



LANGSIKTIG OVERVÅKING AV VANSJØ

Fosfortilførsler og planktonalger 1976 - 1990



Fylkesmannen i Østfold
Miljøvern avdelingen

MILJØVERNAVDELINGEN

Fylkesmannen i Østfold

POSTADRESSE: STATENS HUS, POSTBOKS 325, 1502 MOSS
TLF: 69 24 71 00

Dato: 1. mai 1994
Rapport nr: 5/94
ISBN nr: 82-7395-090-5

Rapportens tittel:

LANGSIKTIG OVERVÅKING AV VANSJØ. TROFIGRAD, FOSFORTILFØRSLER OG PLANKTONALGER
1976 - 1990.

Forfatter(e):

Øivind Løvstad, Limno-consult

Oppdragsgiver:

Fylkesmannen i Østfold - Miljøvernnavdelingen

Ekstrakt:

Vansjø er blitt overvåket regelmessig på to stasjoner i vekstsesongen (mai - september) i perioden 1976 - 1990 for å se på langsiktige endringer i vannkvalitet. Forskjellige parametre som kan gi et mål for trofigrad (virkningen av plantenæringsstoffer) ble analysert. Undersøkelsen viser at store vinter-, sommer- og høstflommer og dessuten temperaturforholdene om vinteren har en avgjørende innvirkning på vannkvaliteten. De eksterne og interne tilførsler av fosfor i vekstsesongen, som er svært variable fra år til år, kan ha avgjørende betydning for fytoplanktonets mengde og sammensetning. Trofigraden i Storefjorden lå i hele undersøkelsesperioden i overgangen mellom klasse 2 og 3, men som oftest i nedre del av klasse 3, dvs. innsjøen var svakt eutrof. Det var ingen signifikante endringer i trofigraden i perioden 1976 - 1990. Storefjorden kan bli sterkt partikkelpåvirket i perioder med stor sommervannføring. Vanemfjorden hadde en mer stabil vannkvalitet som følge av at de interne næringsstofftilførsler var mer dominante. Fytoplanktonets mengde og sammensetning varierte imidlertid også her i stor grad fra år til år. Trofigraden i Vanemfjorden lå i hele undersøkelsesperioden i nedre del av klasse 4, dvs. lokaliteten kan karakteriseres som eutrof.

INNHold.	Side:
SAMMENDRAG.	3
1. INNLEDNING.	5
2. NEDBØRFELT. MORFOMETRISKE OG HYDROLOGISKE FORHOLD.	8
3. MATERIALE OG METODER.	10
4. RESULTATER OG KONKLUSJONER.	11
4.1. BESTEMMELSE AV TROFIGRAD 1976 - 1990. BLÅGRØNNALGER, KISELALGER OG STORE FLAGEL-LATER.	11
4.2. FOSFORETS TURNOVER RATE OG EKSTERNE FOSFORTIL-FØRSLER 1976 - 1990.	17
REFERANSER.	19
VEDLEGG 1. AVRENNINGSFORHOLD. KLIMA.	21

SAMMENDRAG.

Vansjø er blitt overvåket regelmessig siden 1976 for å se på langsiktige endringer i vannkvalitet. I denne undersøkelsen er forskjellige parametre (TP, TN, kl. a, B (fytoplankton-biomasse), d_N (midlere nitratavtak) og d_{Si} (midlere silisiumavtak)), som kan gi et mål på trofigrad T , sammenliknet for å vurdere eventuelle virkninger av variasjoner i temperatur og avrenningsforhold på endringer i Vansjø's trofigrad. De enkelte parametre er inndelt i fem klasser der klasse 1 = næringsfattig (oligotrof) og klasse 5 er sterkt næringsrik (eutrof). I tillegg ble suspendert stoff og siktedyp målt for å belyse effekter av partikler som følge av erosjon.

Denne undersøkelsen viser at det midlere nitratavtak d_N er en god parameter for å vurdere endringer i trofigrad som følge av endringer i interne og eksterne næringsstofftilførsler. Under gitte forutsetninger er $d_N:TP$ direkte proporsjonal med fosforomsetningen (turnover rate) i epilimnion. Dersom de eksterne tilførsler av uorganiske partikler og nitrogen er stor vil d_N kunne underestimere trofigraden. Dersom kiselalgene er dominante i fytoplankton-samfunnet kan det midlere silisiumavtak d_{Si} gi et godt mål på trofigraden uavhengig av om de eksterne tilførsler om sommeren er stor.

Storefjorden 1976 - 1990. Trofigraden i Storefjorden lå i hele undersøkelsesperioden i overgangen mellom klasse 2 og 3, men som oftest i nedre del av klasse 3, dvs. innsjøen var svakt eutrof. Dersom de anvendte klassifikasjonssystemer legges til grunn var det ikke noen signifikante endringer i trofigraden i perioden 1976 - 1990. Storefjorden var imidlertid ofte sterkt partikkelpåvirket (klasse 4) i år med store flomtopper og høy sommervannføring. Konsentrasjonen av total fosfor (TP) og suspendert stoff (SS) var høyere i år med store flomtopper eller høy sommervannføring som f.eks. flere år i perioden 1985 - 1990. Siktedypet var i stor grad bestemt av vannets partikkelinnhold (SS) og det var derfor i perioden 1976 - 1990 en sterk tendens til minkende siktedyp. Partikkelpåvirkede innsjøer har ofte lavt $d_N:TP$ -forhold (< 0.2) og dette forholdet var høyest i Storefjorden de årene det var liten sommervannføring.

I år med høy sommervannføring/ partikkelpåvirkning var kiselalgen Tabellaria fenestrata spesielt dominant. I de siste tre årene med milde vintre og ofte liten sommervannføring ble blågrønnalgene mer og mer dominante. I 1979 var blågrønnalgen Oscillatoria agardhii v. isothrix dominant. Dette året var nitratavtaket d_N spesielt høyt (nær klasse 4).

Vanemfjorden (1976 - 1990) hadde en mer stabil vannkvalitet som følge av at de interne næringsstofftilførsler var mer dominante ($d_N:TP > 0.4$). Det var ingen signifikante endringer i trofigraden i undersøkelsesperioden. Trofigraden i Vanemfjorden lå i hele undersøkelsesperioden i nedre del av klasse 4, dvs. lokaliteten kan karakteriseres som eutrof. I perioden 1981 - 1984 som hadde relativt normale temperatur- og avrenningsforhold, var dinoflagellaten Ceratium hirundinella dominant i fytoplanktonsamfunnet. I de siste tre årene med

milde vintre og ofte liten sommervannføring har blågrønnalgene blitt mer og mer dominante. Den spesielle arten Gonyostomum semen, som er dominant hvert år i Grepperødfjorden, kan bli dominant i Vanemfjorden på sensommeren.

Eksterne fosfortilførsler 1976 - 1990. De eksterne fosfortilførsler varierte sterkt fra år til år. Sommertilførslene av fosfor har ofte en større innvirkning på vannkvalitet og fytoplanktonsammensetning enn den totale årlige fosfortilførsel. For at sommertilførslene av fosfor skal ha noen innvirkning må bidraget til fosforets turnover rate t_p i epilimnion være av størrelsesorden $0.01 - 0.1 \text{ d}^{-1}$. t_p i Vansjø 1979 ble beregnet til å ligge mellom 0.07 og 0.1 d^{-1} .

Den eksterne sommertilførsel av fosfor hadde størst betydning i 1977, 1985, 1987 og 1988 ($t_p(\text{ex}) > 0.25 \text{ d}^{-1}$). Dette var alle år hvor det fant sted relativt store endringer i vannkvalitet og/eller fytoplanktonsammensetning.

1. INNLEDNING.

Tolkingen av langsiktige variasjoner i konsentrasjon av plantenæringsstoffer og fyttoplanktonets biomasse og artssammensetning i en innsjø kan ofte være svært vanskelig. Dette kan ikke bare skyldes endringer i tilførslene av næringsstoffer som følge av menneskelig aktivitet i nedbørfeltet, men også store naturlige svingninger i eksterne og interne tilførsler. Vansjø er valgt på grunnlag av følgende forhold:

1. **Vansjø** er en av de mest undersøkte innsjøer i Norge og har vært gjenstand for vannkvalitetsovervåking i 1964 og fra og med 1976 til idag. Innsjøen har en komplisert utforming og består av flere bassenger med forskjellig trofigrad, varierende fra mesotrof til eutrof, og er dessuten partikkel- og humuspåvirket.
2. Innsjøen har en dominant innløpselv - **Hobølelva** - som også er svært nøye undersøkt gjennom mange år (Sporadisk fra 1976 - 1983 og grundig fra og med 1984. Vannføring er målt i hele perioden 1976 og til idag. I Sørøst-Norge finnes det få eller ingen andre elver som overvåkes regelmessig og som samtidig har en god innsjøresipient.
3. Vassdraget ligger i et område med store næringsstofftilførsler fra landbruksområder og tettsteder.
4. Vassdraget egner seg som referansevassdrag for sørøstlige Norge. Nedbørfeltet ligger i et grenseområde (på grensen mellom innlands- og kystklima) hvor effekter av klimaendringer på vannkvaliteten vil gjøre seg sterkt gjeldene.

I henhold til SFT (1992) kan forskjellige parametre inndeles i fem tilstandsklasser som vist i tabell 1. Fyttoplanktonbiomasse (B), klorofyll *a*, total fosfor (TP), total nitrogen (TN) og siktedyp kan være gode parametre for å bestemme **trofigrad**. Suspendert stoff (SS) gir et godt mål på innholdet av uorganiske partikler i partikkelpåvirkede innsjøer. I slike innsjøer vil siktedypet være en dårlig trofigradsparameter.

Tabell 1. Inndeling av forskjellige vannkvalitetsparametere i fem tilstandsklasser.

	Kl. 1	Kl. 2	Kl. 3	Kl. 4	Kl. 5
TP($\mu\text{g P/l}$)	< 7	7 - 11	11 - 20	20 - 50	> 50
TN($\mu\text{g N/l}$)	< 250	250-400	400-550	550-800	< 800
Sikte- dyp (m)	> 7	4-7	2-4	1-2	< 1
SS (mg tørr- stoff/l)	< 1.5	1.5 - 3	3 - 5	5 - 10	> 10
Klorofyll a ($\mu\text{g/l}$)	< 2	2 - 3.7	3.7 - 7.5	7.5 - 20	> 20
Fyttoplankton mg våtv./l	< 0.2	0.2 - 1	1 - 5	5 - 25	> 25

I nedbørfattige perioder er det ofte et nesten lineært avtak i nitratkonsentrasjonen og det midlere nitratavtak kan ofte øke lineært med økende TP-konsentrasjon. (Løvstad & Bjørndalen 1990, Løvstad 1991). Det midlere nitratavtak d_N og $d_N:TP$ -forholdet kan gi et godt mål på graden av intern fosforomsetning. Under gitte betingelser er $d_N:TP$ -forholdet direkte proporsjonal med fosforets turnover rate i epilimnion (se nedenfor *).

$d_N:TP$ er ofte lik 0.4 ($\mu\text{g N}\cdot\text{d}^{-1}/\mu\text{g P}$) (se Løvstad & Bjørndalen 1991) og d_N kan inndeles i fem trofigradsklasser som vist i tabell 2.

Dersom kiselalgene utgjør over 50 % av fytoplanktonsamfunnet kan også den midlere avtakssrate av silisium ofte være tilnærmet konstant. $d_{Si}:TP$ er da ofte ca. $1 \mu\text{g Si}\cdot\text{d}^{-1}/\mu\text{g P}$ (Løvstad og Bjørndalen 1991) og d_{Si} kan inndeles i fem trofigradsklasser på samme måte som d_N (tabell 2).

Tabell 2. Inndeling av d_N og d_{Si} i fem trofigradsklasser.

	Kl.1	Kl.2	Kl.3	Kl.4	Kl.5
d_N ($\mu\text{g N}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)	< 2.8	2.8-4.4	4.4 - 8	8 - 20	> 20
d_{Si} ($\mu\text{g Si}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)	< 7	7 - 11	11 - 20	20 - 50	> 50

* Nitratets avtakshastighet og fosforets turnover rate.

Dersom det antas at opptaket av ammonium (NH_4) er svært lavt i forhold til nitrat (NO_3) vil det målte avtak i nitratkonsentrasjonen pr. tidsenhet i epilimnion gi et tilnærmet mål på fytoplanktonbiomassens nitrogenopptak. **Nitratets midlere avtakshastighet d_N** (i $\mu\text{g N}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) er da tilnærmet lik fytoplanktonbiomassens opptakshastighet av nitrogen u_N (i $\mu\text{g N}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$).

Fosforets turnover rate t_p (i d^{-1}) vil være lik forholdet mellom fosforopptaket (u_p i $\mu\text{g P}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) og den tilgjengelige (cellulære) fosforkonsentrasjon (Q_p i $\mu\text{g P/l}$), dvs. $u_p:Q_p$ (d^{-1}). Det antas likevekt mellom den cellulære og den ytre tilgjengelige fosforkonsentrasjon S_p . S_p er dessuten vanligvis svært lav (< $1 \mu\text{g P/l}$) i forhold til Q_p .

$t_p = u_N:Q_N$ dersom N:P-forholdet i algene ($Q_N:Q_P$) er konstant. Opptaksforholdet $u_N:u_p$ vil da være det samme. Vi får da at

$$k_1 = Q_N:Q_P = u_N:u_p, \text{ dvs. } Q_N = Q_P \cdot (u_N:u_p)$$

I lite partikkelpåvirkede innsjøer vil ofte $Q_P = PP$ og $Q_N = PN$. (PP = partikulært fosfor og PN = partikulært nitrogen). Vi får videre:

$$t_p = u_N:Q_N = (u_N:Q_P) \cdot (u_N:u_p) = (u_N:Q_P) \cdot k_1.$$

Dersom Q_p utgjør en konstant andel av TP, dvs. $Q_p = k_2 \cdot TP$

får vi:

$$t_p = k_1 \cdot u_N / k_2 \cdot TP = k \cdot (u_N : TP) = k \cdot (d_N : TP)$$

der konstanten $k = k_1 : k_2$

Fosforets turnover rate kan derfor under de gitte forutsetninger være direkte proporsjonal med $d_N : TP$ -forholdet.

Formålet med undersøkelsen er å studere:

- Langsiktige endringer i noen vannkvalitetsparametre for to stasjoner i Vansjø (Storefjorden og Vanemfjorden. Føgende parametre studeres (alle middelerverdier gjelder for perioden 1 mai - 30 september):
 - * Midlere siktedyp (**SD**).
 - * Midlere konsentrasjon av suspendert stoff (**SS**).
 - * Midlere konsentrasjon av total fosfor (**TP**).
 - * Midlere konsentrasjon av total nitrogen (**TN**).
 - * Midlere nitratavtak (d_N).
 - * Midlere silisiumavtak (d_{Si}) i perioden med tilnærmet lineært silisiumavtak.
 - * Midlere fytoplanktonbiomasse (**B**) og dominans av blågrønnalger, kiselalger og store algeflagellater.
- Sammenlikne endringer i disse parametrene med endringer i temperatur- og avrenningsforhold. Spesielt endringer i vintersituasjonen og de eksterne fosfortilførsler vil bli vurdert.

2. NEDBØRFELT. MORFOMETRISKE OG HYDROLOGISKE FORHOLD.

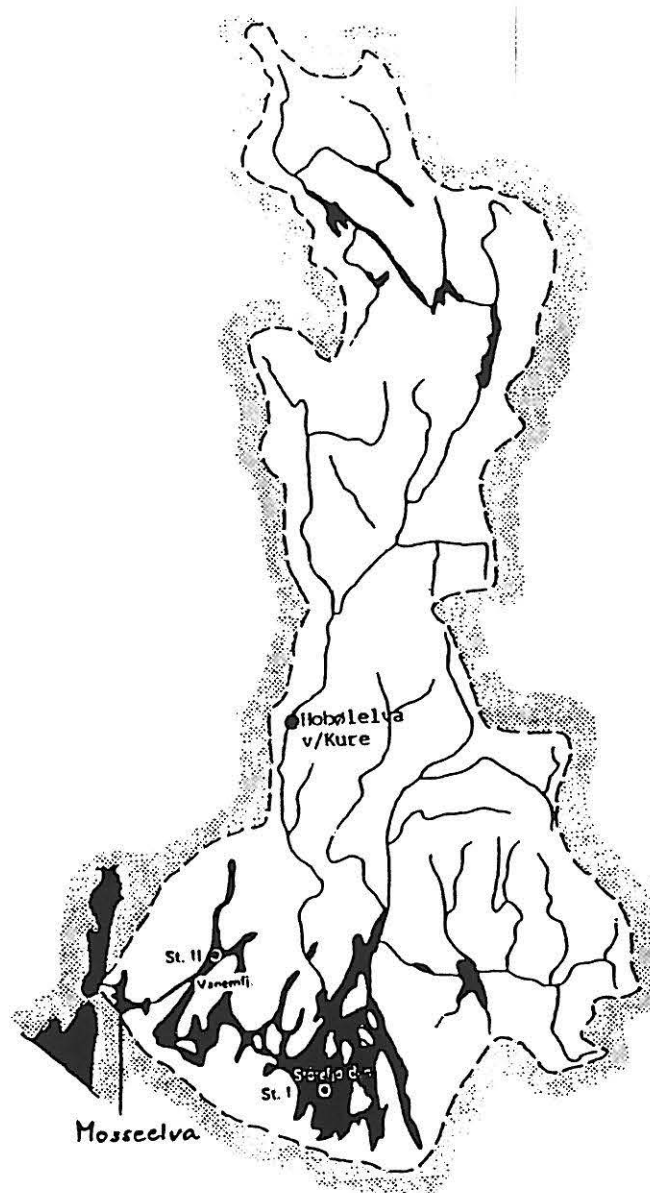
Nedbørfeltet ligger i det sørøst-norske grunnfjellsområde som hovedsaklig består av prekambriske gneisbergarter samt noe granitt. Store deler av nedbørfeltet ligger under den marine grense og erosjon påvirker vannkvaliteten i Vansjø i betydelig grad, spesielt i perioder med kraftig nedbør og stor vannføring i tilløpselvene. Store deler av Vansjøs nedbørfelt er dekket med løsmasser.

Hobølvassdraget utgjør ca. 53 % (364 km²) av Vansjøs totale nedbørfelt (689 km²). Tre andre mindre vassdrag, Veidalselva, Mørkeelva og Svindalselva, som også drenerer til Storefjorden utgjør tilsammen ca. 159 km², dvs. ca. 28 %. Nedbørfeltet ovenfor målestasjonen i Hobølelva v. Kure er 297 km², dvs. ca. 43 % av Vansjøs totale nedbørfelt (innsjøarealet ikke inkludert). Vansjøs areal utgjør ca. 5 % av nedbørfeltets areal. Morfometriske og hydrologiske data for Vansjø er vist i tabell 3.

Tabell 3. Noen viktige morfometriske og hydrologiske parametre for Vansjø.

SYM- BOL	PARAMETER	VANSJØ	ØSTRE BASSEBG	VESTRE BASSENG
A _C	Areal nedbørfelt (km ²)	689		
A _L	Innsjøareal i (km ²)	35.8	23.8	12.0
V	Innsjøvolum (10 ⁶ m ³)	265	219	45
z	Middeldyp (m)	7.4	9.7	3.7
z _{max}	Største dyp (m)	40	40	16
T _w	Teoretisk oppholdstid(år)	0.8		

Viktige kjennetegn ved temperatur- og avrenningsforhold for de tre femårsperiodene 1976-1980, 1981-1985 og 1986-1990 er beskrevet i vedlegg 1.



Figur 1. Vansjø med nedbørfelt og prøvetakingsstasjoner.

3. MATERIALE OG METODER.

Prøvetaking og analyse:

Alle prøvene ble tatt på 1-4 m i Storefjorden og Vanemfjorden hvor disse basengene har sitt maksimaldyp i perioden 1. mai - 30. september (se fig. 1).

Kjemiske parametre:

SUSPENDERT STOFF - SS OG GLØDEREST.

TOTAL FOSFOR - TP: Automatisk versjon av NS 4725. Bestemmelse av total-fosfor. Oppslutning med peroksodisulfat.

PARTIKULÆRT FOSFOR - PP: Differensen mellom TP målt på ufiltrert og filtrert vannprøve.

LØST REAKTIVT FOSFOR - LRP: Automatisk versjon av NS 4724.

TOTAL NITROGEN - TN: Automatisk versjon av NS 4743. Bestemmelse av nitrogeninnholdet etter oksydasjon med peroksodisulfat.

NITRAT: Automatisk versjon av NS 4745.

AMMONIUM: Automatisk versjon av NS 4746.

LØST REAKTIVT SILIKAT - LRSi:

Fytoplankton:

Fytoplanktonet ble bestemt kvantitativt ved hjelp av et Nikkon omvendtmikroskop i henhold til Utermohl (1958). I tillegg ble algebiomasse (i mg våtvekt/l) bestemt (se Willen 1976). Det ble forutsatt at 1 mm^3 algevolum tilsvarer 1 mg våtvekt alger.

4. RESULTATER OG KONKLUSJONER.

4.1. BESTEMMELSE AV TROFIGRAD 1976 - 1990. BLÅGRØNNALGER, KISELALGER OG STORE FLAGELLATER.

Tabell 4 viser sommermiddelverdier for de undersøkte parametre.

Tabell 4. Midlere siktyedyp (SD), konsentrasjon av suspendert stoff (SS), total fosfor (TP) og total nitrogen (TN), total fyttoplanktonbiomasse (B), konsentrasjon av klorofyll a (Kl. a) og midlere nitratavtak d_N og silisiumavtak d_{Si} i Storefjorden og Vanemfjorden.

	SD	SS	TP	TN	B	Kl. a	d_N	d_{Si}
	m	mg/l	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	mg/l	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g N} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	$\mu\text{g Si} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$
STOREFJORDEN.								
x	1976	4.4	1.4	11	1032	1.0	2.9	
o	1977	2.5	1.6	16	1596	0.7	2.4	
	1978	2.5	1.9	16	1340	0.7		
	1979	2.6		16	1092	1.1	6.1	15
	1980	2.5	2.3	17	1120	0.9	7.2	4.5
	1981	2.5	2.7	15	1020	1.2	6.0	2.7
	1982	2.2		19	1080	1.2	3.0	2.5
	1983	2.0		15	1100	0.9	3.8	3.0
	1984	3.0	2.5	15	950	1.9	6.5	4.0
o	1985	2.1	3.9	21	970	1.2	10.3	2.0
	1986	2.0	3.6	20	1138	1.3	8.0	3.1
o	1987	1.5	4.4	19	1260	1.3	5.5	1.4
ow	1988	1.3	6.1	26	828	4.0	8.8	3.6
ow	1989	1.4	4.2	25	973	2.6	5.8	2.6
oxw	1990	1.5	5.5	23	1129	1.5		3.4
VANEMFJORDEN.								
x	1976	1.9		22	562	2.5	8.1	
o	1977	1.6		24	1153	2.0	13.3	
	1978	1.9			750	1.5		
	1979	1.5		33	960	2.8		10.4
	1980		3.4	28	740	2.7	22	9.9
	1981			30	700	2.0	13.5	6.9
	1982	1.5		26	860	1.9	9.5	10.5
	1983	1.4		25	740	1.6	7.5	11.9
	1984	1.4	5.6	27	610	2.1	16.5	8.3
o	1985	1.7	5.6	28	820	1.9	16.9	3.5
	1986	1.5	5.5	30	788	1.6	15.7	7.7
o	1987	1.3	4.5	20	1010	1.5	9.2	6.1
ow	1988	1.4	6.6	25	750	7.5	17.8	7.8
ow	1989	1.5	6.4	27	730	4.7	14.3	9.0
oxw	1990	1.3	7.8	29	770	3.6		9.0

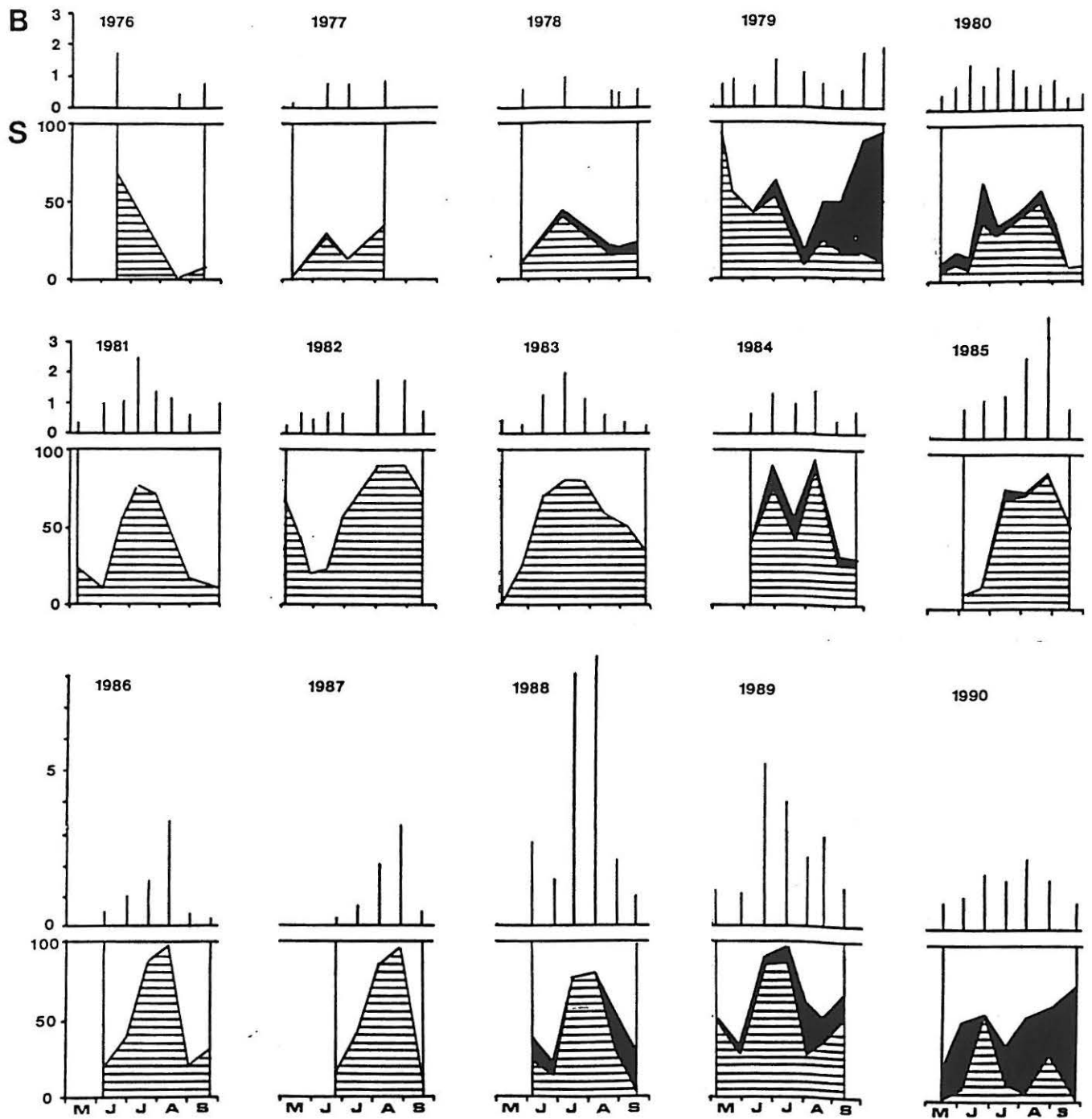
o = Relativt stor ekstern tilførsel om sommeren eller om vinteren. År med store flomtopper. x = Liten sommervannføring.
w = milde vintre.

Tabell 5 viser vannkvalitetsklassen for de undersøkte parametre.

Tabell 5. **Vannkvalitetsklasse** for midlere siktedyp (SD), konsentrasjon av suspendert stoff (SS), total fosfor (TP) og total nitrogen (TN), total fytoplanktonbiomasse (B), konsentrasjon av klorofyll a (Kl. a) og midlere nitrat-avtak d_N og silisiumavtak d_{Si} i Storefjorden og Vanemfjorden. **T = trofikklasser**.

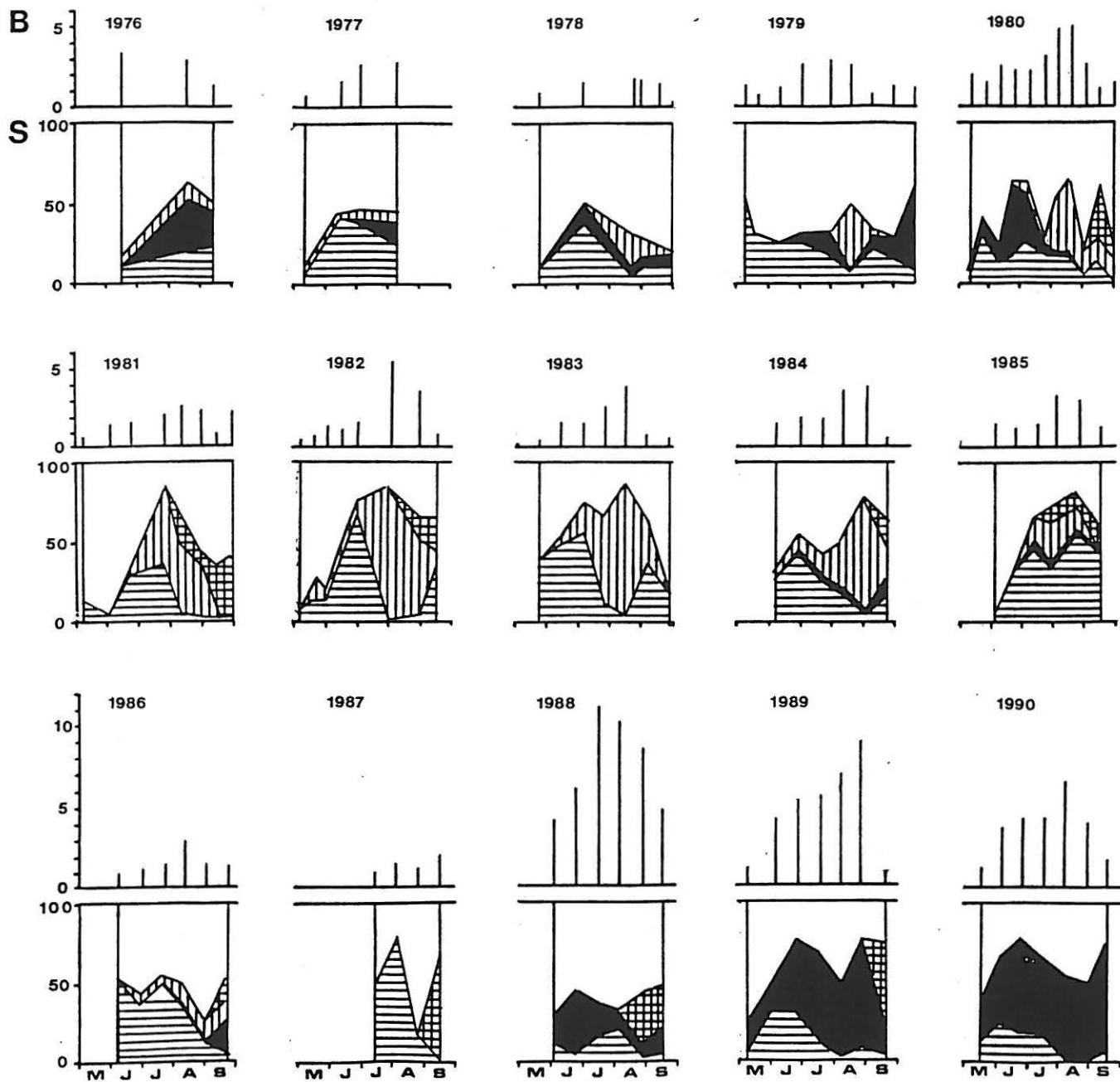
	SD	SS	TP	TN	B	Kl. <u>a</u>	d_N	d_{Si}	T
STOREFJORDEN.									
1976	2	2	3	5	2		3		3
1977	3	2	3	5	2		2		2
1978	3	2	3	5	2				
1979	3		3	5	3		3	3	3
1980	3	2	3	5	2	3	3	3	2
1981	3	2	3	5	3	3	3		3
1982	3		3	5	3	2	2	3	2
1983	3		3	5	2	3	3	3	2
1984	3	2	3	5	3	3	3	3	3
1985	3	3	4	5	3	4	2	3	3
1986	3	3	4	5	3	4	3	3	3
1987	4	3	3	5	3	3	1	4	3
1988	4	4	4	5	3	4	3	4	3
1989	4	3	4	5	3	3	2	4	3
1990	4	4	4	5	3		3		3
VANEMFJORDEN.									
1976	4	2	4	4	3		4		3
1977	4	2	4	5	3		4		4
1978	4	2		4	3				3
1979	4		4	5	3		4		4
1980		3	4	4	3	5	4		4
1981			4	4	3	4	3		3
1982	4		4	5	3	4	4		4
1983	4		4	4	3	3	4		3
1984	4	4	4	4	3	4	4		3
1985	4	4	4	5	3	4	3	4	4
1986	4	4	4	4	3	4	3	4	4
1987	4	3	4	5	3	4	3	4	4
1988	4	4	4	4	4	4	3	4	4
1989	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1990	4	4	4	4	3		4		4

Figur 2 og 3 viser utviklingen av fytoplanktonets biomasse og sammensetning i henholdsvis Storefjorden og Vanemfjorden 1976 - 1990.



Figur 2. Utviklingen av total fytoplanktonbiomasse B og den prosentvise sammensetningen S av blågrønnalger og kiselalger i Storefjorden (VAN1) 1980 - 1990.

Blågrønnalger
Kiselalger
Andre



Figur 3. Utviklingen av total fytoplanktonbiomasse B og den prosentvise sammensetningen av blågrønnalger og andre alger i Vanemfjorden (VAN2) 1980 - 1990.

Blågrønnalger

Kiselalger

Dinoflagellater (*Ceratium hirundinella*)

Gonyostomum semen

Andre

Følgende resultater skal fremheves for de tre femårsperiodene 1976-1980, 1981-1985 og 1986-1990.

1976 - 1980.

Storefjorden. Siktedypet var større enn 2.5 m

Midlere TP-konsentrasjonen i Storefjorden varierte i stor grad (11 - 26 $\mu\text{g P/l}$). Det var lavest SS- og TP-konsentrasjoner i 1976 som var det året med lavest års- og sommernedbør. Resultatene viser at Storefjorden er en typisk partikkelpåvirket lokalitet hvor de eksterne tilførsler i sommer-sesongen (mai - september) kan være viktige.

I Storefjorden er ofte $d_N:TP$ henholdsvis < 0.2 . Storefjorden, som ofte er mer partikkelpåvirket, har altså ofte lavere $d_N:TP$ -forhold enn Vanemfjorden. Unntak var i 1979 da Oscillatoria agardhii v. isothrix var dominant.

Vanemfjorden.

Midlere TP-konsentrasjonen i Vanemfjorden varierte i stor grad (20 - 33 $\mu\text{g P/l}$).

I Vanemfjorden var ofte forholdet $d_N:TP > 0.3$.

1980 - 1985.

Storefjorden.

Siktedypet var 2.0 - 2.5 m.

Høyest fyttoplanktonbiomasse ble registrert i 1985, det året med høyest sommervannføring/transport i Hobølelva.

I år med høy tilførsel av partikler (suspendert stoff) var fyttoplanktonutviklingen gjennom vekstsesongen karakteristisk ved en typisk biomassetopp midt på sommeren.

Det ble observert relativt store populasjoner av kiselalgen Tabellaria fenestrata midt på sommeren. Blågrønnalgene var ikke dominante noen gang i løpet av vekstsesongen.

Vanemfjorden.

I Vanemfjorden var det oppblomstring av dinoflagellaten Ceratium hirundinella de år hvor $d_N:TP$ -forholdet var høyest.

1986 - 1990.

Storefjorden.

Siktedypet var mindre enn 2.0 meter. SS-konsentrasjonen varierte fra 3.5 - 6.1 mg tørrstoff/l, som sammen med 1985-verdien alle utgjør de høyest registrerte verdier i perioden 1976 - 1990. Den høyeste verdien ble registrert i 1988 samtidig med den høyest registrerte sommervannføring. Også i 1990 var SS-konsentrasjonen svært høy, antagelig som følge av den store vinterflommen dette året.

De to høyeste fytoplanktonbiomassene ble registrert i 1988 og 1989, de to årene med høyest sommervannføring/transport i Hobølelva denne femårsperioden. Den spesielt høye SS- og TP-konsentrasjon og fytoplanktonbiomasse i 1988 kan også delvis skyldes den kraftige høstflommen i 1987. Lavere fytoplanktonbiomasse i 1990 skyldes antagelig en vedvarende sedimentasjon av det mest tilgjengelige fosforet utover sommeren og svært lav sommervannføring/transport i Hobølelva dette året.

År med høy ekstern sommertilførsel gir ofte lavt beregnet d_N :TP-forhold. Dette gjelder spesielt for 1985 og 1988.

De årene (1985 - 1989) med høy ekstern tilførsel og lavt d_N :TP-forhold i Storefjorden var kiselalgen Tabellaria fenestrata spesielt dominant.

Vanemfjorden.

De tre siste årene med milde vintre var det stor dominans av blågrønnalgene Synechococcus, Aphanothece, og Gomphosphaeria.

KONKLUSJONER.

Storefjorden 1976 - 1990. Trofigraden i Storefjorden lå i hele undersøkelsesperioden i overgangen mellom klasse 2 og 3 men som oftest i nedre del av klasse 3, dvs. innsjøen var svakt eutrof. Dersom de anvendte klassifikasjonssystemer legges til grunn var det ikke noen signifikante endringer i vannkvaliteten i perioden 1976 - 1990. Storefjorden var ofte sterkt partikkelpåvirket (klasse 4) i år med store flomtopper og høy sommervannføring. Konsentrasjonen av total fosfor (TP) og suspendert stoff (SS) var defor høyere i år med store flomtopper eller høy sommervannføring som f.eks. flere år i perioden 1985 - 1990. Siktedypet var i stor grad bestemt av vannets partikkelinnhold (SS) og var derfor sterkt minkende i perioden 1976 - 1990. Partikkelpåvirkede innsjøer har ofte lavt d_N :TP-forhold (< 0.2) og dette forholdet var i Storefjorden høyest de årene det var liten sommervannføring.

I år med høy sommervannføring/ partikkelpåvirkning var kiselalgen Tabellaria fenestrata spesielt dominant. I de siste tre årene med milde vintre og ofte liten sommervannføring ble blågrønnalgene mer og mer dominante. I 1979 var blågrønnalgen Oscillatoria agardhii v. isothrix dominant. Dette året var

nitratavtaket d_N spesielt høyt (nær klasse 4).

Vanemfjorden (1976 - 1990) hadde en mer stabil vannkvalitet som følge av at de interne næringsstofftilførsler var mer dominante ($d_N:TP > 0.4$). Det var ingen signifikante endringer i trofigraden i undersøkelsesperioden. Trofigraden i Vanemfjorden lå i hele undersøkelsesperioden i nedre del klasse 4, dvs. lokaliteten kan karakteriseres som eutrof. I perioden 1981 - 1984 som hadde relativt normale temperatur- og avrenningsforhold, var dinoflagellaten Ceratium hirundinella dominant i fytoplanktonsamfunnet. I de siste tre årene med milde vintre og ofte liten sommervannføring har blågrønnalgene blitt mer og mer dominante. Den spesielle arten Gonyostomum semen, som er dominant hvert år i Grepperødfjorden, kan bli dominant i Vanemfjorden på sensommeren.

4.2. FOSFORETS TURNOVER RATE OG EKSTERNE FOSFORTILFØRSLER 1976 - 1990.

Fosforets turnover rate t_p vil ha både et internt og et eksternt bidrag, henholdsvis $t_p(in)$ og $t_p(ex)$, dvs.

$$t_p = t_p(in) + t_p(ex)$$

Den totale tilførsel av TP til Vansjø skulle ikke bli så svært gal om fosfortransportverdiene for Hobølelva (ved Kure) multipliseres med $100\%/43\% = 2.3$ (se tabell 6). (Det må nevnes at det er en rekke feilkilder knyttet til tilførselsmålinger og at tilførselene fra nedbørfeltene utenom Hobølelvas nedbørfelt antagelig er noe overestimert. Sistnevnte oppheves antagelig i noen grad ved at tilførselene via nedbøren, som utgjør ca. 5 %, ikke er tatt med i beregningene).

Resultatene viser at fosfortransporten om sommeren kan ha stor betydning for trofigraden og fytoplanktonets mengde og sammensetning (sammenliknet med tabell 4 og 5 og figur 2 og 3). Sommertransporten var lavest i 1976 og 1990 og høyest i 1985, 1987 og 1988. Det er en dårlig sammenheng mellom års- og sommertransport av fosfor. I 1990 var det den tredje største årstransport og den lavest registrerte sommertransport i perioden 1976 - 1990.

Anta at epilimnion inneholder 50 % av vannvolumet, dvs. $132.5 \cdot 10^9$ l. I 1988 var fosfortilførslen i gjennomsnitt ca. $17 \cdot 10^{12}$ $\mu\text{g P}$. Fordelt i vannmassene blir det ca. $130 \mu\text{g P/l}$. Midlere døgntilførsel av P i epilimnion blir da i sommer-sesongen (mai - september) $130/150 \mu\text{g P/l} \cdot \text{d} = 0.9 \mu\text{g P/l} \cdot \text{d}$. $t_p(ex)$ blir da når middel-konsentrasjonen i vannmassene er $25 \mu\text{g P/l}$.

$$t_p(ex) = 0.9/25 \text{ d}^{-1} = 0.04 \text{ d}^{-1}$$

I 1990 var sommertilførselen av fosfor ca. 1 tonn P og middel-

konsentrasjonen var 18 $\mu\text{g p/l}$

$$t_p(\text{ex}) = 0.05/18 \text{ d}^{-1} = 0.003 \text{ d}^{-1}$$

I perioden 1984 - 1990 var $t_p(\text{ex})$ på månedsbasis maksimalt 0.07 d^{-1} . Minste verdi var ca. 0.0001 d^{-1}

Tabell 6. Beregnet årstilførsel (P_{in}) og sommertilførsel ($(P_{in})_s$) av TP til Vansjø i perioden 1984 - 1990. Transporten i Hobølelva v. Kure er multiplisert med 2.3. **Verdier i parentes** er beregnet på grunnlag av bestemte forholdstall mellom månedsvannføring (Q_M) og månedstransport for fosfor (Q_P):

$$\begin{array}{ll} Q_M < 25 \cdot 10^6 \text{ m}^3 & Q_M:Q_P = 5 \\ Q_M > 25 \cdot 10^6 \text{ m}^3 & Q_M:Q_P = 10 \end{array}$$

FOSFORTILFØRSEL	P_{in} tonn/år	$(P_{in})_s$ tonn
1976	(35)	(2.1)
1977	(44)	(14.0)
1978	(36)	(7.1)
1979	(51)	(7.8)
1980	(48)	(10.1)
1981	(35)	(9.4)
1982	(69)	(5.8)
1983	(33)	(7.1)
1984	44	7.6 (6.7)
1985	47	16.6 (18.9)
1986	47	8.1 (9.9)
1987	77	13.3 (14.3)
1988	50	16.8 (18.6)
1989	18	3.0 (5.3)
1990	60	1.2 (2.3)

På grunnlag av d_N :TP forholdet kan fosforets turnover rate i epilimnion beregnes tilnærmet (se tabell 7). For 1979 finnes verdier for partikulært fosfor (PP) og Q_P er valgt på grunnlag av fyttoplanktonbiomassen. Det er forutsatt at 1 mg våtvekt/l = 1 $\mu\text{g P/l}$. t_p synes å ligge i intervallet $0.07 - 0.1 \text{ d}^{-1}$.

Tabell 7. Se tekst.

År	PP $\mu\text{g/l}$	Q_P $\mu\text{g/l}$	$d_N = u_N$ $\frac{\mu\text{g N}}{\text{l} \cdot \text{d}^{-1}}$	$u_N:u_P$	u_P $\frac{\mu\text{g P}}{\text{l} \cdot \text{d}^{-1}}$	$t_p = u_P:Q_P$ (d^{-1})
Storefjorden						
1979 10	2		6.1	30	0.20	0.1
Vanemfjorden						
1979 19	5		10.4	30	0.35	0.07

Dersom $Q_N:Q_P$ -forholdet er konstant vil $t_p = u_N:Q_N$. Det kan ofte være letter å måle Q_N i innsjøer som er sterkt partikkel-påvirket (N:P-forholdet i jordpartikler er svært lavt i forhold til N:P-forholdet i algene). Med denne beregningsmetoden finner vi også at t_p i Vansjø vil ligge mellom 0.07 og 0.1 d^{-1} (tabell 8).

Tabell 8. Se tekst.

År	PN $\mu g/l$	Q_N $\mu g/l$	$d_N = u_N$ $\mu g N \cdot$ $l^{-1} \cdot d^{-1}$	$u_N:u_P$	$t_p = u_N:Q_N$ $\mu g P \cdot$ $l^{-1} \cdot d^{-1}$
Storefjorden					
1979	63	63	6.1	30	0.1
Vanemfjorden					
1979	150	150	10.4	20	0.07

For at de eksterne fosfortilførsler skal ha noen nevneverdig innflytelse på fytoplanktonet må $t_p(ex) > 0.01 d^{-1}$. Dette er oppfylt for alle år i perioden 1976 - 1990 unntatt 1976 og 1990. Den eksterne fosfortilførsels bidrag til en turnover rate $t_p(ex) > 0.25 d^{-1}$ fant sted bare i 1977, 1985, 1987 og 1988. Dette var alle år hvor det fant sted relativt store endringer i vannkvalitet og/eller fytoplanktonsammensetning.

REFERANSER.

- Løvstad, Ø. & Bjørndalen, K., 1990. Nutrients (P, N, Si) and growth conditions for diatoms and *Oscillatoria* spp. in lakes of south-eastern Norway. *Hydrobiologia* 196: 255 - 263.
- Løvstad, Ø., 1991. Eutrofiering - Blågrønnalger og plantenæringsstoffer i innsjøer. Landbruksbokhandelen. 108 s.
- SFT 1992 (Holtan, H. & Rosland, D. J.). Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-rapport 92:06. 32 s.
- Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* 9: 1 - 38.
- Willen, E., 1976. A simplified method of phytoplankton counting. *Br. Phycol. J.* 11: 265 - 278.

Vansjølitteratur:

1964. Holtan, H., 1966. Vansjø. En limnologisk undersøkelse utført i tidsrommet januar 1964 - januar 1965. NIVA-rapport.
1974. Hauger, T., 1974. Fysisk-kjemisk undersøkelse av vannsystemet Hobølelva og Vansjø. Hovedoppgave.
- 1976 og 1977. Brettum, P., 1977. Vansjø. Undersøkelse 1976 - 77. NIVA-rapport O-87/75.
1978. Hauger, T., 1978. Vansjø. Undersøkelser utført av Moss-Rygge fellesvannverk - 1978.
1979. Bjørndalen, K. & Warendorph, H., 1982. Vansjø. Hydrografi og plankton i en innsjø med kompleks bassengform. Hovedfagsoppgave i limnologi. Univ. i Oslo.
1980. Bjørndalen, K. & Warendorph, H., 1981. Årsrapport. Vansjø. Rapport. Samarbeidsutvalget for Vansjø - Hobølvassdraget. Østfold fylkeskommune.
1980. Erlandsen, A. H., 1981. Rutineundersøkelse i Vansjø 1980. NIVA-rapport 10/81.
1981. Erlandsen, A. H., 1982. Rutineovervåking i Vansjø 1981. NIVA-rapport 32/82.
1982. Erlandsen, A. H., Hvoslef, S. & Mjelde, M., 1993. Rutineovervåking i Vansjø 1982. NIVA-rapport 111/83.
1983. Erlandsen, A. H., 1984. Rutineovervåking i Vansjø 1983. NIVA-rapport 166/84.
1984. Bjørndalen, K., Hauger, T., Haugum, M., Vallner, P. & Warendorph, H., 1986. Tiltaksrettet overvåking 1984. Vansjø-Hobølvassdraget. Rapport. Miljøvernavdelingen i Østfold.
1985. Bjørndalen, K., Hauger, T., Solberg, H. & Vallner, P., 1987. Vassdrag og kystområder. Overvåking 1985. Rapport 8/87. Miljøvernadv. i Østfold.
1986. Løvstad, Ø., Bjørndalen, K., Hauger, T. og Vallner, P., 1987. Vassdrag og kystområder. Overvåking 1985. Rapport 1/88. Miljøvernadv. i Østfold.
1987. Løvstad, Ø., Hauger, T., Vallner, P. & Bjørndalen, K., 1988. Vassdrag og kystområder. Overvåking 1987. Rapport 6/88. Miljøvernadv. i Østfold.
- 1988 og 1989. Løvstad, T., Hauger, T. & Vallner, P., 1990. Innsjøer i Østfold. Overvåking i 1988 og 1989. Rapport 6/90. Miljøvernadv. i Østfold.
1990. Løvstad, T., Hauger, T., Vallner, P. & Larsen, G., 1991. Vassdrag og kystområder. Overvåking 1990. Rapport X/91. Miljøvernadv. i Østfold.

VEDLEGG 1. AVRENNINGSFORHOLD. KLIMA.

Vannføringen i Hobølelva og Mosseelva er avhengig av nedbørforholdene. Tabell 9 viser at det er en god sammenheng mellom årsnedbør ved Rygge og månedsmiddel for vannføring i Hobølelva og Mosseelva. Det må bemerkes at Mosseelva er regulert slik at sammenhengen ikke er like god her. Den årlige vanntransporten i Hobølelva v. Kure utgjør i gjennomsnitt ca. 41 % av vanntransporten i Mosselva. Dette samsvarer godt med at nedbørfeltet ovenfor Kure utgjør ca. 43 % av det totale nedbørfelt til Vansjø. Vannets oppholdstid (T_w) i Vansjø (som helhet) kan variere sterkt fra år til år (0.53 - 1.15 år).

Utviklingen i månedsnedbør (Rygge), månedstemperatur (Rygge) og månedsvannføring i Hobølelva (v. Kure) er vist i henholdsvis figur 4, 5 og 6.

Følgende resultater skal fremheves for de tre femårsperiodene i perioden 1976 - 1990.

1976 - 1980. Vintrene var normale med månedstemperaturer under 0 °C. Nedbøren kom som regel som snø slik at snøsmeltingen førte til vårflom i april/mai hvert år.

Sommernedbøren var middels stor, hvilket førte til at det ikke var flomtopper om sommeren. 1976 hadde en spesielt tørr og varm sommer.

1980 - 1985. Vintertemperaturene mer fluktuerende. I 1983 var januartemperaturen ca. + 2 °C. Fortsatt vårflom i april/mai, men 1983 var spesiell med flomtopp også i januar. Vårflommen i 1979 var spesielt stor.

Sommernedbøren var spesielt høy 1985

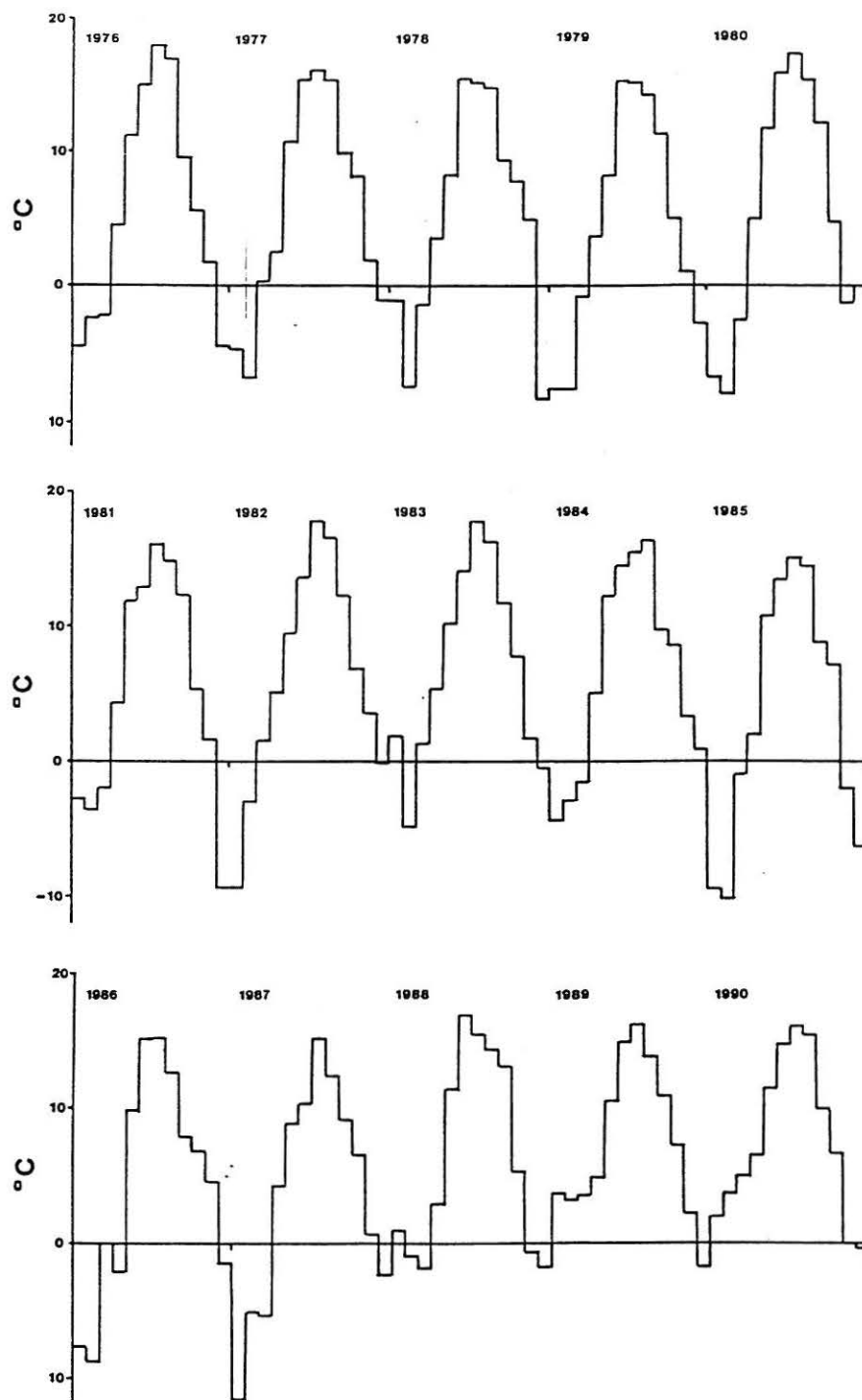
1986 - 1990. Svært milde vintre i 1988 til 1990 med mangelfull islegging/kortere periode med islagte innsjøer. Spesielt stor nedbør/flomtopp i oktober 1987.

I 1988 - 1990 kom nedbøren om vinteren ofte som regn, hvilket kunne føre til store flomtopper om vinteren. Spesielt skal nevnes flomtoppen i januar-februar 1990.

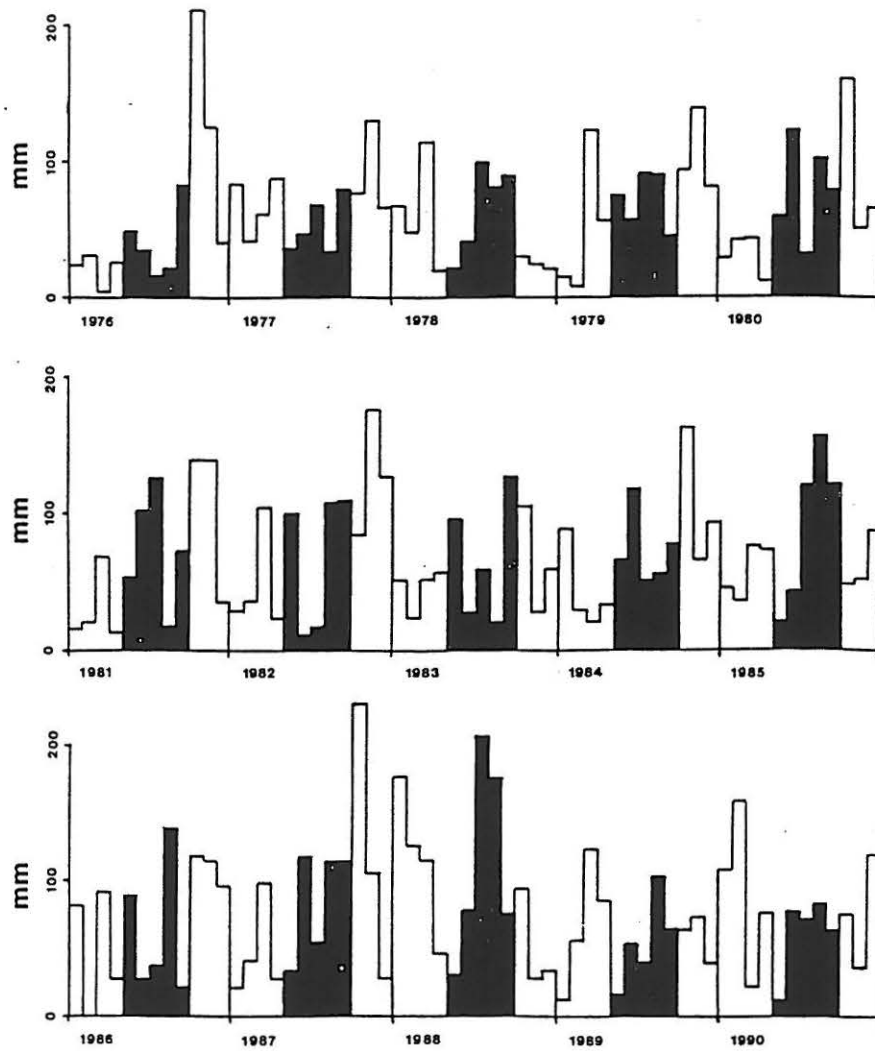
Sommernedbøren var stor i perioden 1987 - 1988, og spesielt i 1988. I 1989 og 1990 var sommernedbøren lav hvilket gav liten sommervannføring.

Tabell 9. Årsnedbør (mm) ved Rygge og årsmiddel for vannføring (m^3/s) i Hobølelva og Mosseelva. Den totale utførsel av vann Q og vannets oppholdstid T_w for Vansjø er beregnet.

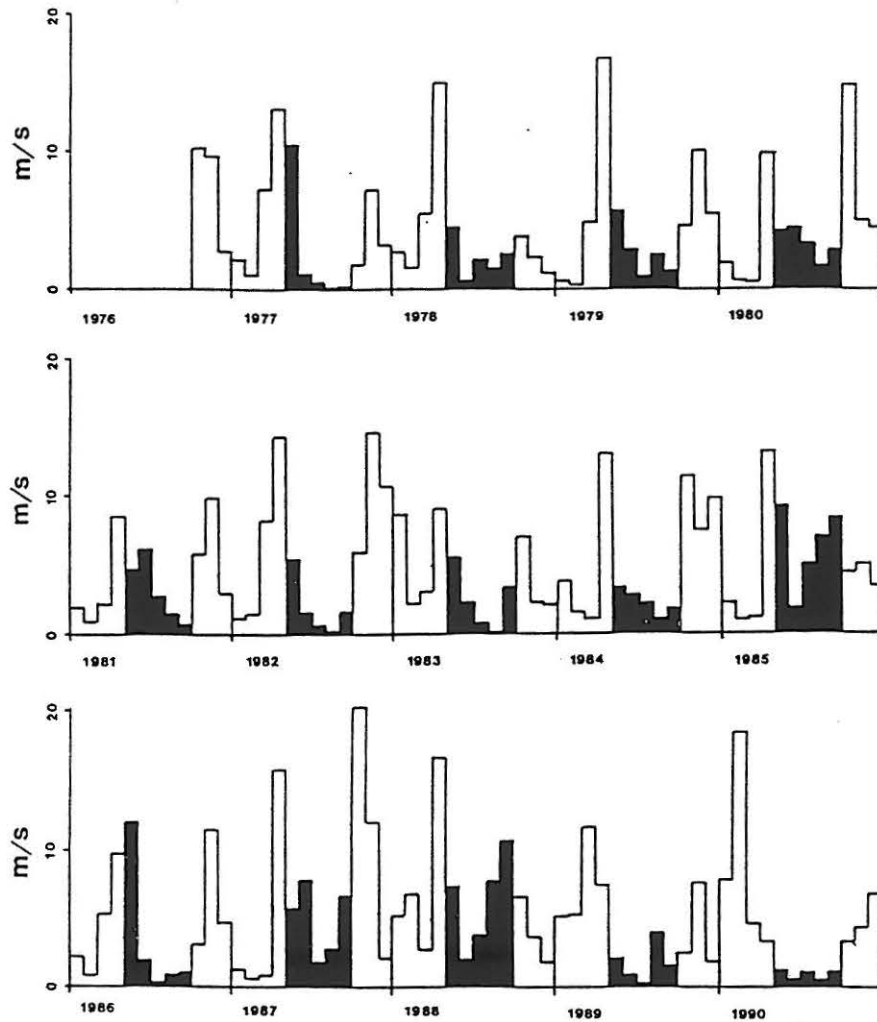
	Årsnedbør	Årsvannføring (Q)		Oppholds- tid T_w år
	RYGGE	Hobølelva v/Kure $10^6 \cdot \text{m}^3$	Mosseelva $10^6 \cdot \text{m}^3$	
	mm			
1976	666		230	1.15
1977	807	126	333	0.80
1978	653	113	331	0.80
1979	875	149	431	0.61
1980	799	141	377	0.70
1981	809	127	301	0.88
1982	938	173	431	0.61
1983	706	120	297	0.89
1984	866	154	369	0.72
1985	875	161	426	0.62
1986	840	142	340	0.78
1987	983	200	460	0.58
1988	1178	194	502	0.53
1989	727	129	242	1.10
1990	904	135	319	0.83
Middel				
1976 - 1990	823	147	359	0.77
1931 - 1960	773			



Figur 4. Månedstemperatur (i °C) 1976 - 1990 ved Rygge i Østfold.



Figur 5. Månedssnedbør (i mm) 1976 - 1990 ved Rygge i Østfold.
Skravert: Månedssnedbør i vekstsesongen (mai - september).



Figur 6. Månedsvannføring (i m/s) i Hobølelva v. Kure 1976 - 1990. Skravert: Månedsvannføring i vekstsesongen (mai - september).