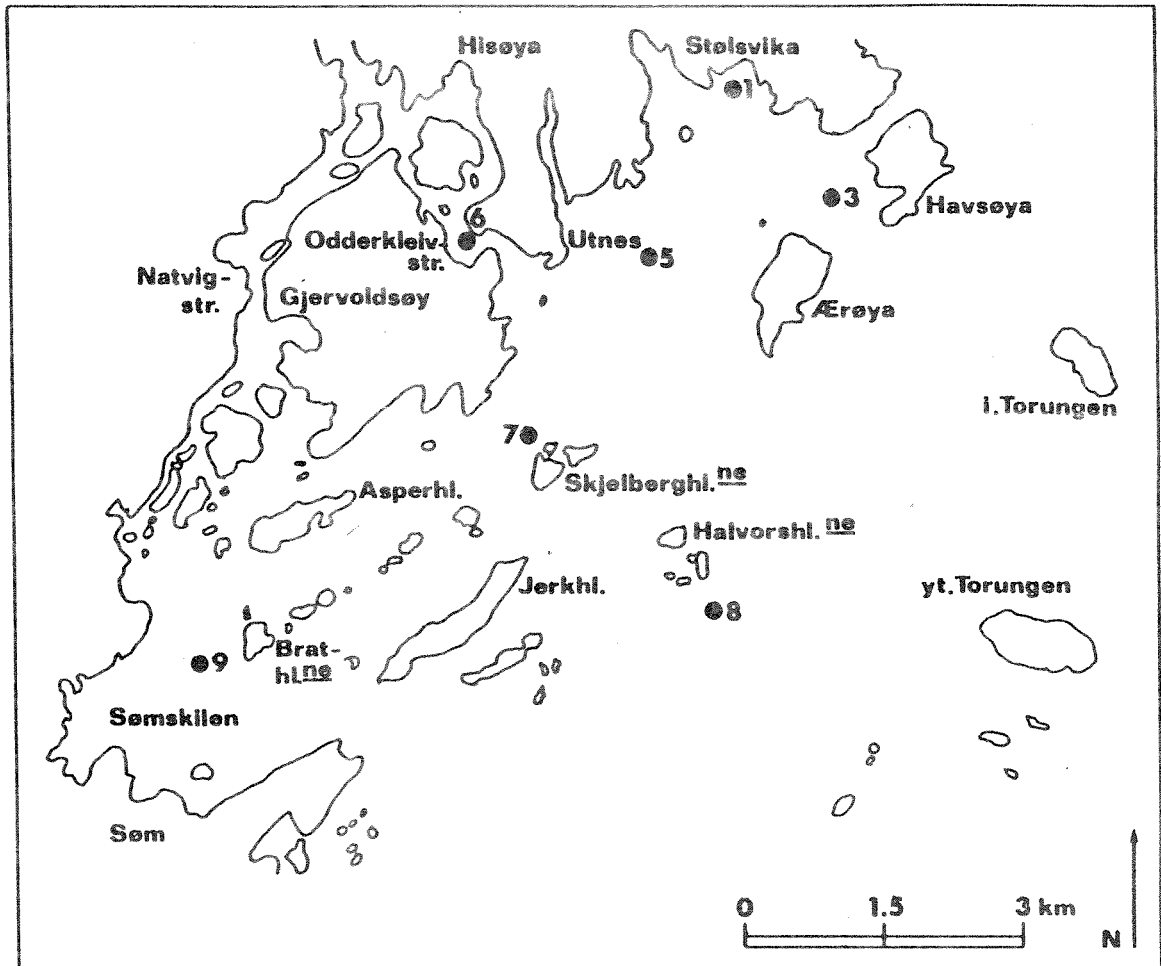
Ut fra at det bare finnes data fra den øverste delen av vannsøylen, samtidig som at det er denne delen som vil ha størst påvirkning fra elvetilførslene, er stoffbudsjettet satt opp for de øvre 5 meterne. Det betyr at i en total produksjonssammenheng, hvis vannutskiftningen er korrekt estimert, er bidraget fra vannutskiftninger underestimert og budsjettet må sees på som et maksimalbudsjett.

Stoffbudsjettet er også satt opp som årsmidler. Det er altså ikke tatt hensyn til at både vannføringen i elvene og vannutskiftningen varierer med årstidene. Dette kan medføre at for sommerperioden, hvor vannutskiftningen gjerne er relativt liten og produksjonen stor, vil tilførselen av nitrogen fra vannutskiftningen være underestimert. Konsentrasjonen av nitrogen i kystvannet vil også variere med årstidene. Dette budsjettet er gjennomført for totalnitrogen hvor variasjonen er relativt liten. Hadde det derimot vært gjort for nitrat, som kan betraktes som mere direkte biotilgjengelig, er konsentrasjonene lav i sommerhalvåret. Dette ville igjen bety at bidraget fra vannutskiftningen er overestimert.

I budsjettene er nedbør direkte på sjøoverflaten ikke tatt med. I denne sammenhengen er den ubetydelig.

5.2. Stoffbudsjett for Utnesområdet.

Et stoffbudsjett for 0-5 m dyp i Utnesområdet utenfor Arendal er vist i tabell 21. Området som budsjettet omfatter framgår av figur 12, og utgjør totalt ca. 1,2 km².



Figur 13. Kart over Utnesområdet ved Arendal.

De direkte utslippene til fjordområdet domineres av et dyputslipp av kommunalt avløpsvann utenfor selve Utnes (ved st. 5). Belastningen var ca. 20.000 pe i det tidsrommet som vi har hydrokjemiske data fra. Avløpsvannet renses mekanisk gjennom sil. Utslippsdyp er ca. 35 m, og avløpsvannet innlagres for det meste under overflaten. Vi regner med at ca. 50% innblandes i overflatelaget.

Til beregning av bidraget fra omkringliggende vannmasser er brukt data fra overvåkingen av sjøområdet omkring Utnes i tidsrommet 1983-85 (Næs, 1985). Som referanse er brukt data fra st. 8 (figur 12) som antas å representere kystvann. Årsmiddel er 245 mikrogram/l totalnitrogen. Det er valgt en midlere oppholdstid på 2 døgn.

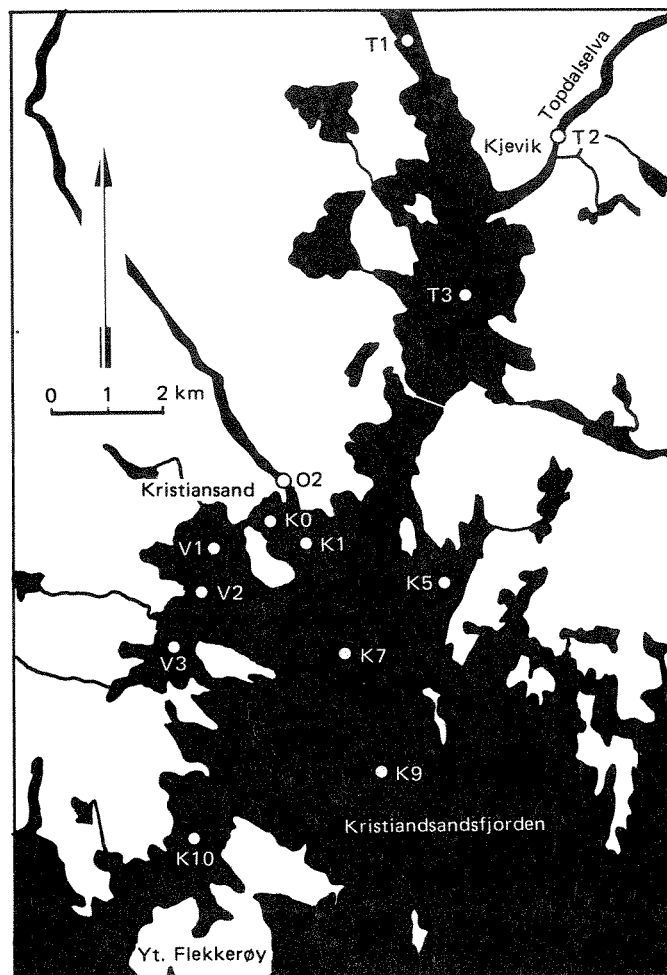
Tabell 21. Stoffbudsjett for totalnitrogen i Utnesområdets overflatelag (0-5 m). Årsmidler.

		N T/ÅR	%
NIDELVA	LANDBRUK	84	5.4
	KLOAKK	60	3.8
	SKOG/MYR	426	27.2
	FJELL O.A.	191	12.2
	NEDBØR	53	3.4
	SUR NEDBØR	266	17.0
	DIFF.	183	11.7
	TOTALT	1263	80.7
UTSLIPP		25	1.6
VANNUTSKIFTN.		280	17.9
TOTALT		1568	100

Beregningene viser at 80 % av nitrogentilførselen kommer via Nidelva. De dominerende bidragene er avrenning fra skog, myr og fjell, samt forurenset nedbør. Bidraget fra forurenset luft og nedbør kan utgjøre 30 % av nitrogentilførselen til de øvre 5 metrene av vannsøylen i Utnesområdet.

5.3. Resultater for Kristiansandsfjorden.

Et stoffbudsjett for 0-5 m dyp i Kristiansandsfjorden er vist i tabell 22. Området som budsjettet omfatter framgår av figur 13. Størrelsen av de direkte utslippene til fjordområdet og grunnlag for vurdering av oppholdstid er hentet fra Molvær et al. (1986). Budsjettet viser årsmidler. Det er valgt en midlere oppholdstid på 3 døgn.



Figur 14. Kart over Kristiansandsområdet.

Tabell 22. Stoffbudsjett for totalfosfor og totalnitrogen i Kristiansandsfjordens overflatelag (0-5 m). Årsmidler.

		N T/ÅR	%
OTRA	LANDBRUK	86	4.1
	KLOAKK	80	3.8
	INDUSTRI	56	2.6
	SKOG/MYR	332	15.7
	FJELL OA.	217	10.3
	NEDBØR	40	1.9
	SUR NEDBØR	200	9.4
	DIFF.	378	17.9
	TOTALT	1388	65.7
UTSLIPP	300	14.2	
VANNUTSKIFTN.	430	20.3	
TOTALT	2117	100	

Bidraget fra Otra utgjør omlag 65 % av tilførselen på årsbasis. Forurenset luft og nedbør kan stå for 30 % av nitrogentilførslene til de øvre 5 metrene av vannsøylen i Kristiansandsfjorden.

6. SAMMENFATTENDE VURDERING OG FORSLAG TIL VIDEREFØRING

Resultatene fra dette forprosjektet viser at nitrogen fra forurenset luft og nedbør er en betydelig kilde til den nitrogentransporten som finner sted i vassdrag på Sørlandet.

Det direkte nedfallet på innsjøoverflatene utgjør omkring 15-20 % av nitrogentilførslene til vassdragene. Det er dessuten funnet en betydelig differanse mellom målte nitrogenverdier og kvantifiserte tilførsler. Det er sannsynliggjort at denne differansen, som er i samme størrelsesorden som det direkte nedfallet på innsjøoverflater, kan skyldes avrenning av nitrogen som også kommer via luft og nedbør.

Hvis den differansen vi har funnet i sin helhet tilskrives forurenset nedbør, vil det si at 35-40 % av nitrogentransporten i Nidelva og Otra skyldes forurenset luft og nedbør.

Vi har vist at dette bidraget har betydning for de nære sjøområder. 30 % av nitrogenet i disse områdene kan stamme fra forurenset luft og nedbør under de samme forutsetninger som over.

Økt konsentrasjon av nitrogen i vassdrag fra midten av 1970-tallet og fram til 1986 (SFT 1988) kan tyde på at nitrogenavrenning pga forurenset nedbør kan være en økende kilde for nitrogen i norske vassdrag. Det samme er vist for oligotrofe svenske innsjøer ifølge Henriksen (1988).

Henriksen (1988) har innført en nitratmobilitets-faktor som sier noe om hvor mye nitrogen som holdes tilbake i nedbørfeltet. Faktoren framkommer ved å sammenlikne nitrat og sulfat i nedbør og avrenningsvann (innsjøer eller elver).

For innsjøer er denne faktoren 0.19 og 0.24 for hhv. Vest-Agder og Aust-Agder. Det vil si at omkring 80 % av nitrogendeposisjonen holdes tilbake i nedbørfeltet. Om en også inkluderer ammonium blir faktoren halvparten av dette, slik at tilbakeholdelsen i nedbørfeltet blir 90 %. For elver ser det ut til at nitratmobilitetsfaktoren er noe lavere enn for innsjøer. Nitratmobiliteten er vesentlig høyere i Rogaland og på Vestlandet enn den er i Agder (Henriksen 1988).

Våre beregninger for Nidelva og Otra viser at hhv. 4 og 8 % av nitrogendeposisjonen kommer ut i vassdragene hvis vår differanse i sin helhet tilskrives avrenning pga forurenset nedbør. Forskjellen skyldes trolig høyere avrenning og kortere kontakttid mellom avrenning og vegetasjon i Otras nedbørfelt. Dette gir relativt mindre retensjon i nedbørfeltet.

Hvis tendensen til økt avrenning av nitrogen forsterkes i årene framover ved at f.eks. tilbakeholdelsen av nitrat+ammonium avtar fra 90 til 80 %, vil nitrogenkonsentrasjonen i Otra og Nidelva øke drastisk.

Vi har beregnet at om 20 % av nitrogendeposisjonen via luft og nedbør når de to vassdragene, vil følgende skje:

1. Summen av direkte nedfall på innsjøoverflater og avrenning utgjør 60 % av nitrogentransporten via både Nidelva og Otra.
2. Avrenning av nitrogen pga forurenset nedbør vil alene utgjøre 50 % av nitrogentransporten via Nidelva og Otra.
3. Nitrogentransporten vil øke med 60 % og 40 % i hhv. Nidelva og Otra.
4. Nitrogenbudsjettet ved Utnes vil øke med 40 % og bidraget fra forurenset luft og nedbør vil utgjøre hele 50 % av budsjettet.
5. Nitrogenbudsjettet for Kristiansandsfjorden ved vil øke med 25 % og bidraget fra forurenset luft og nedbør vil utgjøre 40 % av budsjettet.

Dette er dramatiske konsekvenser for både vassdrag og nære sjøområder.

Vi tilrår på bakgrunn av dette følgende:

1. Arbeidet med dokumentasjon av økt nitratmobilitet intensiveres
2. Tilgjengelige data systematiseres for å se om det er en geografisk betinget variasjon i avrenningskoeffisientene for nitrogen.
3. Det bør utføres fullskala eksperimenter med tilført nitrogen for å se om det er mulig å indusere økt nitrogenavrenning.
4. Det bør undersøkes hvilke svingninger som finnes i nitrogenavrenning via vassdrag med tanke på produktiviteten i nære sjøområder og Skagerak.
5. Det bør gjøres innledende forskning på hvilken innvirkning økt temperatur på jordoverflaten (drivhuseffekt) kan ha på mineralisering og dermed mobilisering av nitrogen.
6. Betydningen av denitrifikasjon i næringsfattige vassdrag bør undersøkes.

7. LITTERATUR

- Boman, E. og E. Andreassen 1981. Nedre Nidelva.
Kraftverksregulering og forurensningsforhold.
Fylkesrådmannen i Aust-Agder, Utbyggingsavdelingen. 26 sider
+ vedlegg.
- Braarud, T. & B.R. Heimdal 1970. Brown water on the Norwegian
coast in autumn 1966. *Nytt Mag. Bot.* 17: 91-97.
- Cosper, E.M., W.C. Dennison, E.J. Carpenter, V. M. Bricelj, J.G.
Mitchell, S.H. Kuenstner, D. Colflesh & M. Dewey 1987.
Recurrent and persistens brown tide blooms perturb
coastal marine ecosystem. *Estuaries* 10(4): 294-290.
- Dahl, E., D.S. Danielsen, A. Semb & K. Tangen 1987.
Precipitation and run-off as a fertilizer to a Gyrodinium
aureolum hulturt bloom. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int.
Explor. Mer, 1987: 66-73.
- Fisher, D., J. Ceraso, T. Mathew & M. Oppenheimer 1988. Polluted
coastal waters: The role of acid rain. Environmental
Defense Fund, U.S.A.
- Fleischer, S, S. Hamrin, T. Kindt, L. Rydberg & L. Stilbe 1987.
Coastal eutrophication in Sweden: Reducing nitrogen in
land runoff. *Ambio* 16(5): 246-251.
- Gowen, R.J. 1987. Toxic phytoplankton in Scottish coastal
waters. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. *Explor. Mer*, 1987:
89-93.
- Grande, M., R.F. Wright, P. Brettum, T. Lingaard og R. Romstad
1982. Otra 1981. Rutineovervåkning. Overvåkningsrapport
55/82. O-8000208, NIVA, Oslo, 74s.
- Grennfelt, P. 1987 (ed.). Report from the working group of
nitrogen oxides within the ECE convention of long range air
pollutants. Göteborg, June 1986. Nord. Ministerråd.
Miljørapport 1987:1.
- Henriksen, A. 1988. Critical loads of nitrogen to surface waters.
In: Nilsson, J. and Grennfelt, P. (eds.): Critical loads
for sulphur and nitrogen. Report from a workshop held at
Skokloster, Sweden 19-24 March, 1988. Nord. Ministerråd.
Miljørapport 1988:15, s. 385-412.
- Hindar, A. 1989 (in prep). Vannkvalitet og forurensningskilder i
Nidelva, Aust-Agder - Konsekvenser av manøvreringer for
drikkevannskvaliteten i innsjøen Rore. O-88137, NIVA,
Grimstad
- Hindar, A. og M. Grande 1987. Otra 1980-1986. Tiltaksorientert
overvåkning. Overvåkningsrapport 292/87, O-8000208,
SFT/NIVA, Oslo, 106s.

- Holligan, P.M. 1987. The physical environment of exceptional phytoplankton blooms in the Northeast Atlantic. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 1987: 9-18.
- Howarth, R.W. 1988. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. Ann. Rev. Ecol. 19: 89-110.
- Howarth, R.W., R. Marino, J. Lane & J.J. Cole 1988. Nitrogen fixation in freshwater, estuarine, and marine ecosystems: 1. Rates and importance. Limnol. & Oceanogr. In press.
- Howarth, R.W., R. Marino & J.J. Cole 1988. Nitrogen fixation in freshwater, estuarine, and marine ecosystems: 2. Biogeochemical controls. Limnol. & Oceanogr. In press.
- Johannessen, M. 1984. Forsuringssituasjonen i Fyresvatn og Nisser 1982-83. SFT/NIVA. Overvåkingsrapport 139/84, O-82001. 35 s.
- Lindahl, O. 1983. On the development of a Gyrodinium aureolum occurrence on the Swedish west coast in 1982. Mar. Biol. 77: 143-150.
- Miljøvern avdelingen i Aust-Agder 1987. Årsrapport. Kloakkrensning i Aust-Agder 1986. Rapport 12-1987. 23 s.
- Molvær, J., H.I. Solheim og T. Källqvist 1986. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport 5. Vannutskifting og vannkvalitet. Overvåkingsrapp. 260/86, SFT/NIVA, Oslo, 78s.
- Næs, K. 1985. Overvåkning av sjøområdet utenfor Utnes, Hisøy. Overflatens vannkvalitet i perioden juni 1983-juni 1985. Delrapport 5. Rapport 1825, O-81112, NIVA, Oslo
- Paasche, E., S.R. Erga & S. Brubak 1987. Nitrogen, fosfor og planktonvekst. En metodeundersøkelse i Oslofjorden 1986. Biologisk institutt, Univ. i Oslo.
- Paerl, H.W. 1985. Enhancement of marine primary production by nitrogen-enriched acid rain. Nature 315: 747-749.
- Parkash, A. 1987. Coastal organic pollution as a contributing factor to red-tide development. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 1987: 61-65.
- Parker, M. 1987. Exceptional plankton blooms. Conclusions of discussions: Convener's report. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 1987: 108-114.
- Richardson, K. & G. Kullenberg 1987. Physical and biological interactions leading to plankton blooms: A review of Gyrodinium aureolum blooms in Scandinavian waters. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 1987: 19-26.

- Sakshaug, E. & Y. Olsen 1986. Nutrient status of phytoplankton blooms in Norwegian waters and algal strategies for nutrient competition. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 389-396.
- Sangfors, O. 1988. Are synergistic effects of acidification and eutrophication causing excessive algal growth in Scandinavian coastal waters ? *Ambio* 17(4): 296.
- Statens forurensningstilsyn (SFT) 1988. Årsrapport 1987. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 296/87.
- Statens forurensningstilsyn (SFT) 1987. Årsrapport 1986. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 296/87.
- Statens forurensningstilsyn (SFT) 1986. Årsrapport 1985. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 256/86.
- Statens forurensningstilsyn (SFT) 1985. Årsrapport 1984. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 201/85.
- Tangen, K. 1977. Blooms of Gyrodinium aureolum (Dinophyceae) in North European waters, accompanied by mortality in marine organisms. *Sarsia* 63: 123-133.
- Tangen, K. 1979. Dinoflagellate blooms in Norwegian waters. Pp 179-182 in Taylor & Seliger (eds), *Toxic Dinoflagellate Blooms*. Elsevier North Holland, Inc.
- White, A.W. 1987. Relationships of environmental factors to toxic dinoflagellate blooms in the Bay of Fundy. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, 1987: 38-46.