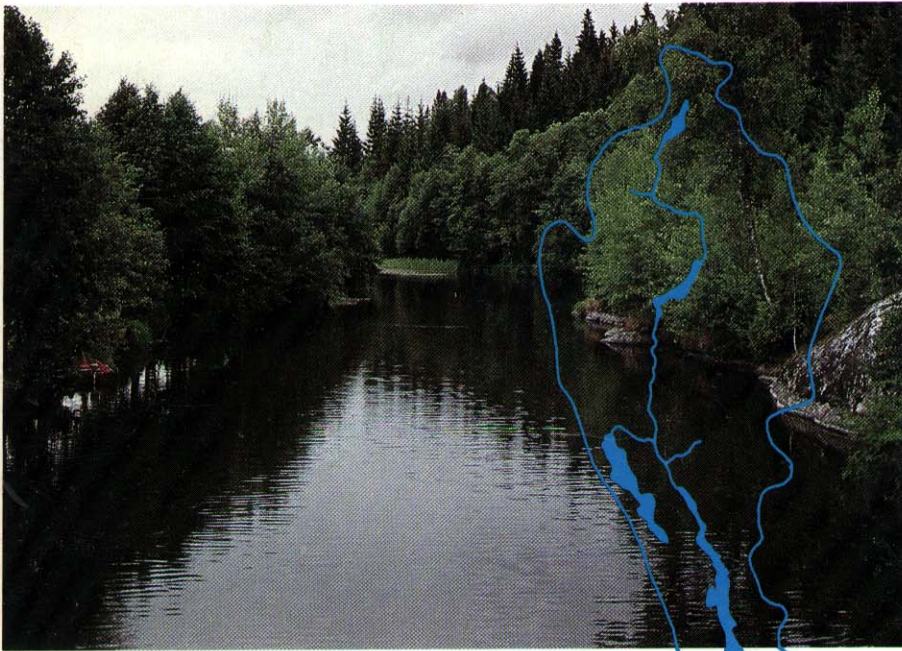


0 – 70219

# Halden vassdraget



Vannkvalitet og  
forurensnings-  
virkninger.

Resultater av  
vassdragsundersøkelser  
for

**Haldenvassdragets  
vassdragsforbund  
1975 – 1981**



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80  
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60  
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer:	0-70219
Undernummer:	II
Løpenummer:	1367
Begrenset distribusjon:	Åpen

Rapportens tittel: HALDENVASSDRAGET - vannkvalitet og forurensnings- virkninger.  Resultater av vassdragsundersøkelser for Haldenvass- dragets Vassdragsforbund 1975-1981	Dato: 15. mars 1982
	Prosjektnummer: 0-70219
Forfatter(e):  Olav Skulberg Jozsef Kotai	Faggruppe: Biologi
	Geografisk område: Akershus Østfold
	Antall sider (inkl. bilag):

Oppdragsgiver: Haldenvassdragets Vassdragsforbund	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
--	----------------------------------

Ekstrakt:

Rapporten beskriver hvordan Haldenvassdraget opptrer som et dynamisk elv-innsjøsystem i samspill med naturprosesser og menneskelig virksomhet. Vassdragets geografiske og hydrologiske forhold behandles i forbindelse med vannkvalitet og hydrobiologiske hovedtrekk. Forurensningsbelastning og tiltak mot vannforurensning blir vurdert. Vern av vannkvalitet og biologiske ressurser bør ta utgangspunkt i kunnskapsgrunnet om Haldenvassdraget.

4 emneord, norske:
1. Haldenvassdraget
2. Vassdragsforbund
3. Forurensningsvirkninger
4. Hydrobiologi
Vannkvalitet

4 emneord, engelske:
1. Halden Water Course
2. Watercourse survey
3. Hydrobiology
4. Water quality
Eutrophication

Eutrofiering

Prosjektleder:

*Olav Skulberg*

Seksjonsleder:

*Olav Skulberg*

Føøadministrasjonen:

*J. E. Jundel*  
*Lars Ovein*

ISBN 82-577-0478-4

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
Oslo

0-70219

HALDENVASSDRAGET

VANNKVALITET OG FORURESNINGSVIRKNINGER

Resultater av vassdragsundersøkelser for  
Haldenvassdragets Vassdragsforbund 1975-1981

15. mars 1982

Hovedforfatter : Olav M. Skulberg

Medforfatter : *Jozsef Kotai*

For administra-

sjonen : J.E. Samdal

Lars N. Overrein

*"We cannot command Nature, except by  
obeying her"*

Francis Bacon 1620

## FORORD

Det er tidligere skrevet mye om Haldenvassdraget både i skjønnlitteratur og i faglige utredninger. Men dette er første gang det er blitt laget en samlet fremstilling av hvordan vassdraget opptrer som et elv- innsjøsystem i samspill med naturprosesser og menneskelig virksomhet. I utgangspunktet ligger erkjennelsen av de økologiske realiteter og et utvidet vannkvalitetsbegrep.

Mulighet og fare for ødeleggelse av denne vanntilgang - og de ressurser som den rommer - var bakgrunnen for at HALDENVASSDRAGETS VASSDRAGSFORBUND tok opp arbeidet med forurensingsproblemene. Den første oppgaven var å skaffe frem innsikt i vassdragets prosesser og forståelse av forurensningenes virkninger. Tilretteleggelse av praktiske løsninger og andre forholdsregler forutsetter et slikt kunnskapsgrunnlag.

Det er i dette skrift gjort et forsøk på en helhetlig behandling av Haldenvassdraget. Vekten er lagt på en beskrivelse av faktorer som virker og prosesser som foregår. Vekselvirkningene er bestemmende for den stadig skiftende tilstand og kvalitet vi merker i vassdraget. Vi må forstå vassdraget og reaksjonene for å kunne tilrettelegge en samfunnsutvikling mest mulig i harmoni med naturforholdene i nedbørfeltet.

Et betydelig kunnskapsgrunnlag foreligger om Haldenvassdraget. Vassdragsundersøkelsene har frembragt et stort tilfang av data. Inngående kjennskap til mange sider av vassdragets fenomener fremstår i observasjonsmateriale og erfaringer til de tradisjonsrike organisasjoner HALDENHOVEDVASSDRAGS BRUKSEIERFORENING, FELLESEFLØTNINGSFORENINGEN og HALDENVASSDRAGETS KANALSLSKAP. Mennesker som er bosatt ved vassdraget har en viten om forholdene bygget på daglig kontakt med omgivelsene. Det er mange som har hjulpet til for å gjøre denne fremstilling mulig. I takknemlighet for all hjelp er dette skrevet.

Først langsomt vil det storslagne, mangfoldige og vakre med Haldenvassdraget egentlig bli forstått. Det er et utstrakt og sammensatt system med innsjørikdom som en fremtredende egenart. Dette bidrar til å avtvinge respekt for oppgaven å skulle beskrive forholdene. Beskjedenhet er utvilsomt nødvendig. Det er bare en innledning til utforskningen av Haldenvassdraget som dette første skritt med undersøkelser innebærer. Det er å håpe at denne begynnelse kan legge fruktbar grunn for videre arbeid.

Til slutt en særlig takk til HALDENVASSDRAGETS VASSDRAGSFORBUND som med sin velvilje, holdning og energi har lagt til rette for undersøkelsene. Det har gjort det til en glede å kunne arbeide med Haldenvassdraget.

Blindern, 19. desember 1981

Olav Skulberg

INNHALDSFORTEGNELSE	Side:
FORORD	1
INNHALDSFORTEGNELSE	3
TABELLFORTEGNELSE	5
FIGURFORTEGNELSE	7
SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	10
1. BAKGRUNN FOR UNDERSØKELSEN	20
2. GJENNOMFØRING OG RESULTATER	20
3. VASSDRAGET I GEOGRAFISK OG HYDROLOGISK SAMMENHENG	24
3.1 Elver og innsjøer	24
3.2 Mellom breen og havet	25
3.3 Klima og hydrologi	29
- Værforhold i nedbørfeltet	29
- Vinter og is	31
- Avrenning og vannføring	31
3.4 Inngrep i vannstand og vannføring	36
3.5 Nedbørfelt og livsgrunnlag	45
4. VANNKVALITET OG FORURENSNINGSVIRKNINGER	50
4.1 Generelt	50
4.2 Vassdraget som elv- innsjøsystem	50
4.3 Om innsjøenes forhold	53
- Morfometri og størrelse	53
- Hydrografiske forhold	54
4.4 Kjemisk vannkvalitet	73
- Vanntyper og stoffinnhold	73
- Variasjoner i stoffkonsentrasjoner	75
- Sommer- og vinterforhold	79
- Vannmassenes partikkelinnhold - seston	80
4.5 Algevekstpotensial og begrensende plantenæringsstoffer	87
4.6 Drikkevann og badevann - vannhygieniske tilstander	91
4.7 Planteplankton og eutrofieringsfenomener	97
- Vannmassenes planteliv	97
- Blågrønnalger som indikatorarter	101
- Invasjon av <i>Oscillatoria</i>	102
- Vannblomst med blågrønnalger	103
- Innsjøenes vinterplankton med alger	104
4.8 Begroingsorganismer i vassdraget	109
- Begroing i strømmende vann	109
- Miljøfaktorer og algebegroing	110

4.9	Sammenliknende undersøkelser av vannkvalitet og forurensningspåvirkning i forsøksrenne	114
	- Bedømmelse av biologisk vannkvalitet	114
	- Mengdeutvikling av begroingsorganismer	115
	- Miljøfaktorer og biomassepotensial for begroingsalger	115
4.10	Høyere vegetasjon og tilgroingsforhold	120
	- Sonasjon og suksesjon	120
	- Eutrofiering og høyere planter	122
4.11	Noen holdepunkter om dyreliv i vann	126
5.	FORURENSNINGSBELASTNING OG TILTAK MOT VANNFORURENSNING	128
5.1	Årsaker og virkninger	128
5.2	Punktutslipp og diffuse forurensningskilder	130
	- Belastninger ut fra teoretiske tilførselsberegninger	130
	- Aktuell belastning - stofftransport - ut fra målinger i vassdraget	133
	- Spesifikke tilførselstall for nedbørfeltet	135
5.3	Innsjøenes belastningsforhold	146
5.4	Foreløpig gjennomførte praktiske tiltak	149
6.	VERN AV VANNKVALITET OG BIOLOGISKE RESSURSER	151
6.1	Målsetninger og hensyn	151
6.2	Vassdraget i resipientsammenheng	153
	- Rød tråd	153
	- Status	153
	- Vurdering	154
	- Påvirkninger av vassdraget	155
	- Befolkning	155
	- Jordbruket	155
	- Skogbruket	156
	- Turisme	157
	- Industriutslipp	157
	- Vannkraftutbygging	157
6.3	Noen akutte problemer	158
6.4	Hva som bør oppnås	160
6.5	Biologisk produksjon - høstingsmuligheter	164
7.	LITTERATUR	165

TABELLFORTEGNELSE

		Side:
Tabell	1. Isforholdene i innsjøene i Haldenvassdraget. Observasjonperiode 1959 (høst) - 1981 (vår).	32
"	2. Karakteristiske vannføringer (avløp) ved Ørje, Brekke og Tistedalsfoss. Periode 1940 - 1976 ved Ørje, og 1926 - 1976 ved Brekke og Tistedalsfoss.	33
"	3. Eksempler på særlig store døgnavløp i perioden 1904 - 1966.	35
"	4. Reguleringsforhold i noen innsjøer.	37
"	5. Arealfordeling og folkemengde i Aremark, Aurskog- Høland, Halden, Marker og Østfold fylke.	48
"	6. Vannmassenes teoretiske oppholdstider i innsjøene.	51
"	7. Utskiftning av vannvolumer i vår- og høstsituasjonen, og beregnet oppholdstid.	52
"	8. Morfometriske opplysninger om innsjøene i hovedvassdraget.	63
"	9. Sammenlikning mellom noen vanntyper i Haldenvassdraget.	73
"	10. Regional sammenlikning mellom hydrokjemiske forhold i noen innsjøer.	76
"	11. Klassifisering av trofigrad.	78
"	12. Aritmetiske middelverdier for turbiditet i innsjøene. Observasjonsperiode 1976 - 1981.	81
"	13. Algevekstpotensial og kjemisk vannkvalitet i noen innsjøer.	88
"	14. Forholdet mellom nitrogen og fosfor i vannmassene ut fra innhold av nitrat og ortofosfat.	90
"	15. Vannkvalitet i Haldenvassdraget sammenliknet med kvalitetskrav til bruksvann.	94
"	16. Viktige alger i innsjøenes september-plankton.	99



		Side:
Tabell	17. Arter av blågrønnalger i innsjøenes plankton.	99
"	18. Noen observasjoner av vinterplankton med alger.	106
	19. Begroingssamfunn i Haldenvassdraget - oversikt over noen observerte arter.	112
"	20. Noen data om Gjølsjøen, Marker kommune.	122
"	21. Noen betydningsfulle arter av høyere planter i Haldenvassdraget ordnet i trofigrupper.	123
"	22. Frittflytende planter (lemnider) i Haldenvassdraget.	124
"	23. Arter av ferskvannsfisk i hovedvassdraget.	127
"	24. Noen observerte arter av hjuldyr og småkrepser i Haldenvassdraget.	127
"	25. Arlig akkumulering av fosfor- og nitrogenforbindelser i innsjøene.	136
"	26. Aktuell belastning med fosfor- og nitrogenforbindelser i hovedvassdraget fordelt mellom skogbruk, jordbruk og befolkning.	136
"	27. Spesifikke tilførselstall for fosfor- og nitrogenforbindelser.	137
"	28. Sammenlikning av spesifikk månedstransport av fosfor- og nitrogenforbindelser i Haldenvassdraget og Hølenvassdraget.	137
"	29. Tilknytning til kommunale kloakkrensaneanlegg.	150
"	30. Regneeksempler på innvirkning av noen forurensningsreducerende tiltak.	163

FIGURFORTEGNELSE

Side:

Figur 1.	Nedbørfelt med prøvetakingssteder.	23
" 2.	Haldenvassdraget - øy og skjærgårdslandskap etter isens tilbaketrekking mot innlandet.	27
" 3.	Skjematisk lengdeprofil av vassdraget og variasjoner i havnivå.	28
" 4.	Månedlig nedbør ved Ørje i perioden 1961-1980.	38
" 5.	Nedbørobservasjoner ved Haldenvassdraget 1976.	39
" 6.	Normaltemperatur i perioden 1931-1960.	40
" 7.	Isforholdene i Haldenvassdraget 1974-1981.	41
" 8.	Månedlig tilløp og avløp ved Ørje i perioden 1966-1981.	42
" 9.	Sesongvariasjoner i vanntilløp til Ørje 1966-1981.	43
" 10.	Ukentlige tilløp til Tistedalsfoss og Ørje i 1980.	44
" 11.	Befolkningsutvikling i perioden 1850-1980.	47
" 12.	Utskiftningsforhold i hovedvassdragets innsjøer.	55
" 13.	Sammenlikning av størrelsesforhold mellom innsjøene i hovedvassdraget.	55
" 14.	Dybdekart av Floen.	56
" 15.	Dybdekart av Bjørkelangen.	56
" 16.	Dybdekart av Skulerudvatnet.	57
" 17.	Dybdekart av Rødenessjøen.	57
" 18.	Dybdekart av Øymarksjøen.	58
" 19.	Dybdekart av Aremarksjøen.	58
" 20.	Dybdekart av Asperen.	59
" 21.	Dybdekart av Femsjøen.	60
" 22.	Dybdekart av Helgetjernet.	61
" 23.	Dybdekart av Øgderen.	62
" 24.	Sommer- og vintertemperatur i innsjøene.	66
" 25.	Bjørkelangen. Temperatur og oksygenmetning om vinteren og sommeren.	67
" 26.	Rødenessjøen. Temperatur og oksygenmetning om vinteren og sommeren.	68
" 27.	Vannmassenes oksygenmetning under vinter- og sommerstagnasjon i Bjørkelangen.	69
" 28.	Oksygenforholdene i hovedvassdragets innsjøer under vinter- og sommerstagnasjon.	70
" 29.	Eksempler på vertikale variasjoner i hydrografiske faktorer.	71
" 30.	Temperatursvingninger i Rødenessjøen observert med kontinuerlig måling i perioden 10. oktober - 9. november 1979.	72

	Side:
Figur 31. Variasjoner i vannkvalitet i Haldenvassdragets øvre løp 23. juli 1975.	82
" 32. Eksempel på variasjon i stoffkonsentrasjoner. Observasjonsperiode 1976. Aritmetisk middel-, minimum- og maksimumverdi.	83
" 33. Vinterobservasjoner av fosforkomponenter i perioden 1976-1978. Løst og partikulær fraksjon.	84
" 34. Sommerobservasjoner av fosforkomponenter i perioden 1976-1978. Løst og partikulær fraksjon.	85
" 35. Eksempler på variasjon i nitratinnhold i innsjøene i hovedvassdraget. Sommerobservasjoner 19.8.1976, og vinterobservasjoner 24.3.1977.	86
" 36. Variasjoner i fosfor- og nitrogenkonsentrasjoner samt N:P forholdet i vannmassene. Aritmetiske middelveier for 1981.	95
" 37. Forekomst av termotabile koliforme bakterier i Haldenvassdraget. Aritmetiske middelveier for 1977.	96
" 38. Oppblomstring av <i>Oscillatoria agardhii</i> i Helgetjernet, Marker kommune. Observasjoner 7. juni 1979.	107
" 39. Eksempler på biomasse av blågrønnalger under algeoppblomstringer.	108
" 40. Utforming av bioteststasjon.	117
" 41. Skjematisk fremstilling av begroingssamfunn på bioteststasjonene i 1976.	117
" 42. Mengdeutvikling av begroingsorganismer.	118
" 43. Eksempel på utvikling av begroingssamfunn dominert av alger. Globalstråling, vanntemperatur og høstet algebiomasse i forsøksrenne. Bioteststasjon Ørje, 1979.	119
" 44. Eksempel på biomassepotensial for begroingsalger.	119
" 45. Belastning og respons.	129
" 46. Teoretiske andeler av fosforbelastning i nedbørfeltet.	138
" 47. Årlig transport av fosfor- og nitrogenforbindelser. Datamaterialet fra perioden 1975-1981 behandlet under ett.	139
" 48. Variasjon i sedimenteringsintensitet av fosforforbindelser.	140
" 49. Årstidsvariasjoner i nitrogentransport i Haldenvassdraget. Observasjoner i 1981.	141
" 50. Prosent fordeling av jordbrukets og befolkningens andel av fosfor - belastninger i delnedbørfeltene.	142
" 51. Fosformengde og konsentrasjon - Bjørkelangen, Røde-nessjøen. Observasjonsperiode 1972-1981.	143

		Side:
Figur 52.	Fosformengde og konsentrasjon - Øymarksjøen, Aremarksjøen, Femsjøen. Observasjonsperiode 1972-1981.	144
" 53.	Fosforbelastning til innsjøene i hovedvassdraget.	145
" 54.	Belastningsmodell for innsjøer.	148
" 55.	Innsjøenes fosforbelastning som følge av forurensningsreducerende tiltak	162
" 56.	Fosforbelastning i hovedvassdraget som følge av forurensningsreducerende tiltak.	162

## SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

**ORGANISERING** HALDENVASSDRAGETS VASSDRAGSFORBUND er et samarbeids- og kontaktorgan for kommunene Aremark, Aurskog - Høland, Halden og Marker, samt fylkene Akershus og Østfold når det gjelder utnyttelsen av nedbørfeltet ut fra hensyn til Haldenvassdraget. Som et ledd i VASSDRAGFORBUNDETS arbeid ble det i perioden 1975 - 1981 av NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING gjennomført undersøkelser av forurensningssituasjonen i vassdraget. Resultatene som fremkom er behandlet i denne rapport.

**GJENNOMFØRING** Observasjoner i vassdraget og eksperimentelle felt- og laboratorieundersøkelser er utført. Fysiske, kjemiske og biologiske faktorer med betydning for vannkvalitet og organismeliv er studert. Observasjoner og analyseresultater er tatt vare på i en datasamling i seks deler som oppbevares av HALDENVASSDRAGETS VASSDRAGSFORBUND. I litteraturlisten til rapporten er det laget oversikt over foreliggende publikasjoner om Haldenvassdraget. Faglige rapporter som er utarbeidet i løpet av undersøkelsesperioden er tatt med.

**GEOGRAFI** Vassdraget er beskrevet i geografisk og hydrologisk sammenheng. Fra utløpet ved Flolangen til utløp i Iddefjorden har Haldenvassdraget en lengde på omlag 137 km. Vassdragets samlede nedbørfelt er 1594 km<sup>2</sup>.

Haldenvassdraget er et resultat av geologiske prosesser som har gitt forutsetning for organismeliv og menneskevirksomhet. Områdets geologiske historie siden siste istid er kort behandlet.

Nedbørfeltet har størst utstrekning i lengderetningen nord-sør. Topografien er regelmessig, og de høyeste åsene er omlag 300 m o.h.

Klimaet er svakt humid med nedbørsmengder 632-739 mm årlig. Halden har omlag 142 sommerdøgn, Øymark tilsvarende 124 sommerdøgn. Isforholdene er beskrevet ut fra observasjonene til HALDEN HOVEDVASS-DRAGS BRUKSEIERFORENING. Innsjøene øverst i vassdraget får først isdekke, og de dypere innsjøene fryser seinest til. Mens Bjørkelangen i gjennomsnitt er helt islagt i 135 døgn av året, er Femsjøen tilsvarende helt islagt i 87 døgn.

Befolkningstettheten i nedbørfeltet er omlag 17.900 personer, 10% av nedbørfeltet er dyrket mark, 63% utgjør skog og 8% er vannareal.

#### HYDROLOGI

Det midlere avløp i nedbørfeltet tilsvarer 15,4 l/s per km<sup>2</sup>. Middelvannføringen i Haldenvassdraget ved Tistedalsfoss er 23,4 m<sup>3</sup>/s. Perioden mars - mai rommer snøsmelting og vårflom. Flommer er tilbakevendende fenomener, vannføring ved Tistedalsfoss er målt inntil 153 m<sup>3</sup>/s.

Den første egentlige regulering av vassdraget fant sted i 1850 - 1870. Kraftproduksjonen er knyttet til fem kraftstasjoner og tilsvarer 23 MW. Som objekt nr. 1 i Verneplan I er vassdraget varig vernet av STORTINGET (6. april 1973) mot fortsatt utbygging.

#### PROSESSER

Undersøkelsene av vannkvalitet og forurensningsvirkninger er behandlet. Utgangspunktet er vassdraget som et sammenhengende resipientsystem. Alle prosesser og fenomener i vassdraget er bundet sammen i et årsaks- og virkningsforhold. Dynamiske prosesser knyttet til utskiftning av vann og oppholdstider er regulerende faktorer for stoff- og energistrømmen gjennom elv-innsjøsystemet.

#### UTSKIFTING

Av en samlet årlig vannmengde på omlag 733 mill. m<sup>3</sup> (Tistedalsfoss), kan det magasineres omlag 137 mill. m<sup>3</sup>. Den samlede utskiftningsstid for vannmassene i hele vassdraget er på teoretisk grunnlag beregnet å være omlag 2 år. Aktuelle utskiftningsforhold er drøftet for innsjøene Floen, Bjørkelangen, Skulerudvatnet, Rødenes-sjøen, Øymarksjøen, Aremarksjøen, Asperen og Femsjøen. Det er utarbeidet dybdekart for innsjøene. Rødenes-sjøen, Øymarksjøen og Femsjøen er blant de største innsjøer i Østfold.

#### HYDROGRAFI

De hydrografiske forhold i innsjøene er beskrevet: lagdeling, temperatur, oksygen og stående bølgebevegelser. Vannmassene har et relativt høyt innhold av oksyderbart organisk materiale. Under stagnasjonsperiodene medfører dette tildels et betydelig oksygenforbruk i innsjøenes dypvannmasser.

#### HYDROKJEMI

Den kjemiske vannkvalitet er beskrevet på grunnlag av de foreliggende analyseresultater. Det er foretatt en regional sammenlikning av hydrokjemiske forhold i Haldenvassdragets innsjøer med andre lokaliteter. I en klassifisering etter trofigrad er vannmassene gjennomgående av mesotrof-eutrof type, bare på lokale områder i hovedvassdraget er det oligotrofe vannmasser. Variasjoner i stoffkonsentrasjonene er belyst, og sesongmessige forhold knyttet til sommer- og vinter situasjonen i vassdraget blir drøftet. Aritmetiske middelveier for fosforkomponenter (total fosfor) varierte i området 25 - 100 µg P/l. For vannmassenes innhold av nitrogenforbindelser (total nitrogen) var aritmetiske middelveier i området 600 - 1200 µg N/l

En betydelig del av vannmassenes fosforinnhold er knyttet til frafiltrerbar substans (seston), særlig leirpartikler. Omlag 30 - 40% av fosforinnholdet var bundet til partikler. En økende tilslamming av vassdraget ble påvist. I observasjonsperioden 1976-1981 er det på alle lokaliteter gjennomgående funnet tiltakende verdier for partikkelinnhold i vannmassene.

- HYDROBIOLOGI*      *Vannmassenes algevekstpotensial (AGP) og begrensende plantenæringsstoffer er bestemt med algebiotester. Vekstforsøk med alger viste klart at fosfor var det primært begrensende næringsstoff. I de sterkere forurensede områder (f.eks. ved Bjørkelangen) kunne nitrogen være begrensende vekstfaktor i enkelte perioder.*
- VANNHYGIENE*      *Vannhygieniske forhold er undersøkt i samarbeid med INSTITUTT FOR NÆRINGSMIDDELHYGIENE og HELSERÅDS-LABORATORIENE i de enkelte kommuner. Mikroorganismer av hygienisk betydning i Haldenvassdraget stammer hovedsakelig fra menneskelig avføring (kloakkvann). Resultatene viser at vannmassene i elvedelene og fra utløpet av innsjøene i hovedvassdraget ikke bør brukes ubehandlet som drikkevann. Vannet i hele vassdraget kan inneholde sykdomsfremkallende mikroorganismer, og bare drikkevann levert av tilfredsstillende vannforsyningsanlegg bør benyttes. Gjennomgående er konsentrasjonsnivået for innhold av nitrat lavere enn det som er betenkelig for drikkevann.*
- PLANTEPLANKTON*      *Algevegetasjonen i vannmassene er undersøkt. I materialet som ble behandlet er det funnet mer enn 100 arter av planteplankton. Disse fordelte seg med 20 arter blågrønnalger, 40 arter grønnalger, 23 arter diatomeer og 18 arter flagellater. Både den kvalitative sammensetning og den mengdemessige opptreden understreket den eutrofierende påvirkning av vannmassene i hovedvassdraget. Blågrønnalger som danner masseforekomst er bl.a. Coelosphaerium naegelianum, Oscillatoria agardhii var. isothrix og Oscillatoria agardhii.*



**ALGEBEGROING** Vegetasjonen av fastsittende alger er hovedsakelig av *Vaucheria*-type (eutrof karakter), i mindre utstrekning av *Zygnema*-type (oligotrof karakter). Viktige begroingsalger var bl.a. blågrønnalgen *Phormidium autumnale* og grønnalgene *Stigeoclonium tenue*, *Microspora amoena* samt *Vaucheria* cf. *walzi*. Bakterier, sopp og protozoer inngikk i begroingssamfunnene på sterkt forurensede vassdragsavsnitt. Sammenliknende undersøkelser av vannkvalitet og begroingssamfunn ble utført på bioteststasjoner ved Bjørkelangen, Fosser og Ørje. Mengdeutvikling av alger og biomassepotensial er drøftet.

**HØYERE PLANTER** Noen spredte observasjoner av høyere planter og tilgroingsforhold er behandlet. Aktive tilgroingsprosesser gjør seg gjeldende i flere områder. Senkning av vannspeilet har på enkelte lokaliteter medført stor tilgroing. Svanemat (*Ricciocarpus natans*) er en nyinnvandrer til Haldenvassdraget.

**DYRELIV** Dyrelivet i vann er kort omtalt.

**FORURESNINGS-  
BELASTNING** Forurensningsbelastningen av hovedvassdraget er beskrevet ut fra punktutslipp og diffuse forurensningskilder. Det er gjort en bestemmelse av belastning med grunnlag i teoretiske tilførselsberegninger. Befolkningens og jordbrukets andel i belastningen er angitt. Ut fra målinger i vassdraget (vannføring og kjemiske konsentrasjoner) er den aktuelle belastning og stofftransport blitt bestemt. Det er fosfor og nitrogenforbindelser som inngår i beregningsmaterialet. Stofftransporten i Haldenvassdraget ved Tistedalsfossen er av størrelsesorden 537 tonn N per år og 33 tonn P per år.

De varierte forhold i nedbørfeltet medfører at tilførsler med stoffer er forskjellige med hensyn til mengde og sammensetning i de ulike deler av vassdraget.

Med bakgrunn i de teoretiske tilførselsberegninger og stofftransportbestemmelsene er det funnet frem til spesifikke tilførselstall for fosfor- og nitrogenforbindelser. For hele nedbørfeltet (Tistedalsfoss) er den spesifikke transport av fosfor  $0,1-4 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{mnd.}$  og tilsvarende for nitrogen  $6-85 \text{ kg/km}^2 \cdot \text{mnd.}$

Belastningsforholdet til de enkelte innsjøene i hovedvassdraget ble utredet. Rødenessjøen har f.eks. størst totalbelastning, mens Bjørkelangen har størst belastning i forhold til innsjøoverflaten. Fosforbelastningen er vurdert i sammenheng med innsjøenes eutrofiering i henhold til Volleweider-modellen. Denne knytter sammen innsjøenes fosforbelastning med midlere dyp og vannmassenes oppholdstid. Bjørkelangen og Rødenessjøen ligger i det eutrofe området, og med en kritisk høy belastning. Øymarksjøen, Aremarksjøen og Femsjøen ligger i området mellom kritisk og betenkelig belastning. Det kan nevnes at Rødenessjøen ligger vesentlig ugunstigere an i forurensningsbelastning sammenliknet med flere andre innsjøer på Østlandet.

#### SEDIMENTERING

Avhengig av bl.a. bassengutforming, strømforhold og vannmassenes oppholdstider gir de enkelte innsjøene ulike betingelser for sedimentering. Det finner sted en årlig akkumulering av fosfor- og nitrogenforbindelser i sedimenteringsområdene. For Rødenessjøen utgjør dette f.eks. omlag 9 tonn P per år og 34 tonn N per år.

#### PRAKTISKE TILTAK

Et omfattende arbeid er innledet for å verne Haldenvassdraget mot forurensningsvirkninger.

De enkelte kommunene er kommet godt i gang med utbygging av kloakkrenseanlegg. Men tilknytningen til renseanleggene er foreløpig begrenset. Bare omlag 22% av befolkningen er foreløpig knyttet til renseanlegg for kloakkvann. Det kan nevnes at 51% av ned-

børfeltets befolkning er bosatt i tettsteder.

På landbrukssiden er det økende oppmerksomhet på å forhindre vannforurensning. Det satses bl.a. på å få håndhevet loven om vern mot vannforurensninger i denne sammenheng.

#### MÅLSETNINGER

Det er nødvendig å sette bruken av Haldenvassdraget inn i sin naturlige sammenheng med de øvrige ressursutnyttelser i nedbørfeltet. Noen direkte skriftlig fremstilling av målsetning for vassdraget foreligger ikke. I lovverk og administrative utredninger, samt i kommunenes generalplaner og fylkesplanene er det holdepunkter tilstede. Det fremgår at målsetningen for Haldenvassdraget er bl.a. at vannkvaliteten skal opprettholdes slik at vassdraget kan være egnet som råvannskilde for drikkevannsforsyning.

#### RESIPIENT- SYSTEM

Virkighetene i nedbørfeltet til Haldenvassdraget forårsaker tildels slike forurensninger og medfører slike forstyrrelser i elv-innsjø-økosystemet at det er tvilsomt hvor lenge det varer før skadene på vassdraget er ugjenkallelige. Imidlertid er det ikke bosetting og virksomheter som i og for seg er store i forhold til nedbørfeltet og vassdragets bæreevne. Det er hvordan vassdraget nærmest vilkårlig brukes som resipient som medfører den uheldige situasjon. For å unngå en stadig forverring og varige skader på vassdraget er det nødvendig å finne en overgang til handlingsmåter som kan være akseptable i en økologisk riktig sammenheng.

Påvirkningene av vassdraget blir drøftet.

Befolkning. Hvordan det lykkes å ta hånd om forurensninger i kloakkvann, er av avgjørende betydning for å kunne opprettholde en tilfredsstillende vannkvalitet.

Jordbruk. Forurensningen fra landbruksvirksomhet er i størrelse tildels sammenliknbar med tilførselen av forurensninger i husholdningskloakkvann, tildels har den større omfang. Jorderosjon og borttransport av jord til vannforekomstene er et betydelig problem. Forurensningsvirkninger av plantevernmidler er ikke blitt undersøkt.

Skogbruk. Skogbrukets forurensningspåvirkning av vassdraget vil neppe forandres i særlig grad i de nærmeste år. Innvirkning på vassdraget gjennom hogstflater og dreneringsarbeider bør imidlertid få oppmerksomhet.

Turisme. Friluftsliv og reisevirksomhet vil utvikle seg raskt videre. Det vil medføre tiltakende forurensningsbelastning og gi nedsatt hygienisk og estetisk standard ved Haldenvassdraget. Det er nødvendig å begrense de uønskede virkninger på hensiktsmessig måte.

Industri. Problemer med industriutslipp er ikke direkte behandlet i denne vassdragsundersøkelsen. Det bør stilles strenge krav til ny industrireising med hensyn til utslipp av forurensende stoffer til vassdraget.

Vannkraftutbygging. Inngrepene i vannføring har tildels hatt uheldige konsekvenser for forurensningssituasjonen i vassdraget. De vil kunne få større konsekvenser for vannkvalitet og biologiske forhold i tiden fremover, sammenliknet med det de hittil har hatt. Gjennom et formålstjenelig utformet manøvreringsreglement vil de fleste ulemper i forurensningsmessig sammenheng i stor grad kunne begrenses.

Haldenvassdraget er av STORTINGET varig vernet mot videre inngrep ved kraftutbygging.

AKUTTE  
PROBLEMER

Vassdragsundersøkelsen har gitt innsikt i noen forhold som fordrer vesentlig omtanke og rask behandling.

- Selvrensningskapasiteten er i hovedvassdraget på visse områder overskredet. Stor punktbelastning medfører nedsatt vannkvalitet og betenkelige forurensningssituasjoner.
- Det gjør seg gjeldende et stadig økende forbruk av oksygenreservene i Bjørkelangen og Skulerudvatnet. Et spesielt kritisk punkt kommer med dannelse av råttent bunnvann i innsjøene. Dette kan medføre en raskt forverret eutrofiering av hele vassdraget nedstrøms.
- Rødenessjøen er i faresonen vurdert i eutrofi-sammenheng. Rødenessjøens beliggenhet og betydning i elv-innsjøsystemet gir denne innsjøen en nøkkelposisjon i den praktiske forvaltning av vassdraget. Å bringe Rødenessjøen i en akseptabel forfatning blir en prøve på om vernet av Haldenvassdraget egentlig kan lykkes.
- En omfattende slamforurensning av vassdraget finner sted. Hvis ikke dette kan begrenses, er det kanskje bare et tidsspørsmål når en nedslamming av vassdraget er kommet så langt at det i praksis ikke lar seg rette opp igjen.
- Vassdraget er et sammenhengende biologisk produksjonssystem. Dette gjør det nødvendig å bedømme både næreffekter og fjerneffekter av forurensningsbelastning. En ensidig reduksjon av én næringsfaktor kan skape en uheldig balanse i vannmassene og gi uheldig eutrofi-virkning i et annet område av vassdraget. I Haldenvassdraget vil f.eks. et overskudd av nitrogenforbindelser kunne gi forurensningsvirkninger i andre resipientområder ("eksport av algevekstpotensial").

- Sterkt næringsrike, små vannsamlinger som har uheldig biologisk påvirkning av hovedvassdraget (f.eks. opppodning med ugressalger) trenger rask sanering.

#### ARBEID

En allsidig bruk av praktiske tiltak og andre virkemidler bør settes inn for å bringe forurensningen i Haldenvassdraget under kontroll. Rensetekniske tiltak vil være de viktigste forholdsregler for å begrense forurensning fra punktutslipp. Når det gjelder diffuse forurensningskilder er det behov for en vidtgående behandling av bl.a. jordbrukets aktuelle problemer. Men situasjonen innebærer også at økologiske sider må prioriteres når utnyttelsesplaner for nedbørfeltet blir laget. Gjennom skjøtsel av de levende ressurser i Haldenvassdraget bør det siktes mot å opprettholde grunnlaget for biologisk produksjon og reint vann.

Noen eksempler på hva som kan oppnås gjennom kombinasjoner av ulike eutrofieringsbegrensende tiltak, er drøftet. Det er f.eks. mulig å bringe Rødenessjøen fra dagens belastningsnivå og ned til under grensen for kritisk belastning. Dette vil medføre at Øymarksjøen, Aremarksjøen - Asperen og Femsjøen samtidig kommer under grensen for betenkelig belastning.

Løsningen av forurensningsproblemene i Haldenvassdraget bør kobles med utvikling og nyttiggjøring av biologisk produksjon i elver, innsjøer og i tilpassede dyrkningsinnretninger som kan gi høstingsmuligheter.

Med utgangspunkt i det foreliggende kunnskapsgrunnlag bør det utarbeides skjøtelsesplaner og handlingsprogram for vern av Haldenvassdraget i tiden som kommer.

## 1. BAKGRUNN FOR UNDERSØKELSEN

Haldenvassdraget er ett av de store elv-innsjøsystemer i Akershus og Østfold. Det danner grensevassdrag i Norges sørøstligste hjørne, og er et typisk lavlandsvassdrag. Skog- og åslandskap sammen med utstrakte områder av marine avsetninger - hvor jordbruksvirksomhet og bosetting er konsentrert - preger nedbørfeltet. Vassdraget har stor verdi vurdert i natursammenheng og økonomisk.

En rekke interesser er samlet i bruken av ressursene knyttet til vassdraget. Hovedvassdraget og bielvene tjener som drikkevannskilde for befolkningen langs dem. Den største er vannforsyningen til Halden kommune. Dessuten er vassdraget vannkilde for en betydelig virksomhet i landbruk og industri. På den annen side er elvesystemet resipient for avløpsvann fra bosetting, landbruk og industri. Hovedvassdraget har i stor utstrekning vært brukt til tømmerfløting. Det er et betydelig sportsfiske som finner sted. Dessuten knytter det seg andre store interesser av naturvitenskapelig, rekreasjonsmessig og turistmessig art til vassdraget.

For å kunne gjennomføre en meningsfylt og fornuftig forvaltning av denne naturressurs må det være regelmessig tilgang på informasjon om tilstand og utvikling. Dette gjelder i like stor utstrekning situasjonen i selve vassdraget, og virksomheter i nedbørfeltet som kan påvirke forholdene i elv-innsjøsystemet. Kunnskap om Haldenvassdraget er et nødvendig grunnlag for å tilrettelegge en utvikling som vil være mest mulig i harmoni med naturforutsetningene i nedbørfeltet.

For å fremme slike bestrebelser er det dannet et samarbeidsorgan - HALDENVASSDRAGETS VASSDRAGSFORBUND - for kommunene ved vassdraget og Akershus og Østfold fylker.

## 2. GJENNOMFØRING OG RESULTATER

I perioden 1975-1981 har HALDENVASSDRAGETS VASSDRAGSFORBUND gjennomført en femårsplan med undersøkelser av forurensningssituasjonen i Haldenvassdraget. NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING har stått for

prosjektet med økonomisk bistand fra kommunene, fylkene og staten. Arbeidet er utført etter årlig opptrukne program (NIVA 1975). Det er gjort observasjoner i vassdraget og eksperimentelle felt- og laboratorieundersøkelser. I fig. 1 er det gitt en oversikt over prøvetakingsstedene i Haldenvassdraget. Det er mange forhold som har bestemt stasjonenes plassering, bl.a. ble det funnet hensiktsmessig å gjøre observasjoner ved innløp og utløp av innsjøene i vassdraget. Ved Bjørkelangen og Fosser (Aurskog-Høland) og Ørje (Marker) ble det opprettet bioteststasjoner til vurderinger av biologisk vannkvalitet.

Undersøkelsen har omfattet fysiske, kjemiske og biologiske faktorer i vassdraget. Feltarbeidet besto i befaringer med observasjoner på utvalgte lokaliteter, innsamling av vannprøver og biologisk materiale. Det er tidligere gitt oversikt over de benyttede metoder ved undersøkelsen (Skulberg et al. 1978, NIVA 1979 II, Skulberg 1959), som forøvrig var de rutinemessige fremgangsmåter brukt ved Norsk institutt for vannforskning.

Det er utarbeidet en samling av hoveddata med de foreliggende analyse-resultater og observasjoner. Denne ble laget i et antall av tyve eksemplar som er oppbevart av HALDENVASSDRAGETS VASSDRAGSFORBUND, fylkesutbyggingsavdelingene i Akershus og Østfold samt STATENS FORURENSNINGSTILSYN. Datasamlingen består av følgende enheter (NIVA 1979 II):

Undersøkelse i Haldenvassdraget.

Forklaring til bruk av datasamlingen,

pp. 1-20, Blindern 19. juli 1979.

Del 1 - Resultater fra prøvetaking i perioden 1972-1975,  
tabeller 1-90, Blindern 19. juli 1979.

Del 2 - Resultater fra prøvetaking i 1976,  
tabeller 91-190, Blindern 19. juli 1979.

Del 3 - Resultater fra prøvetaking i 1977,  
tabeller 191-254, Blindern 19. juli 1979.

Del 4 - Resultater fra prøvetaking i 1978,  
tabeller 255-369, Blindern 19. juli 1979.

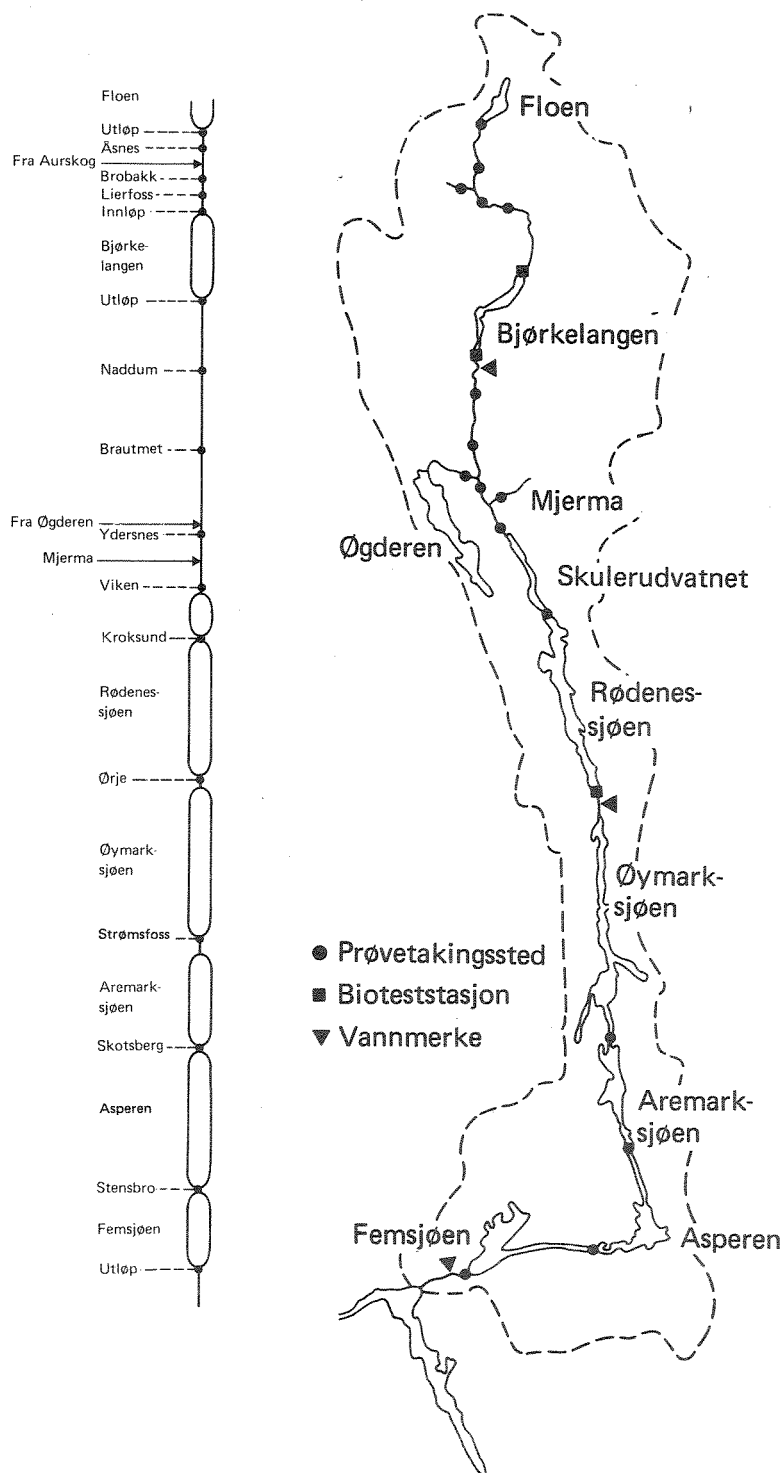


- Del 5 - Planteplankton. Resultater fra september-håvtrekk i innsjøene 1961-1976,  
tabeller 370-375, Blindern 19. juli 1979.
- Del 6 - Mikrobiologiske undersøkelser i perioden 1977-1978,  
pp. 1-24, Blindern 12. november 1979.

Resultatene fra undersøkelsene i 1980 er sammenstilt i en egen rapport (NIVA 1981).

Det er forøvrig i undersøkelsesperioden gjort en behandling av resultater i rapporter og faglige publikasjoner. Det vises i denne forbindelse til litteraturlisten i dette skrift. Resultater av vassdragsundersøkelser i Haldenvassdraget i perioden 1967-1972 foreligger i en tidligere rapport (NIVA 1972). Men dette er den første helhetlige fremstilling av hvordan vassdraget opptrer som et elv-innsjøsystem.

Figur 1. Nedbørfelt med prøvetakingssteder.



### 3. VASSDRAGET I GEOGRAFISK OG HYDROLOGISK SAMMENHENG

#### 3.1 Elver og innsjøer

"Urskog danner Begyndelsen til Fredrikshalds-Vasdragets Dalføre. Vandskillet, der dannes af en rullestensførende Sandryg med Fjeld enkeltvis i Dagen, er omtrent ved Grændsen av Sognene og lavest ved Ekeberg omtrent i Høide med Urskogs Kirke".

(Heyerdahl 1882)

Den øvre del av Haldenvassdraget (fig. 1) ligger i Akershus og går under navnet Hølandsvassdraget. Her flyter vassdraget gjennom Aurskog-Høland kommune. Resten av vassdraget ligger i Østfold i kommunene Trøgstad, Marker (tidligere Rødenes og Øymark), Aremark og Halden (tidligere Idd, Berg og Halden).

Fra utløpet ved Flolangen til utløp i Iddefjorden ved Halden har Haldenvassdraget en lengde på omlag 137 km, og vassdragets samlede nedbørfelt er 1594 km<sup>2</sup>.

Flolangen i Nes har avløp til Øysjøen på grensen til Aurskog. Herfra renner elven en kort strekning til Floen (179 m o.h.). Fra Floen renner Bergerelva og opptar nord for Aurskog bygdesentrum Riserelva. Denne kommer fra Tævsjøen (182 m o.h.), som ligger syd for bygdesentret og renner gjennom tettbebyggelsen. Bergerelva renner sydøstover og opptar i nordenden av Liermosen elven Børtå. Denne er 14 km lang og kommer fra Oppsjøen (276 m o.h.).

Bergerelva renner ut i Bjørkelangen (124 m o.h.), som har et overflateareal på 3,64 km<sup>2</sup> og et nedbørfelt på 280,0 km<sup>2</sup>. På den ca. 50 km lange strekningen mellom Bjørkelangen og Rødenessjøen går elven under navnet Hølandselva. På denne strekningen opptar den ved Løken fra vest Prestelva som kommer fra Langfossjøen (200 m o.h.). Videre sydover danner Hølandselva Bersjøvatnet (147 m o.h.), hvor Korselva løper ut i hovedvassdraget. Korselva dannes av to elver, Hafsteinselva fra Tunnsjøen (179 m o.h.) og Hemneselva fra Øgderen (132 m o.h.). Øgderen har i nord tilløp fra den 11 km lange Dalselva. Korselvas samlede nedbørfelt er 176 km<sup>2</sup>.

Omtrent midtveis mellom Bersjøvatnet og Skulerudvatnet løper Mjermnelva sammen med Hølandselva. Mjermenvassdraget er 44 km langt og har ovenfor

Lunds fossen et samlet nedbørfelt på 260 km<sup>2</sup>. Dette vassdraget kommer fra Garsjø (260 m o.h.) i Aurskog-Høland. Herfra renner Setta først mot nord, og deretter mot syd ut i den 11,3 km<sup>2</sup> store Setten (166 m o.h.). Setten går nesten i ett med Mjermen (163 m o.h.). Før Mjermenelva munner ut i hovedvassdraget, danner den en omlag 15 m høy foss - Lunds fossen.

Hølandselva flyter deretter ut i Skulerudvatnet (117 m o.h.). Ved Skirfoss løper Haldenvassdraget inn i Østfold fylke og danner den smale 17,5 km lange Rødenessjøen (117 m o.h.). Av andre tilløp har den bare noen mindre elver. Den største er Risenvassdraget (nedbørfelt 27,2 km<sup>2</sup>), som munner ut i Rødenessjøen ved Kroksund.

Fra Rødenessjøen fører den korte Ørjeelva ut i den 16 km lange Øymarksjøen (107 m o.h.). I nordenden har Øymarksjøen tilløp fra øst gjennom Bøenselva fra Gjølssjøen (114 m o.h.). Den sydligste del av Øymarksjøen heter Bøensfjorden. Fra denne renner den 3 km lange Strømselva til den 8 km lange Aremarksjøen. Den er gjennom det 5 km lange sundet, Tordyvelen, forbundet med Asperen (105 m o.h.).

Fra Asperen går Steinselva (7 km lang) mot vest, med et fall på 26,6 m, ut i Femsjøen (79 m o.h.). Etter anlegget av Brekke kraftverk er fallet i elven vesentlig konsentrert ved Brekke.

Steinselva har, før den renner ut i Femsjøen, tilløp fra Lille Ertevatn (172 m o.h.), Holvatn (153 m o.h.) og Store Ertevatn (105 m o.h.) gjennom Ganselva.

Fra Femsjøen leder den 5 km lange Tista gjennom Tistedalen til utløpet i Iddefjorden ved Halden.

### 3.2 Mellom breen og havet

"Slik ligger landet nu, og det er ikke saa langt fra at det også laa slik da de første mennesker kom hit for en 8000 aar siden."

(Bakke 1915)

For å kunne forstå naturforhold og samfunnsutvikling knyttet til Haldenvassdraget er det nødvendig å kjenne hovedtrekkene av utviklingen i nedbørfeltet siden siste istid. Vassdraget er et gammelt trekk i landskapet,

og dets historie går gjennom tid som er lang også i geologisk sammenheng. Nedbørfeltet til Haldenvassdraget viser en rekke spor av eldre landskaps-  
trekk som er forandret gjennom seinere tiders eroderende virksomheter. Disse forhold er særlig knyttet til berggrunnens egenskaper, klimatiske vekslinger, istidens prosesser og landmassenes hevningsfaser.

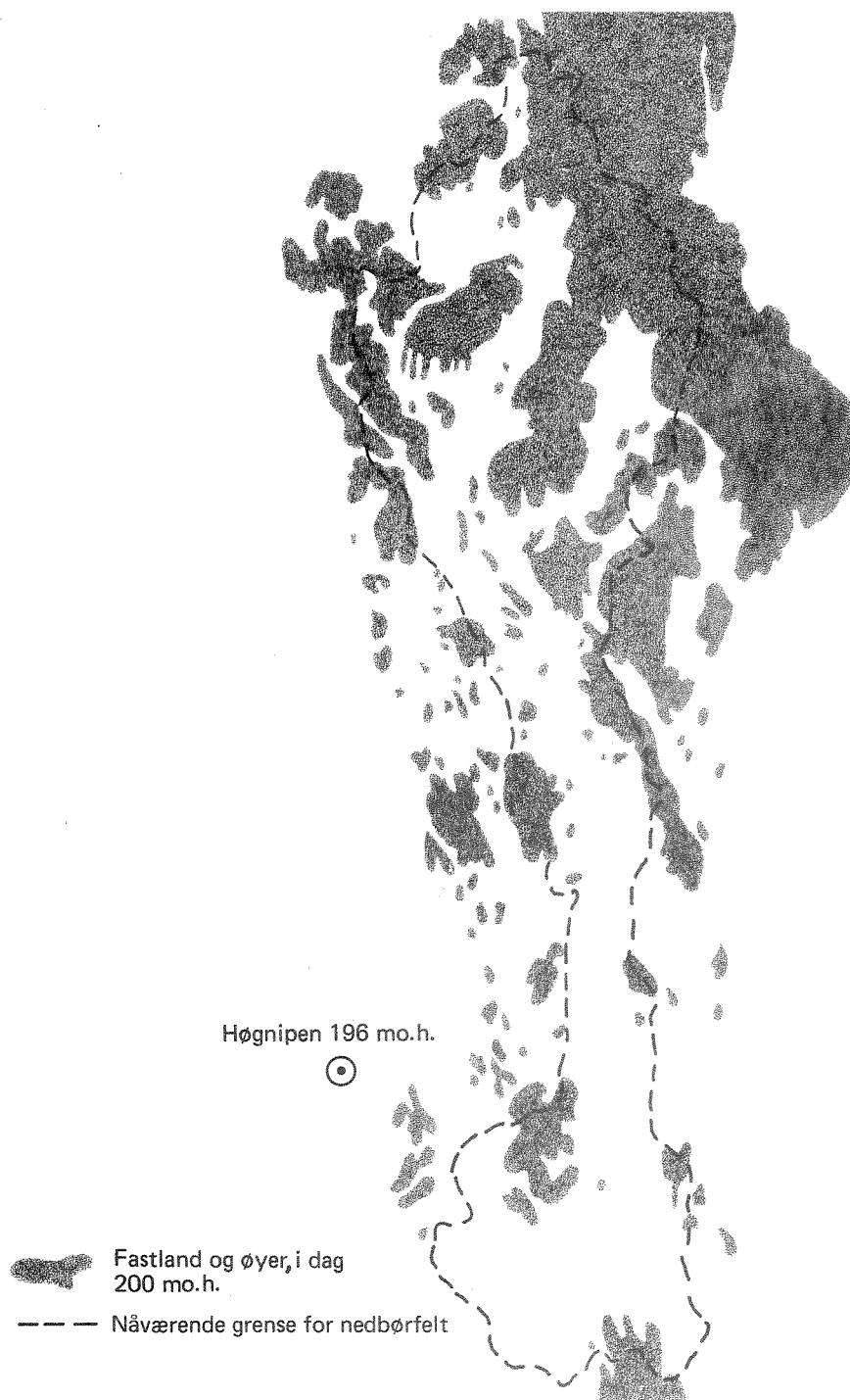
Fjellgrunnen i nedbørfeltet tilhører det sørøstnorske grunnfjellsområde (Holtedahl 1953). Bergartene er hovedsakelig gneis og granitt som ble dannet i prekambrisk tid. Landskapet er utformet som en ujevn flate med lave åser av disse bergarter. Det er også mindre forekomster av andre bergarter f.eks. kleberstein (Aremark, Marker) og gabbro (Borgåsen, vest for Rødenessjøen). Allerede for mer enn 600 millioner år siden var nedbørfeltet erodert ned til et forholdsvis flatt landområde - det prekambriske peneplan.

De siste 10 000 år av jordens historie - holocen - omfatter betydningsfulle geologiske hendelser som preger Haldenvassdraget som det fremstår i dag. Isens største utbredelse under siste istid var for omlag 18 000 år siden. Klimaet ble gradvis mildere, og etterhvert ble store landområder i isens utkant frilagt. For omlag 10 000 år siden var isgrensen ved Haldenområdet (baltiske issjø). Femsjøen ble f.eks. demmet opp av ratrinnet fra denne del av isens tilbaketrekning. På dette tidspunkt må en stor elv ha ført vann ut i Femsjøbassenget, noe som grus- og sandavsetningene øst for Halden viser (Skjeseth 1978).

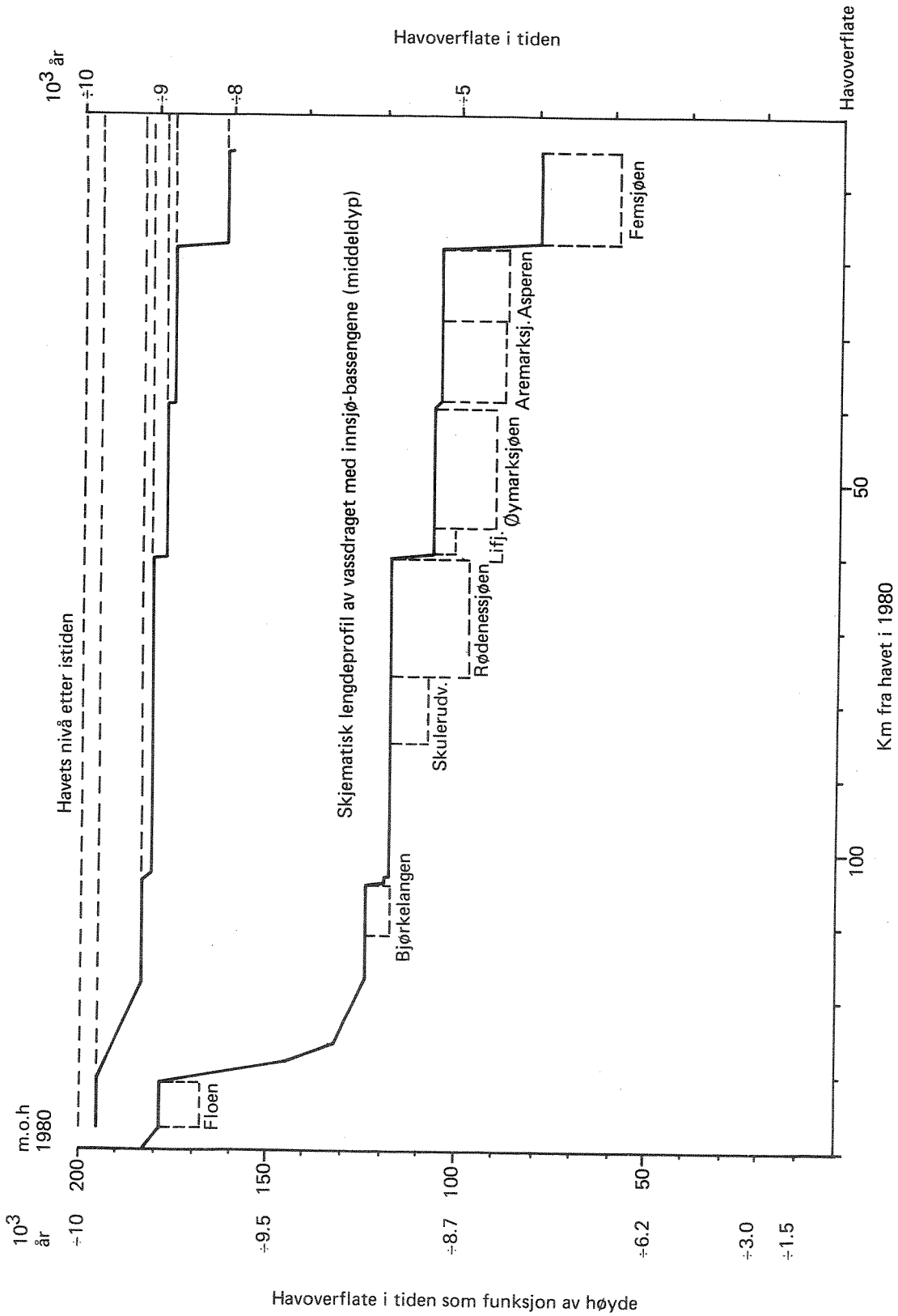
Mens isen trakk seg tilbake, fulgte havet etter inn over lavtliggende landområder. Hele Skandinavia var presset ned av innlandsisens vekt. Havet gikk til den øverste marine grense. Sør i nedbørfeltet (Halden) ligger denne grensen omlag 170 m o.h., mens nord i nedbørfeltet (Bjørkelangen) er den omlag 210 m o.h. Store deler av landskapet ble oversvømmet av havvann. I området av Rødenessjøen og Øgderen var det forbindelser til fjordsystemene mot Sverige (Yoldia-havet, omlag 9 700 år siden). Landet steg hurtig, kanskje omlag 10 meter i løpet av hundre år. I fig. 2 er det tegnet inn konturene av landskapet i høydenivå 200 m o.h. Dette kan fremstille det øy- og skjærgårdslandskap som dukket opp av havet. Havet trakk seg sørover (fig. 3), og det etterlot seg mektige leiravsetninger som ble utsatt for ny erosjon. Det strømmende vannet arbeidet med sedimentene og utformet landskapet slik det er blitt.

De mange forekomster av skjellbanker og skjellsand i deler av Haldenvassdragets nedbørfelt (f.eks. Aremark) er vitnesbyrd om havet som sto

Figur 2. Haldenvassdraget - øy og skjærgårdslandskap etter isens tilbaketrekking mot innlandet.



Figur 3. Skjematisk lengdeprofil av vassdraget og variasjoner i havnivå



inn over landområdet (Øyen 1908, Breien 1933). Dyreformer som fremdeles lever i innsjøer i Haldenvassdraget - istidsinnvandrere - er vitnesbyrd om avstengningen av havarmer under landhevningen. Disse "glacial-marine relikter" (Brøgger 1901, Mathisen 1953) som de også ble kalt, er representert med bl.a. fem arter av krepsdyr. De vanligste er *Limnocalanus macrurus* (Femsjøen - Floen) og *Mysis relicta* (Femsjøen - Rødenessjøen). Både plante- og dyrelivet i nedbørfeltet bærer forøvrig også tydelige spor av artenes innvandringshistorie etter istiden (Halvorsen 1978, Hardeng 1978).

De første spor av mennesker er knyttet til denne postglaciale skjærgårdstid i Østfold. Mennesker med kystbundet kultur - fangstfolk - fikk muligheter til kolonisasjon etterhvert som øyer og fastland ble naturlige mål. For omlag 9 000 år siden var det boplass i et nivå som nå ligger 160 m o. h. (Rørmyr - Høgnipen, Rakkestad), straks vest for Haldenvassdragets nedbørfelt. Og for omlag 7 000 år siden var det boplasser flere steder i nedbørfeltet til Haldenvassdraget. Disse var først og fremst knyttet til innsjøenes strandområder. Ved Femsjøen, Asperen og Rødenessjøen er det bl.a. typiske strandboplasser fra yngre steinalder (Johansen E. 1954, 1978).

Det var landarealene med tørrlagt havbunn som i særlig grad ga dyrkingsjord og etterhvert bestemte bosettingsforhold i nedbørfeltet (Bakke 1915). Overflateformene til jordlagene i nedbørfeltet ble omdannet under landets stigning. Havbølger vasket f.eks. leiren bort fra oppstikkende fjellrygger. I de høyereliggende strøk er leirflatene blitt gjennomfuret av erosjonsdaler og søkk som elver og bekker har gravd ut. I lavere-liggende områder har leirflatene holdt seg mer uforandret (Bjørlykke 1940).

Haldenvassdraget er resultatet av geologiske prosesser som har gitt naturgrunnlaget for organismeliv og menneskevirksomhet. Vassdraget er et sammenhengende system gjennom tid og sted. Det utgjør en geografisk avgrenset del av det hydrologiske kretsløp (Otnes et al. 1978).

### 3.3 Klima og hydrologi

#### Værforhold i nedbørfeltet

Observasjoner av nedbør og temperaturforhold har blitt gjort på en rekke stasjoner i Haldenvassdragets nedbørfelt (Det norske meteorologiske



institutt). Stasjoner med forholdsvis lange serier av målinger omfatter Aurskog, Skreppestad, Søndre Høland, Ørje, Øymark, Strømfoss sluse, Krappeto, Brekke sluse og Halden (Bruun 1949). Noen av stasjonene ble opprettet tidlig, f.eks. Krappeto med måledata fra perioden 1884-1914 (Birkeland 1935).

Haldenvassdraget har sin største utstrekning i lengderetningen nord-sør. Dette innebærer tildels store klimatiske forskjeller i de ulike strøk av nedbørfeltet. Klimaet hører i hovedtrekkene til det svakt humide, med en normal årlig nedbørmengde som varierer mellom 739 mm (Halden) og 632 mm (Skreppestad). Variasjoner i nedbørforholdene ved Ørje er gjengitt i den grafiske fremstilling i fig. 4. September er gjennomgående den regnrikeste måned, mens mars tilsvarende er den nedbørfattigste måned (normalperioden 1931-1960). August viser de største variasjoner med hensyn til nedbørmengde. I fig. 5 er det fremstilt noen eksempler på nedbørobservasjoner på stasjoner ved hovedvassdraget i løpet av 1976. Det fremgår at nedbørsituasjonene opptrer stort sett sammenfallende for hele det geografiske området som betraktes. Spesielt viser observasjonene i oktober hvordan nedbørmengden avtok fra kysten mot innlandet.

Den årlige middeltemperatur faller fra kysten ( $6,2^{\circ}\text{C}$ , Halden) mot innlandet ( $4,9^{\circ}\text{C}$ , Krappeto). Høyden over havet spiller dessuten en rolle for temperaturens variasjon. Den kaldeste måned er januar (normaltemperatur  $+ 2,3^{\circ}\text{C}$ , Halden), den varmeste måned er juli (normaltemperatur  $17^{\circ}\text{C}$ , Halden). Hvis middeltemperatur under null blir valgt som kriterier for vinter, har Halden 101 vinterdøgn, mens Øymark tilsvarende har 129 vinterdøgn. Det er vanlig å regne sommer for døgn med middeltemperatur ti grader eller varmere. Med dette kriterium har Halden sommer i 142 døgn og Øymark tilsvarende i 124 døgn (Johansen S. 1978).

Topografien i nedbørfeltet er regelmessig, og de høyeste åsene går ikke stort mer enn 300 m o.h. Skogstrekningene skjærer for vinden ved bakken. Det er et overskudd av vind i nordlig og sørlig retning. Dette henger sammen med hovedvassdragets lengdedrag. I forbindelse med sterke lavtrykk forekommer rett vestlige eller østlige vinder. De største vindstyrker er målt i vestlig vind (f.eks. høststormene 1969).

## Vinter og is

"Der fortælles endog, at naar man fordum mærkede at der klarnede op til stærke Frostnætter, tog man op Haretondammen og Mangedammen, saa elven nedenfor blev fyldt med Vand, og gav fra sig Vanddamp eller Taage, og dette holdt Frosten borte langs dens Bredder."

(Heyerdahl 1882)

Lufttemperaturene gjennom døgnet begynner å synke fra august, og en gradvis avkjøling av innsjøenes vannmasser innledes. I løpet av november synker døgntemperaturen i luft under null °C (fig. 6), og når overflatevannet er avkjølt tilsvarende, begynner isleggingen i vassdraget. De små vannforekomstene får først isdekke, og tilsvarende landnært i grunne, beskyttede områder av de større innsjøene (Sønsterud 1968).

Isforholdene i Haldenvassdraget er godt kjent. Et omfattende observasjonsmateriale er fremskaffet av Halden Hovedvassdrags Brukseierforening. Den følgende fremstilling bygger på dette grunnlag. I fig. 7 er det gitt en oversikt over isforholdene i innsjøene i perioden 1974-1981. Tabell 1 sammenstiller observasjonsmaterialet (1959-1981) i statistisk form.

De enkelte innsjøene viser betydelige variasjoner i isleggingsforholdene. Men det er enkelte hovedtrekk som fremhever seg. Innsjøene øverst i vassdraget får først isdekke, og de dypere innsjøene fryser seinest til. Mens Bjørkelangen i gjennomsnitt er helt islagt i 135 døgn av året, er Femsjøen tilsvarende helt islagt i 87 døgn. De øvrige innsjøene ordner seg inn mellom disse varigheter av islegging.

Isperiodens avslutning viser relativt mindre variasjoner sammenliknet med tilfrysingen. Etterhvert som vanntilførselen øker utover ettervinteren (fig. 8) vil smelteperioden bli innledet. Det er typisk at april som regel gir isfritt vann, og at vårflommen er med på å gi en samtidighet i isløsningen gjennom hele hovedvassdraget (se også fig. 10).

## Avrenning og vannføring

Raet - skjøvet sammen av sand, grus og leire - ble en mektig demning for vannet. Foruten Glåma er det bare Haldenvassdraget av Østfolds elver som har klart å bryte gjennom denne istidsdannelsen. Det må tidlig

Tabell 1. Isforholdene i innsjøene i Haldenvassdraget.  
 Observasjonsperiode 1959 (høst) - 1981 (vår).

Lokalitet	Verdi	Antall døgn			Prosent av året		
		Helt islagt	Delvis islagt	Is-fritt	Helt islagt	Delvis islagt	Is-fritt
Bjørkelangen	Min.	111	4	151	30	1	41
	Middel.	135	24	205	37	7	56
	Maks.	158	75	226	43	21	62
Skulerudvatnet	Min.	107	8	179	29	2	49
	Middel.	133	25	207	36	7	57
	Maks.	157	58	229	43	16	63
Rødenessjøen	Min.	35	14	188	10	4	52
	Middel.	97	59	212	27	16	58
	Maks.	134	110	276	38	30	76
Øymarksjøen	Min.	78	10	187	21	3	52
	Middel.	105	55	215	29	15	59
	Maks.	133	110	262	36	30	72
Aremarksjøen	Min.	34	10	186	9	3	51
	Middel.	100	40	225	27	11	62
	Maks.	133	75	273	36	21	75
Asperen	Min.	32	8	186	9	2	51
	Middel.	100	47	220	27	13	60
	Maks.	132	124	259	36	34	71
Femsjøen	Min.	0	7	181	0	2	50
	Middel.	87	54	229	24	15	63
	Maks.	131	135	293	36	37	80
Øgderen	Min.	103	10	182	28	3	50
	Middel.	122	29	214	33	8	59
	Maks.	149	65	238	41	18	65
Mjermen	Min.	102	10	155	28	3	42
	Middel.	131	32	202	36	9	55
	Maks.	149	63	226	41	17	62

ha munnet ut et betydelig dreneringssystem fra innlandet ved Femsjøens sørlige bredder. Nå bryter Tista gjennom raet i Asak (ved gården Veden) med en vannføring som er omlag  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  i årsmiddel.

De klimatiske forutsetninger i samspillet med landskapets topografi bestemmer i hovedtrekkene nedbørfeltets avrenningsforhold. Vann magasineres i elver og innsjøer. Markvann og grunnvann er magasiner under jordoverflaten. Vannføringen vi observerer i vassdraget gjenspeiler nedbørforhold, men er modifisert av evapotranspirasjon og oppfylling og uttapping av ulike typer magasiner (Tollan et al. 1977).

Hydrologiske observasjoner i Haldenvassdraget er av gammel dato. I tidsrommet 1849-1874 var det f.eks. omlag tyve vannmerker som ble benyttet (Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen 1958) men de var i bruk forholdsvis kort tid. Aktuelle hydrometriske observasjoner blir nå utført ved Ørje (NVE-VMNR 2213), Brekke (NVE-VMR 2214) og Tistedalsfoss (NVE-VMNR 2215). Noen karakteristiske vannføringer (avløp) er stilt sammen i tabell 2.

Tabell 2. Karakteristiske vannføringer (avløp) ved Ørje, Brekke og Tistedalsfoss.  
Periode 1940-1976 ved Ørje, og 1926-1976 ved Brekke og Tistedalsfoss

Vannføring	Ørje m <sup>3</sup> /s	Brekke m <sup>3</sup> /s	Tistedalsfoss m <sup>3</sup> /s
Minimum	5,4	6,2	8,6
Middel	14,9	19,7	23,4
Maksimum	23,3	35,4	42,0

Det er et fremherskende trekk at nedbørmengden delvis tiltar med høyden over havet. I samsvar med dette er det skogåsene nær nedbørfeltets ytre begrensninger som utgjør de relativt vannrikeste landskapsdeler til Haldenvassdraget. Størsteparten av nedbørfeltet ligger innenfor et område med avrenning mellom 14-16 l/s per km<sup>2</sup> (Isohydatkart Østlandet for normalperioden 1930-1960, NVE, Hydrologisk avdeling, september 1978). Det midlere avløp er 15,4 l/s per km<sup>2</sup>. Det årlige avløp varierer mye. I perioden 1910-1950 var det største årlige avløp (Femsjøen, nedbørfelt 1550 km<sup>2</sup>) 1279 mill. m<sup>3</sup> - tilsvarer 26,2 l/s per km<sup>2</sup> - og det minste årlige avløp 365 mill. m<sup>3</sup> - tilsvarer 7,5 l/s per km<sup>2</sup> (Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen 1958).

I europeisk sammenheng er det regnet med en årlig avrenning som i gjennomsnitt er 9,7 l/s per km<sup>2</sup>. Svært varierende forhold gjør seg gjeldende innenfor vårt geografiske område. Noen eksempler på spesifikke avløp kan nevnes: Glåmavassdraget 17,2 l/s per km<sup>2</sup>, Dramsvassdraget 19,3 l/s

per km<sup>2</sup>, Skiensvassdraget 28,8 l/s per km<sup>2</sup>, Namsenvassdraget 44,7 l/s per km<sup>2</sup> og Ranavassdraget 55,4 l/s per km<sup>2</sup> (Otnes et al. 1978). Dette viser at Haldenvassdraget nærmer seg mer til kontinentale forhold sammenlignet med de fleste andre nedbørfelt i landet vårt.

Tidsvariasjonene i avrenningsforholdene beskriver vassdragets hydrologiske regime. Haldenvassdragets variasjoner i vannføring gjennom året er preget av at hele nedbørfeltet ligger i et lavlandsnivå. Med bakgrunn i tidspunkt og størrelse av flom, og lavvannsperioder kan det årlige avrenningsmønster karakteriseres. Den grafiske fremstilling i fig. 8 viser månedlige tilløp og avløp ved Ørje i perioden 1966-1980. Fire typiske avsnitt fremhever seg i den årlige syklus:

- januar og februar,	vinter	- 60 døgn
- mars til mai,	etterm vinter og vår	- 90 døgn
- juni og september,	sommer	- 120 døgn
- oktober til desember,	høst og begynnende vinter	- 95 døgn

Perioden januar-februar har liten vannføring. Etterm vinteren medfører større vannføring, og perioden mars-mai rommer snøsmelting og vårflom i vassdraget. Sommeren, juni-september, har lav vannføring. Mot høsten tiltar vassdragets vannføring, og perioden oktober-desember er bl.a. kjennetegnet av regnflommer.

Flommer er velkjente erfaringer i Haldenvassdraget. Noen historiske beretninger kan illustrere forholdet.

"Ogsaa i 1819 var der en meget stor flom i det fredrikshaldske vasdrag. Ingen af disse oversvømmelser kom dog op mod den, som forvoldtes af den store flom i 1743. Den gang kunde man, efter hvad ældre, paalidelige folk meddeler, ro fra gaarden Haneborg til gaarden Lier over Liermosen. Da Liermosen, der sandsynligvis er en gjengroet sjø, aarligaars vokser i høide, har den dog den gang rimeligvis ligget lavere end nu. Talrige hølader blev taget af flommen og ført ud i Birkelangen sjø. Møllebrug og damme gik ud, og elven tog ved Vaalerfos, nordvest for Liermosen, et nyt løb." (Vibe 1897).

"Af betydelige flomme i vasdraget kjendes bl.a. de i 1743, 1789, 1819 og 1860. Af disse var flommen i 1743 den største, dernæst den i 1860 og den i 1819. Da vasdraget ikke faar tilløb fra høifjeld, er det, efterat den

egentlige vaarsmelting er foregaaet, ikke udsat for nogen flom, der foranlediges ved den senere snesmelting i større høider; de store flomme kjendes her hovedsagelig efter stærke og pludselige regnskyl, og de komme derfor, naar man mindst venter dem. I 1743 var vandets stigning meget hurtig; fra de øvre bygder blev der da sendt ilbud til Fredrikshald for at advare sagbrugseierne i Tistedalen, saaledes at de kunde træffe foranstaltninger til at redde sine brug, inden flommen naaede derhen. Almuen skal have været i stor forskrækkelse og have ventet en ny syndflod. Flommen i 1789 var ogsaa foranlediget ved stærke regnskyl, og ligesaa flommen i 1860, der i de øvre bygder naaede sin største høide den 22de august. Om vaaren 1861 var der ogsaa en flom, der gjorde megen skade på kanalanlægget." (Kiær 1885).

Noen eksempler på særlig store døgnavløp i dette hundreåret er stilt sammen i tabell 3.

Tabell 3. Eksempler på særlig store døgnavløp i perioden 1904-1966.

AR	Ørje		Brekke		Tistedalsfoss	
	m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s		m <sup>3</sup> /s	
1904					9/5	127,46
1909					4/11	153,78
1920					5/5	115,81
1926			24/11	97,34	25/11	107,98
1927			6/10	85,82	4/10	118,42
1937			27/4	108,49	26/4	111,73
1938			10/12	110,37	12/12	121,27
1944	13/12	67,78	4/12	97,43	5/12	117,46
1951	5/5	105,95	7/5	113,20	9/5	116,17
1954	6/12	97,30	15/12	104,90	16/12	122,24
1962	29/4	95,70	30/4	95,96	5/5	95,21
1965	13/9	99,70	14/5	103,05	20/9	121,20
1966	7/5	100,10	13/5	124,95	15/5	118,86

Sammenhengende serier med hydrometriske målinger muliggjør fastleggelse av hvordan variasjoner gjør seg gjeldende gjennom tiden. I fig. 9 er det gjort fremstillinger av vanntilløp i vassdraget ved Ørje for observa-

sjonsperioden 1966-1981. Enkelte hovedtrekk fremhever seg. I perioden 1966 til 1976 var det f.eks. gjennomgående tendens til avtakende vårtilløp i vassdraget. Noen år peker seg ut med svært lave tilløp om vinteren (f.eks. 1966, 1970 og 1979). Enkelte år har det om sommeren vært forholdsvis store tilløp til vassdraget (f.eks. 1970, 1972, 1980 og 1981).

Variasjoner over kortere tidsrom har avgjørende betydning for den aktuelle tilstand i vassdraget når det gjelder fysiske, kjemiske og biologiske forhold. Eksempler på slike variasjoner er vist i fig. 10, hvor ukentlige tilløp gjennom 1980 er tegnet inn for henholdsvis Tistedalsfoss og Ørje.

#### 3.4 Inngrep i vannstand og vannføring

"Ved kanalisering av elvestykket mellom vandene er Skulerudvandet gjort tilgjengelig for kanalfartøierne der befarer det kanalisierende vasdrag fra Femsjøen til Skulerudvandets nordre ende ved Urskog-Hølandsbanens endepunkt - en strækning av 76 km, hvorav ca. 19 km falder inden Rødenes. Arbeidet i Skirfos blev færdigt i 1872."

(Krosby 1914)

Allerede tidlig - i norsk sammenheng - ble det gjort bruk av Haldenvassdraget som innebar behov for enkelte inngrep i de naturlige avrenningsforhold. Den utstrakte anvendelse av Haldenvassdraget til fløtningsformål og møllebruk krevde bl.a. at dammer ble bygget. Gjennomføringen av den årlige tømmerfløtning ble gjort med delvis omfattende styring av vannføring i korte perioder på enkelte strekninger i sideelver og hovedløp (Parmer 1959). Det var imidlertid kanaliseringsarbeidene i "det fredrikshaldske vasdrag" som i 1850-årene ga støtet til de større tekniske anlegg for kontroll av vannstander og vannføringer.

Haldenvassdragets Kanalselskap sto for den første egentlige regulering av vassdraget i tidsrommet 1850-1870. I 1890-årene og 1920-årene ble omfattende reguleringer iverksatt av Halden Hovedvassdrags Brukseierforening. Dette medførte at magasinkapasiteten ble 136 mill. m<sup>3</sup> i hovedvassdraget, og i tillegg til dette omlag 25 mill. m<sup>3</sup> i forskjellige sidevassdrag. I tabell 4 er reguleringsforholdene i de større innsjøene sammenstilt. Kraftproduksjonen i vassdraget er knyttet til fem kraftverk og tilsvarende 23,3 MW.

Tabell 4. Reguleringsforhold i noen innsjøer.  
(Vogt et al. 1966)

Innsjø	Høyeste vannstand kote	Laveste vannstand kote	Reg. høyde m	Magasin $n \cdot 10^6$ $m^3$	Utnyttet fallhøyde i hovedvassdrag m
Setten	167,24	165,15	2,09	21,88	117,37
Mjermen	164,83	163,58	1,25	8,26	"
Bjørkelangen	123,66	122,30	1,36	4,85	"
Øgderen	133,23	131,83	1,40	18,70	"
Rødenessjøen	118,44	117,50	0,93	15,97	"
Øymarksjøen	108,57	107,57	1,00	13,14	107,47
Ara og Asperen	106,10	104,47	1,63	25,26	105,00
Store Ertevatn	109,10	105,10	4,00	17,50	78,40
Femsjøen	79,50	78,50	1,00	11,20	"
Totalt magasin, $n \cdot 10^6 m^3$				136,76	

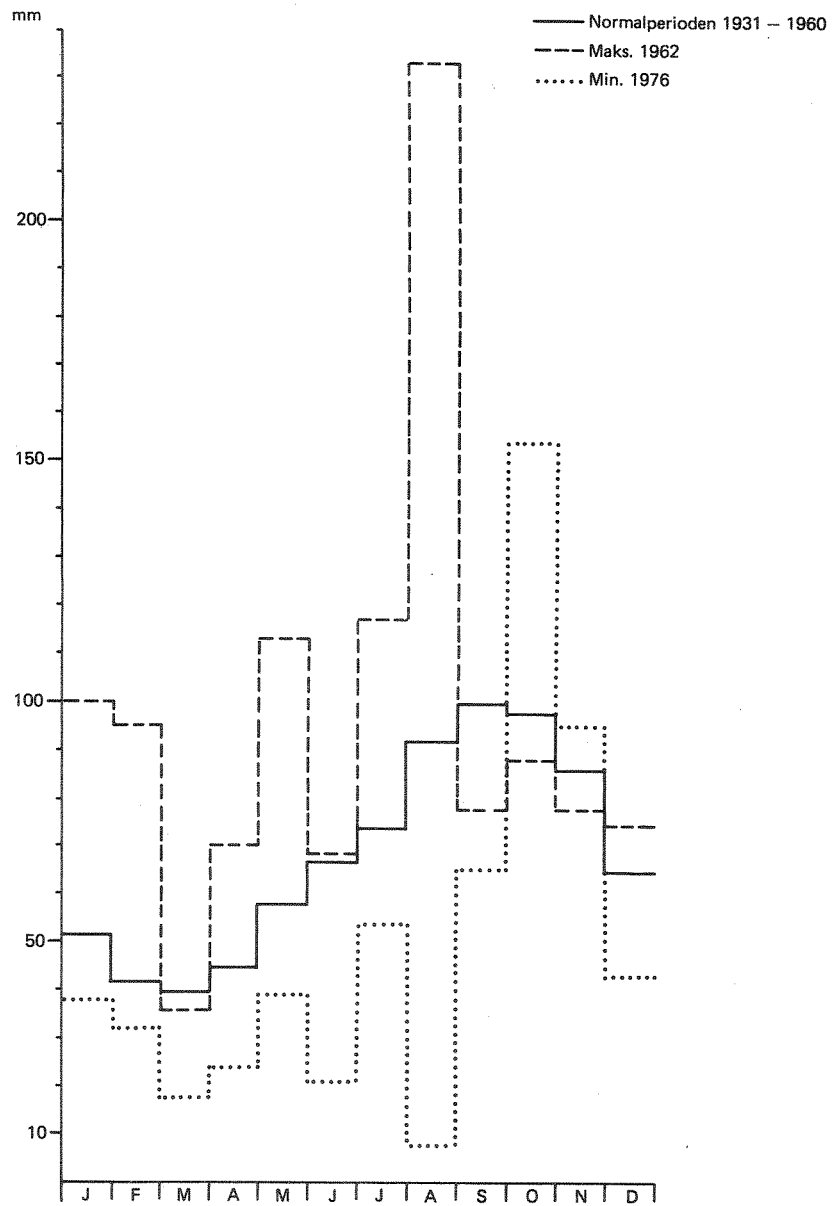
For å illustrere hvor stor innflytelse reguleringen av vassdraget har på de hydrologiske forhold kan det vises til fig. 8. Forskjellen mellom kurvene for tilløp og avløp representerer hovedsakelig virkningen som kontrollen med vannføring innebærer. Det er i noen grad oppnådd demping av flommer og økning av vannføring i lavvannsperioder.

Det er flere andre virksomheter i nedbørfeltet som - direkte eller indirekte - har betydning for de hydrologiske forhold. Art og omfang av dette er ikke undersøkt. Noen eksempler på inngrep som trenger oppmerksomhet kan imidlertid nevnes. Skogens virkninger for lokalklima og avrenningsforhold er velkjent. Med omfattende skogsdrift - særlig med anvendelse av metoder som innebærer flatehogst - kan det bli vesentlig påvirkninger av avrenningsforhold med konsekvenser for vannføring og flomsituasjoner. Grøftarbeider i myrområder og skogsmark virker inn, og det samme gjelder dreneringsarbeider i landbruket. I sammenheng med anlegg og veger og tettbebyggelser har avrenningsforhold blitt endret. På forskjellige måter blir overvann (Tollan 1975) ledet bort fra slike områder. Med den tiltakende bruk av nedbørfeltet til Haldenvassdraget vil slike inngrep i stigende grad gjøre seg gjeldende med konsekvenser for vassdraget.

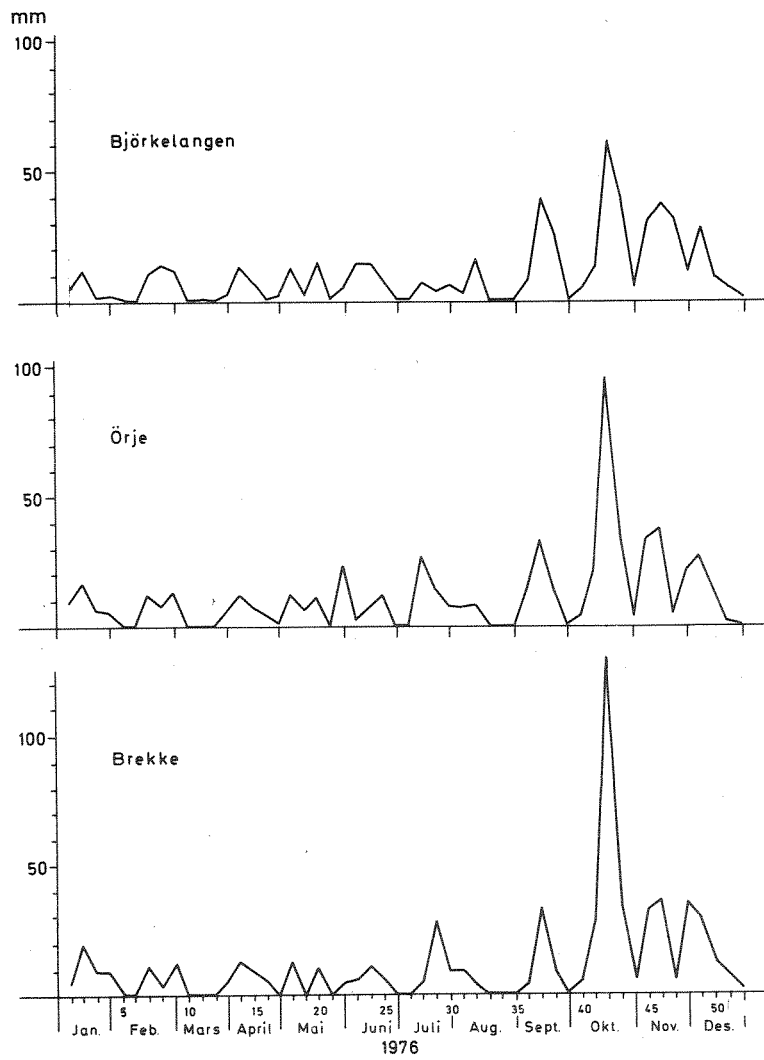
Haldenvassdraget er behandlet i Sperstad-utvalgets rapporter. Det knytter seg naturvitenskapelige interesser til vassdraget (Hasselknippe 1972), og det har verdi som friluft- og rekreasjonsområde for befolkningen i Akers-



Figur 4. Månedlig nedbør ved Ørje i perioden 1961-1980.

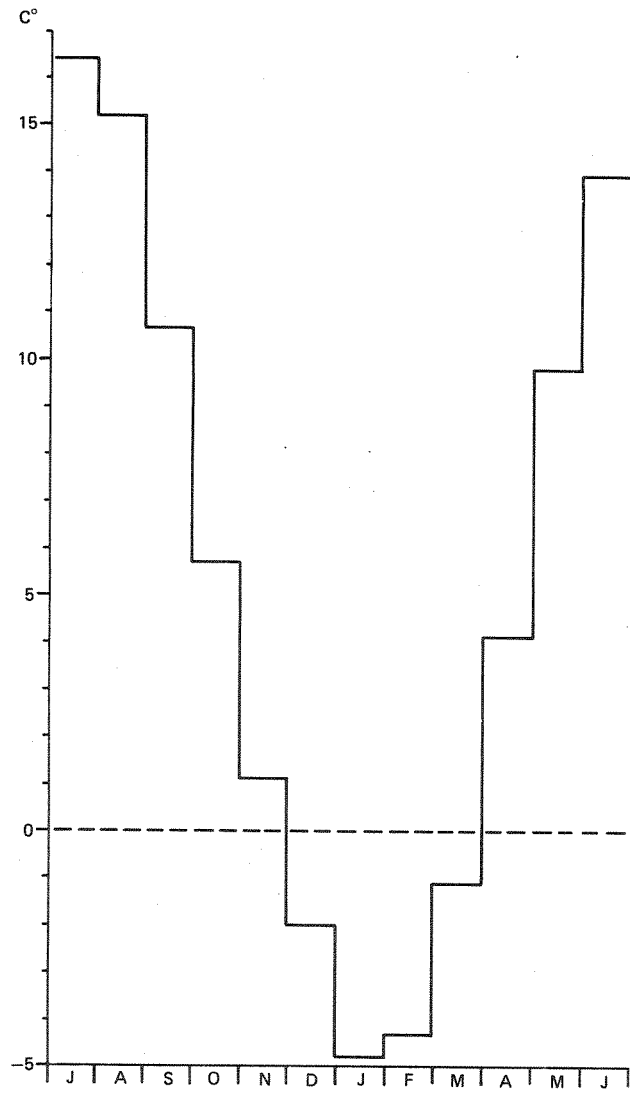


Figur 5. Nedbørsobservasjoner ved Haldenvassdraget 1976.

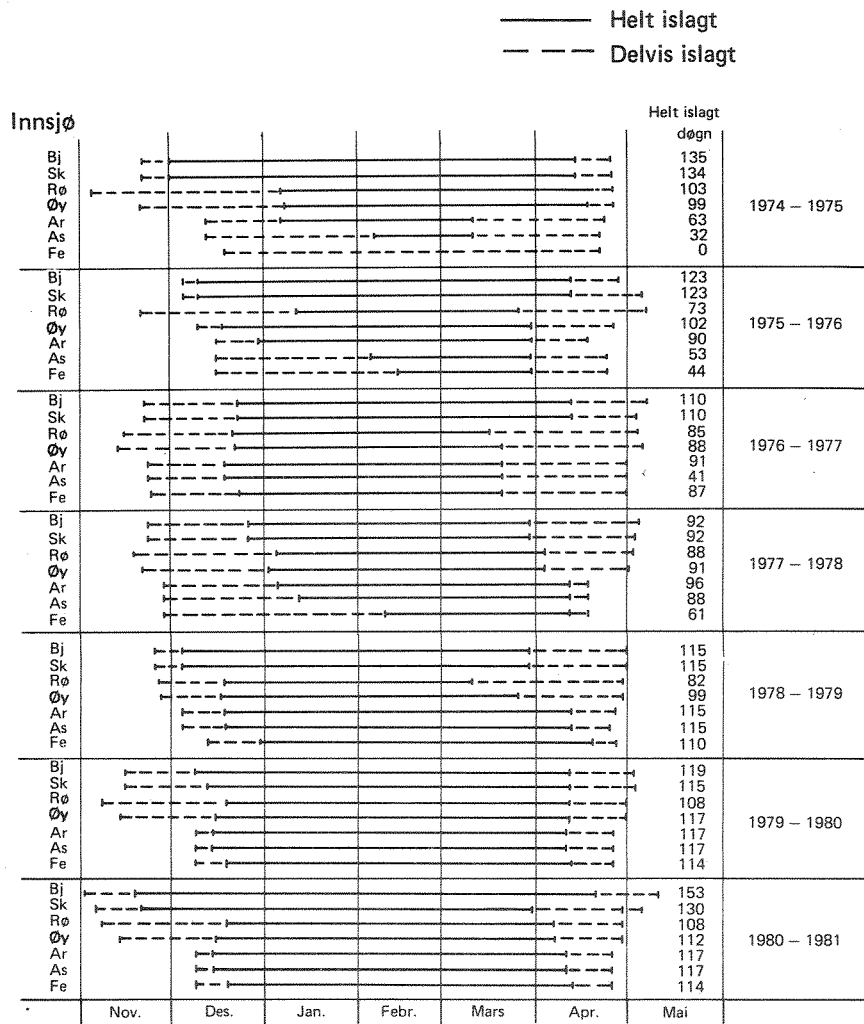


Figur 6. Normaltemperatur i perioden 1931-1960.

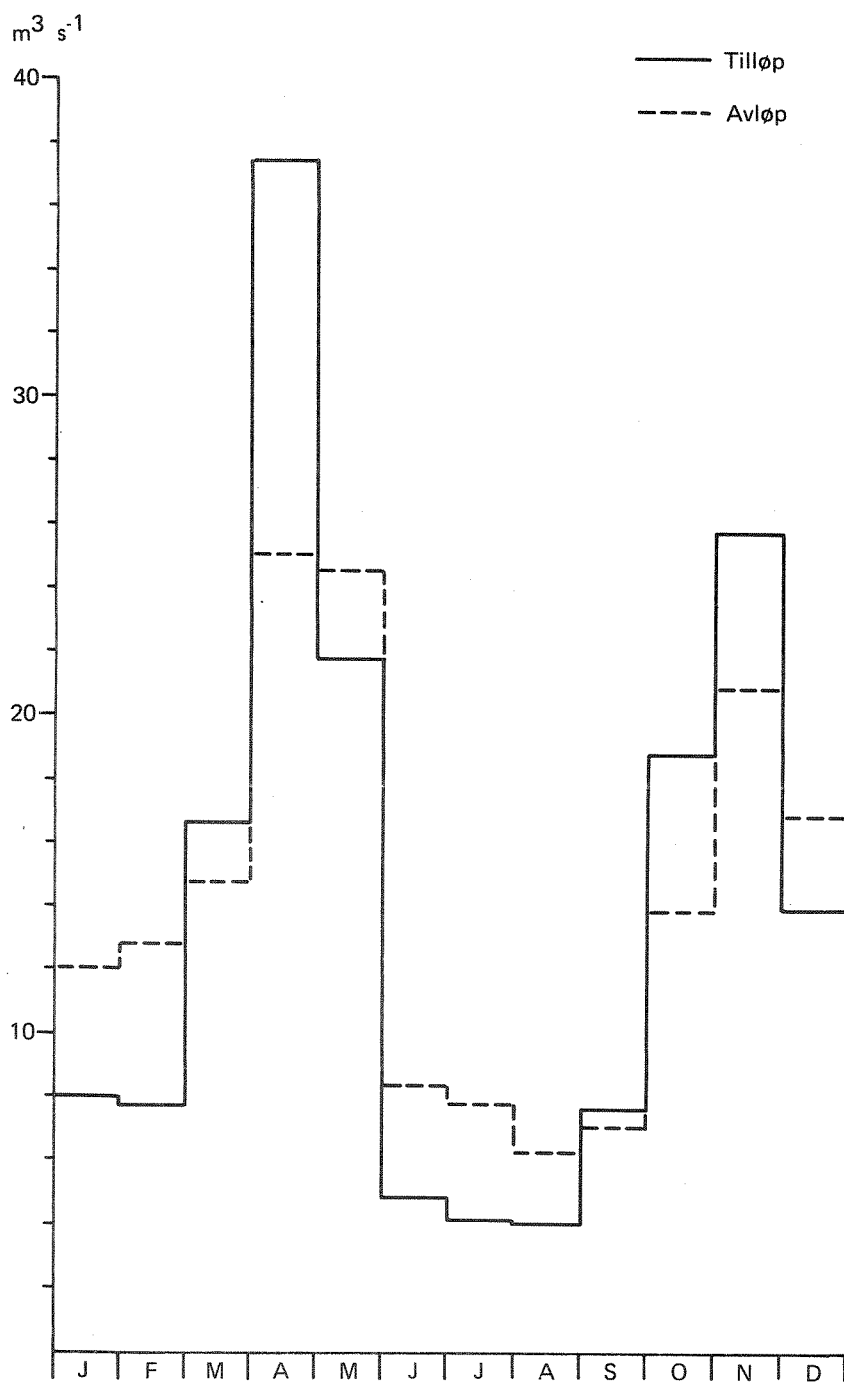
Observasjoner ved Eidsberg



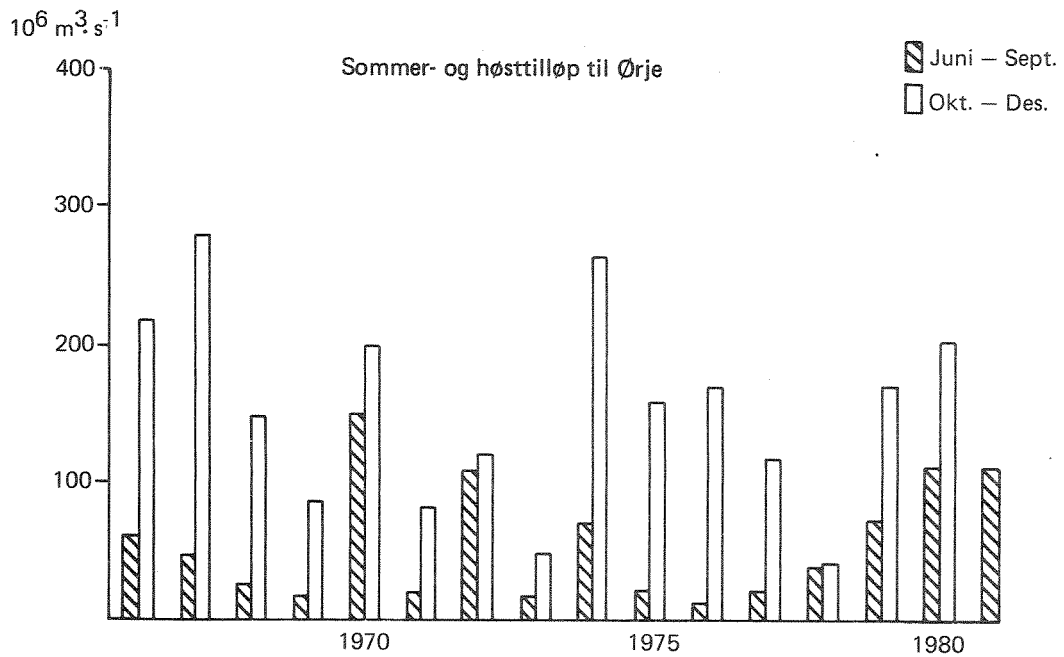
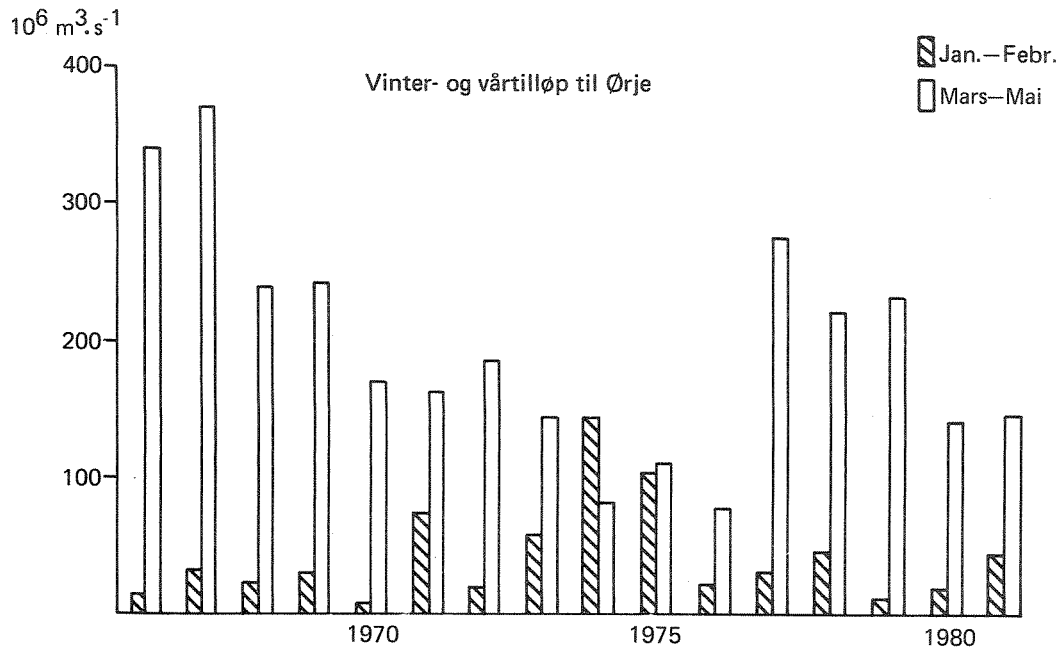
Figur 7. Isforholdene i Haldenvassdraget 1974-1981.



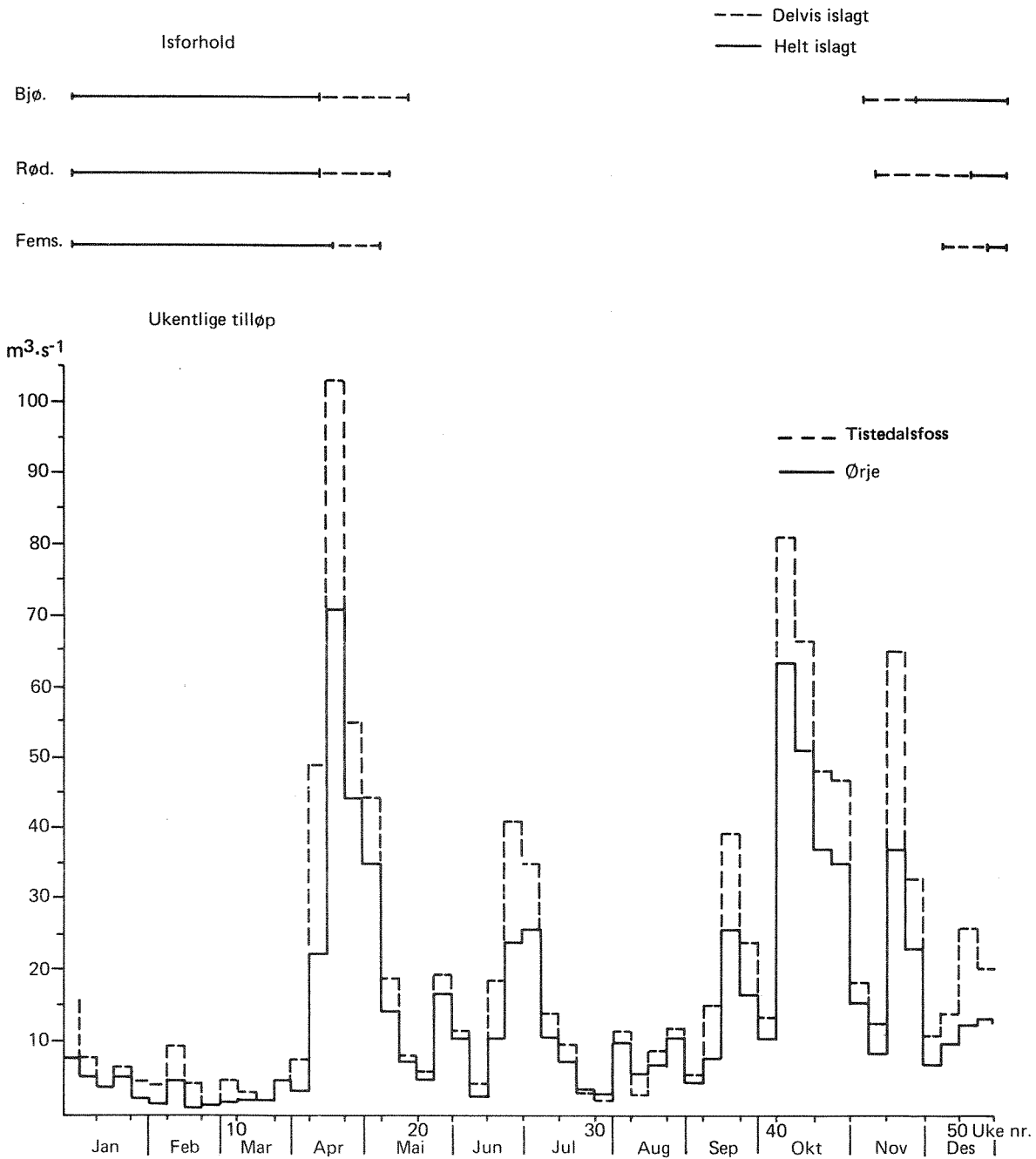
Figur 8. Månedlig tilløp og avløp ved Ørje i perioden 1966-1981.



Figur 9. Sesongvariasjoner i vanntilløp til Ørje 1966-1981.



Figur 10. Ukentlige tilløp til Tistedalsfoss og Ørje i 1980.



hus og Østfold (Abrahamsen 1972). Verneplan I ble vedtatt av Stortinget 6. april 1973, og Haldenvassdraget ble som objekt nr. 1 varig vernet mot inngrep ved kraftutbygging (Industrikomiteen 1972).

### 3.5 Nedbørfelt og livsgrunnlag

"Tistedalselven (Teistaaen) har grundlagt Halden. Allerede tidlig var Laksefisket i den strømsterke Elv anset for en Herlighed ved Egnen."

(Munthe 1906)

Haldenvassdraget har naturlig stor betydning for samfunnsutviklingen i de tilgrensende deler av Akershus og Østfold. Dette fremgår bl.a. tydelig ved et studium av bosettingsforholdene. Både spredt bebyggelse og tettstedutvikling følger det geografiske mønster som elvene og innsjøene i hovedvassdraget danner (Lillevold 1961). Vannforekomstene er en del av livsgrunnlaget, de tjener vannforsyning, husholdning (bl.a. industri, matfiske) og resipientformål. Det er viktig å understreke at foruten de direkte enkelte bruksinteresser knyttet til vassdragene, er det en helhetlig og overordnet sammenheng mellom vannforekomstene og menneskelig livsutfoldelse i et geografisk område (nedbørfelt - vassdrag som økosystem).

Når det gjelder naturgrunnlag og samfunnsforhold i nedbørfeltet, vises det til de utarbeidede oversikter i forbindelse med kommunenes generalplaner (bl.a. Aurskog-Høland kommune 1973, Marker kommune 1977, Aremark kommune 1976 og Halden kommune 1967). I disse utredninger blir det gitt detaljerte og konkrete opplysninger.

Som en bakgrunn for forståelsen av Haldenvassdragets påvirkning gjennom menneskelig virksomhet, vil det bli gitt en kortfattet oppsummering av noen hovedtrekk i landskapsutvikling og bosettingsforhold i nedbørfeltet.

Haldenvassdragets nedbørfelt omfatter i dag landskapsgradienter fra naturnære landskap til teknifiserte og urbane kulturlandskap. Tidlig ble enkelte områder tatt i bruk til jordbruksformål. Allerede i yngre steinalder (omlag 2000 f.Kr.) blir jordbruk hovednæring i Østfold. Skog ryddes, og bosetting basert på jordbruk (kornavl) brer seg til områder med lett-



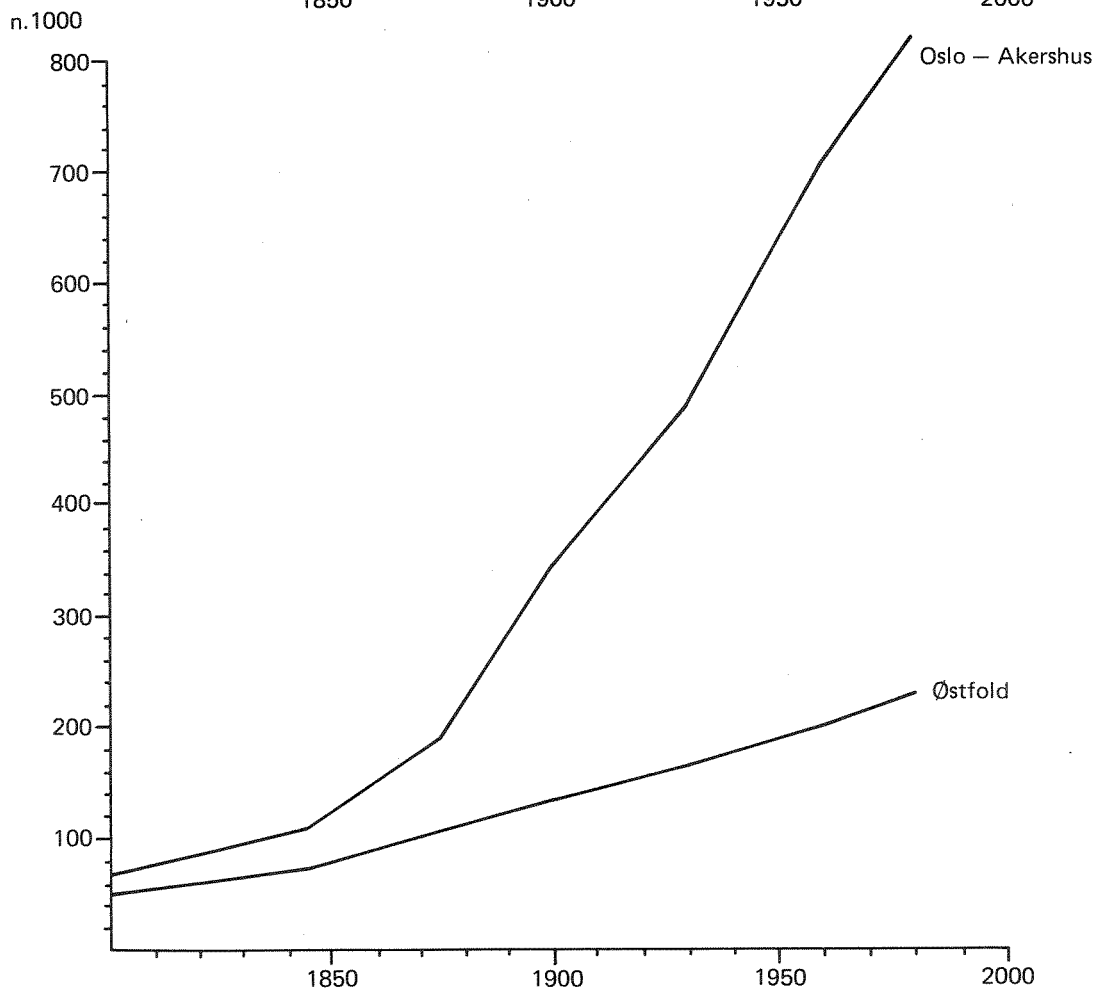
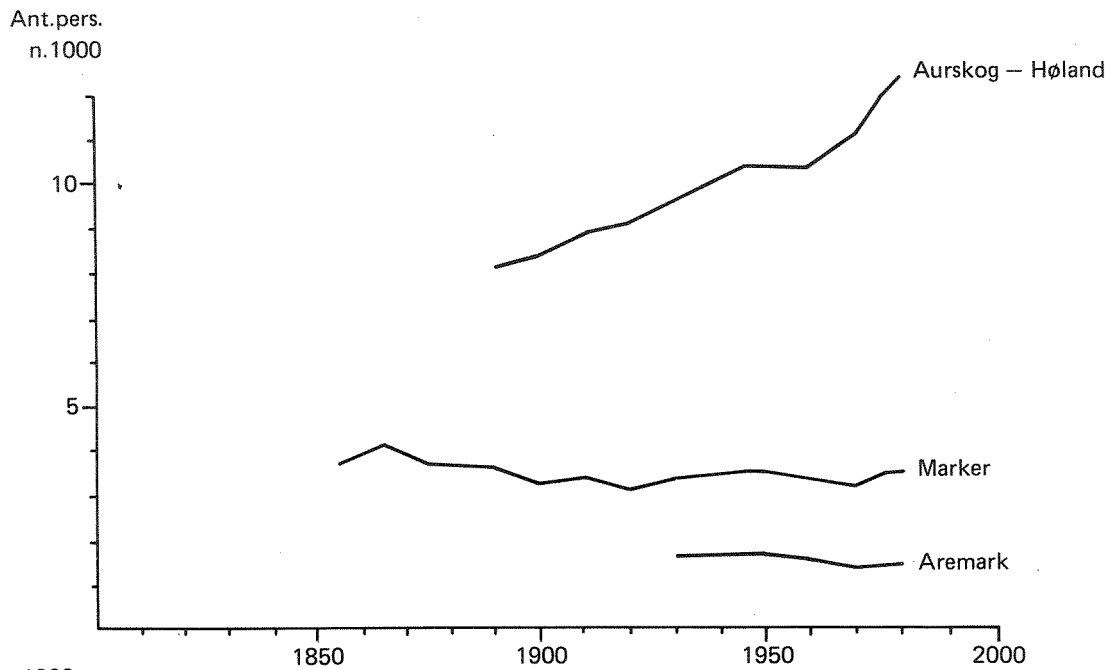
drevet jord. Helleristinger fra bronsealderen forteller om at bl.a. pløying med ard og trekkdyr var tatt i bruk. Overgangen til organisert jordbruk medførte at en større folkemengde kunne utvikle seg. Akerbruk trenger tilførsel av gjødsel. Det ble etablert lokale næringskjeder ved å knytte sammen husdyrhold og åkerbruk. I løpet av de første hundreår i vår tidsregning ble de opprinnelige gårdene - "urgårdene" - grunnlagt (Asheim 1978). Bosettingen videre kan bl.a. beskrives ut fra jordsmonn, gårdsnavn og kulturminner. I hovedtrekk må samfunnsutviklingen i Haldenvassdragets nedbørfelt ha fulgt denne generelle tendens. Men tildels i større utstrekning enn andre steder i Akershus og Østfold bidro nok jakt og fiske med utbytte til den daglige husholdning.

Vurdert geografisk har jordbruket i Norge marginal karakter, grensen for åkerbruk skjærer gjennom landet. Lav varmesum om sommeren - sammen med fare for frostnetter - gjør åkerbruk til en delvis usikker leveveg. Den eldste historie er rik på beretninger om uår og misvekst. I senmiddelalderen var det f.eks. en markert klimaforverring (ca. 1100-1500). Sammen med farsotter (svartedauen 1349-1350) førte dette til en delvis avfolkning også i Haldenvassdragets nedbørfelt (Eliassen 1978).

De første statistiske oversikter over befolkningen i Østfold stammer fra 1664-1666 (Kiær 1885). Det regnes da med bortimot 26.000 innbyggere i Smaalenenes amt (d.v.s. omlag det samme antall mennesker som bor i Haldenvassdragets nedbørfelt i dag).

I figur 11 er befolkningsutviklingen siden 1850 fremstilt grafisk. Det gjorde seg gjeldende en jevnt økende tilvekst i folkemengden i perioden. Særlig rask har den vært i Akershus, noe mer langsom i Østfold. Tendensen for utviklingen i Haldenvassdragets nedbørfelt har gjennomgående vært nær opp til forholdene slik de har vært i Østfold. Det er karakteristisk at befolkningsøkningen i nyeste tid har kommet i visse områder, mens andre områder har vist stillstand - eventuelt svak tilbakegang - i befolkningsmengde. De øvre deler av nedbørfeltet kan tjene som eksempel på hvor det har vært økning i folkemengden (omlag 1,4% i gjennomsnittlig årlig tilvekst, Aurskog-Høland kommune 1973). Nedgang i folkemengde har funnet sted i deler av de midtre områder av nedbørfeltet (f.eks. i Aremark, Aremark kommune 1976).

Figur 11. Befolkningsutvikling i perioden 1850-1980.



Arealutnyttelse og bosettingsforhold i kommunene fremgår av tabell 5. Av Haldenvassdragets nedbørfelt utgjør omlag 10% dyrket mark og omlag 63% skog (inkludert myr- og våtmarker). Vannarealene er relativt store, for enkelte kommuner inntil 14-18% av det samlede areal. De viktigste jordbruksområder har samtidig størst bebyggelse. Folketettheten varierer mye langs hovedvassdraget. Noen eksempler kan nevnes. Tallene angir personer per km<sup>2</sup>: Utløp Bjørkelangen 17, utløp Øgderen 10, utløp Mjærmen 4, Rødenessjøen - Øymarksjøen 12, Øymarksjøen - Asperen 5 og Asperen - utløp Femsjøen 3. Nedbørfeltet har gjennomgående spredt bebyggelse. De største tettbebyggelser er Aurskog, Bjørkelangen, Løken, Ørje og Haldenområdet.

Jordbruk og skogbruk er de viktigste næringsveier i nedbørfeltet. Industrivirksomhet er knyttet til lokale områder, og konsentrert ved vassdraget bare i Halden.

Tabell 5. Arealfordeling og folkemengde i Aremark, Aurskog-Høland, Halden, Marker og Østfold fylke.

LOKALITET	Arealfordeling km <sup>2</sup>				Befolkning		
	I alt	Vann	Jordbruk	Skog	Sum	Tettbebyg.	Spredtbebyg.
Østfold	4183,4	293 7%	774 19%	2283 55%	233329	174997 75%	58332 25%
Aremark	321,3	44,1 14%	21 7%	230 72%	1488	600 34%	888 66%
Aurskog-Høland	961,2	63,26 6,6%	91,45 9,5%	624,08 64,9%	12398	3283 26%	9115 74%
Halden	641	83 13%	62 10%	352 55%	26345	20772 79%	5573 21%
Marker	413,1	74,2 18%	38,1 9%	272 66%	3459	1269 37%	2190 63%
Haldenvassdragets nedbørfelt	1594,3	122,4 8%	162,1 10%	1017,8 63%	17900	9100 51%	8800 49%

Betydningen som Haldenvassdraget har i næringer og dagligliv kommer også frem gjennom de organisasjoner for forvaltning av vassdraget som er dannet. De kan nevnes i denne sammenheng:

- Haldenvassdragets Fløtningsforening med sin nåværende organisasjonsform ble stiftet i 1859. Den er en direkte fortsettelse av en eldre fløtningsorganisasjon som ble drevet felles av en rekke sagbrukseiere. I forbindelse med opphevelse av sagbruksprivilegiene med virkning fra 1860 ble Saugbrugsforeningen A/S opprettet som aksjeselskap i 1859. Fløtningsforeningen ble stiftet samme år.
- Haldenvassdragets Kanalselskap - aksjeselskap dannet 1852 - med formål å bringe istand kanalisering av Haldenvassdraget og drift av kanalanleggene.
- Halden Hovedvassdrags Brukseierforening og Tistas Brugseierforening. Dette er sammenslutninger av vannfallseiere med formål å utføre vassdragsreguleringer og drift av eksisterende reguleringsanlegg. Tistas Brugseierforening ble etablert 1893, og Halden Hovedvassdrags Brukseierforening ble dannet i 1928.
- A/S Tista Kanal som ble stiftet 1906 hadde som formål å gjennomføre kanalisering av Tistedalselven og fortsatt drift av kanalanlegget.
- Haldenvassdragets Vassdragsforbund ble opprettet 1972. Det er et samarbeidsorgan for kommunene Aremark, Aurskog-Høland, Halden og Märker samt fylkene Akershus og Østfold. Vassdragsforbundets formål er bl.a. å arbeide for å være et kontaktorgan for vassdraget, og å komme med forslag til målsetting for vassdraget og gi retningslinjer for utnyttelsen av nedbørfeltet ut fra hensyn til vassdraget.

Det er i stor grad skogsdriften og fløtningsmulighetene som har gitt Haldenvassdraget den sentrale betydning i distriktets næringsliv (Parmer 1959). I denne forbindelse er det nødvendig spesielt å nevne Saugbrugsforeningen A/S. Dette er en av de største og eldste treforedlingsbedrifter i landet. Denne industri ble grunnlagt på tømmeret fra Haldenvassdragets nedbørfelt, og fortsatt er det de vide skogene ved vassdraget som er fundamentet for virksomheten.

## 4. VANNKVALITET OG FORURESNINGSVIRKNINGER

### 4.1 Generelt

Økologisk forskning understreker stadig sammenheng og helhet i naturen. Vi kan ikke påvirke noen enkelt art eller komponent i miljøet uten at dette får virkninger for andre arter og komponenter. Ethvert inngrep vi foretar i naturen vil, foruten de tilsiktede virkninger, også ha utilsiktede sekundærvirkninger.

Ved arbeidet med vernet om vannforekomstene er det viktig å ha dette for øyet. En konsekvens som følger, er at det er nødvendig å behandle nedbørfeltet som et hele og vassdraget som et recipientsystem. Dette har betydning for oppgavene med å ta hånd om forurensningene. Det enkelte forurensningsbidrag kan ikke vurderes isolert. Forurensningsvirkningene som et utslipp betinger, er bestemt av forurensningenes art og mengde, men også av naturforholdene i vassdraget, og hvordan vannmassene er påvirket av sivilisatorisk virksomhet forøvrig (Skulberg 1974 I).

### 4.2 Vassdraget som elv-innsjøsystem

Alle prosesser og fenomener i vassdraget er bundet sammen i et årsaks-virkningsforhold. Vassdraget utgjør et system som produserer en effekt, det er et økosystem (Van Dyne 1969). Planter og dyr som lever i vassdraget, det geologiske og organiske underlag, og hele det fysiske-kjemiske miljø danner økosystemet.

Vassdraget er et åpent økosystem som strekker seg over et stort geografisk område (nedbørfeltet). Dette innebærer at spesielle prinsipper for regulering og sirkulasjon gjør seg gjeldende i stoff- og energi-strømmen gjennom systemet. Men også for vassdragsøkosystemet er det nødvendig å behandle organismesamfunnene og det fysisk-kjemiske miljø som et integrert system.

Vassdraget har en komplisert struktur og dynamikk hvor utskiftning av vann og oppholdstider i stor utstrekning er avgjørende for prosessenens forløp. Vannmassenes utskiftningsforhold har bl.a. betydning for hvordan miljøfaktorer virker, sted hvor prosesser foregår og når de finner sted.

Vannet som kommer fra nedbørfeltet er bestemmende for vannføringen i vassdraget, det danner utgangspunkt - kvalitativt og kvantitativt - for vannets beskaffenhet. Vannkvaliteten vil være et resultat av dette utgangspunkt sammen med virkningene som prosessene i vannmassene selv medfører. Dette gjør at vannmassenes oppholdstid blir av vesentlig betydning. Enhver prosess trenger tid; jo kortere tid som står til rådighet, jo mindre kan f.eks. et utviklingsforløp bli.

I grove trekk kan Haldenvassdraget betraktes som sammensatt av en elvedel som er 52 km lang - Aurskogelv, Hølandselv, Steinselv og Tista- samt en innsjødel som er 85 km lang - Floen, Skulerudvatnet, Rødenessjøen, Øymarksjøen, Aremarksjøen, Asperen og Femsjøen. I tabell 6 er vannmassenes teoretiske oppholdstider i innsjøene stilt sammen. Observasjonsperioden 1966-1980 er lagt til grunn for det årlige gjennomsnittlige tilløp.

Tabell 6. Vannmassenes teoretiske oppholdstider i innsjøene.

Innsjøbasseng	* Årlig gjennomsnittlig tilløp $n \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Bassengvolum $n \cdot 10^6 \text{ m}^3$	Teoretisk oppholdstid år
Floen	21,3	26	1,2
Bjørkelangen	124,1	25	0,2
Skulerudvatnet	385,2	18	0,05
Rødenessjøen	450,9	312	0,7
Øymarksjøen	495,6	219	0,4
Aremarksjøen	529,8	135	0,3
Asperen	576,0	140	0,2
Femsjøen	666,2	200	0,3

\* Observasjonsperiode 1966-1980.

(NIVA 1979 II)

Det er viktig å skjelle mellom begrepene tilløp og avløp i vassdraget. Tilløp av vann er vannmengden vi kan måle som er kommet til systemet i et bestemt tidsrom. Det er imidlertid avløp som regelmessig måles og rapporteres ved vannmerkene i Haldenvassdraget. Avløp i denne forbindelse er vannmengden som benyttes i kraftstasjoner, sammen med en vannmengde som eventuelt ikke kan magasineres.

De aktuelle utskiftningsforhold er av avgjørende betydning for de dynamiske prosesser som vannkvalitet og organismeliv bl.a. er et resultat av.

På grunn av den relativt lave magasinkapasitet (se fig. 8) er det en nær sammenheng mellom avløp og tilløp i vassdraget. Av en samlet vannmengde på omlag 733 mill. m<sup>3</sup> som i gjennomsnitt kommer til Tistedalsfoss per år, kan det magasineres omlag 137 mill. m<sup>3</sup>. Dette utgjør omlag 19% av den samlede, gjennomsnittlige vannmengde i nedbørfeltet. I et vannfattig år (f.eks. 1947) vil imidlertid med et årstilløp på 271 mill. m<sup>3</sup>, magasinkapasiteten tilsvarende være omlag 50%. På samme måte i et nedbørrikt år (f.eks. 1927), med 1324 mill. m<sup>3</sup> årstilløp, vil denne magasinkapasitet utgjøre omlag 10%.

Den samlede utskiftningsstid for vannmassene i Haldenvassdraget er på teoretisk grunnlag beregnet å være omlag 2 år. Men hvordan arter det seg under de aktuelle forhold? På grunn av innsjøenes termiske lagdeling i sommer- og vintersituasjonene vil det i disse perioder bare tilnærmet være overflatelaget (epilimnion) som byttes ut. Full utskiftning av vannmassene vil det bare kunne bli under forhold uten velutviklet termisk sjiktning i innsjøene, d.v.s. i periodene med vår- og høst-fullsirkulasjon. I tabell 7 er vannmassenes utskiftningsprosent fordelt på vår- og høstsituasjonen, samt den beregnede oppholdstid på dette grunnlag fremstilt.

Tabell 7. Utskiftning av vannvolumer i vår- og høstsituasjonen, og beregnet oppholdstid.

Innsjøbasseng	Vår %	Høst %	Beregnet oppholdstid år
Floen	36	28	1,6
Bjørkelangen	220	170	0,26
Skulerudvatnet	947	727	0,06
Rødenessjøen	64	49	0,9
Øymarksjøen	93	84	0,57
Aremarksjøen	161	145	0,33
Asperen	169	152	0,3
Femsjøen	146	118	0,38

Verdiene i tabell 7 gir likevel bare et skjematisk bilde. Grunnen er at de er basert på middeltilstander i hydrologiske forhold i vassdraget, noe som bare meget sjelden inntreffer. Det finner f.eks. bare sted når i samme år både vårflom og høstflom er av middels størrelse.

De variasjonsmuligheter i utskiftningsforholdene som foreligger, er beregnet og fremstilt grafisk i fig. 12 for innsjøene Floen, Bjørkelangen, Rødenessjøen og Femsjøen.

Figuren viser intensitet og sannsynlighet i vannmassenes utskiftning. Det fremgår f.eks. at i Bjørkelangens tilfelle under vårsituasjon i ti av hundre år blir utskiftningen 310% eller mer. Det vil samtidig si at i nitti av hundre år blir utskiftningen 310% eller mindre. Tilsvarende for Rødenessjøen blir i ti av hundre år utskiftningen 97% eller mer. Det innebærer for Rødenessjøen at i nitti av hundre år blir vannmassenes utskiftning 97% eller mindre. Under høstsituasjonen blir for alle innsjøene utskiftningsintensiteten gjennomgående lavere sammenliknet med forholdene under vårsituasjonen.

De aktuelle utskiftningsforhold er av avgjørende betydning for de dynamiske prosesser som vannkvalitet og organismeliv bl.a. er et resultat av.

#### 4.3 Om innsjøenes forhold

"de store sjøer, nogen smilende og aapne, sivklædte, med or og bjerk og asp og rogn omkring, andre mørke og dystre med utal av viker og holmer og trange løp og med barskog kransende de krokete strande."

(Holtedahl 1914)

#### Morfometri og størrelse

Det er mange årsaker til at innsjøene i Haldenvassdraget fra limnologisk side har tiltrukket seg forholdsvis mye oppmerksomhet gjennom tidene. Dette innebærer at en betydelig informasjonsmengde om naturforholdene er tilgjengelig. Noen av de viktigste skriftlige kilder kan kort nevnes.



Rødenessjøen er undersøkt i geomorfologisk sammenheng (Krog 1941). Det ble bl.a. utarbeidet dybdekart for innsjøen, og dette er publisert (Krog 1944). Fysiske og kjemiske undersøkelser av Bjørkelangen ble utført av Duklæt (1964), og det ble laget et dybdekart. Også Øgderen ble undersøkt i samme tidsrom (Kollerud 1964). Det foreligger et dybdekart, og en beskrivelse av hydrografiske forhold. Femsjøen ble undersøkt på et senere tidspunkt (Sønsterud 1968). Dybdekart for Femsjøen var da utarbeidet (NIVA 1967). For en detaljert behandling av de enkelte innsjøer vises det til disse skrifter.

I det følgende blir det gjort en samlet fremstilling av noen grunnleggende forhold i hovedvassdragets innsjøer. I tabell 8 er det gitt enkelte geografiske opplysninger om innsjøene. Det fremgår at en stor variasjon i morfometriske forhold gjør seg gjeldende. For å gi et inntrykk av disse innsjøenes relative størrelsesforhold, er de på fig. 13 tegnet inn i samme målestokk. Deres beliggenhet i forhold til himmelretning fremgår også. Øgderen har sitt utløp mot nord, de øvrige har utløp i sin sørlige del av bassenget. Rødenessjøen, Øymarksjøen og Femsjøen er blant de største innsjøer i Østfold.

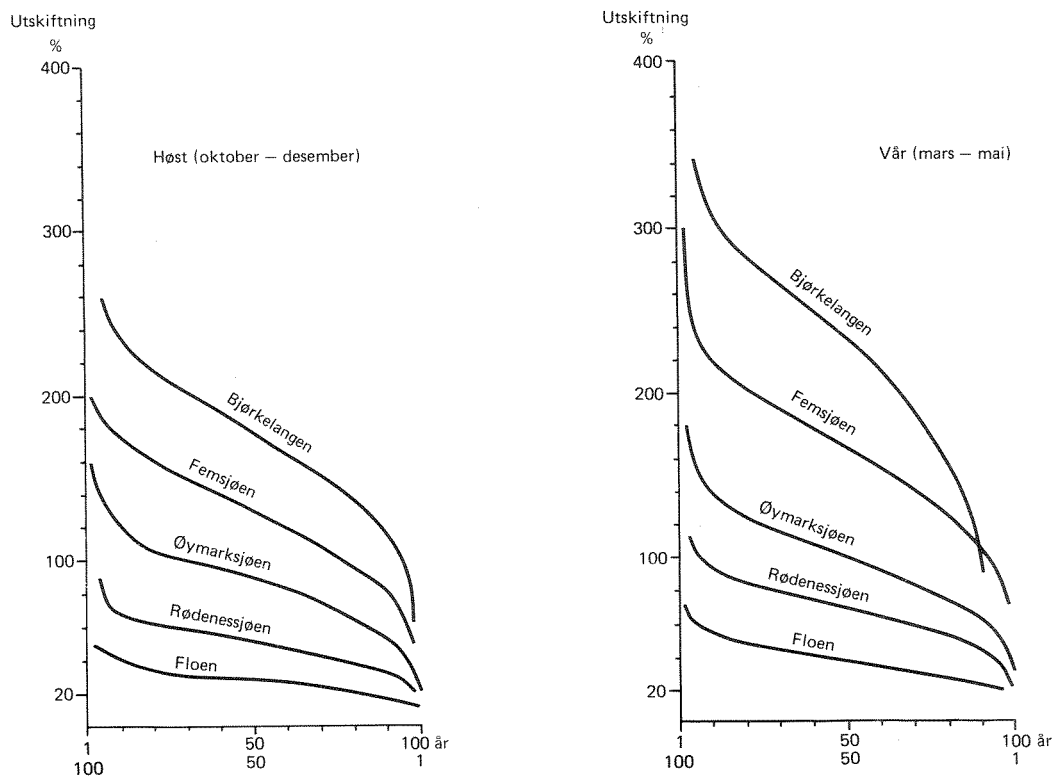
I figurene 14-23 er det gjengitt dybdekart av Floen, Bjørkelangen, Skulerudvatnet, Rødenessjøen, Øymarksjøen, Aremarksjøen, Asperen, Femsjøen, Helgetjernet og Øgderen.

#### Hydrografiske forhold

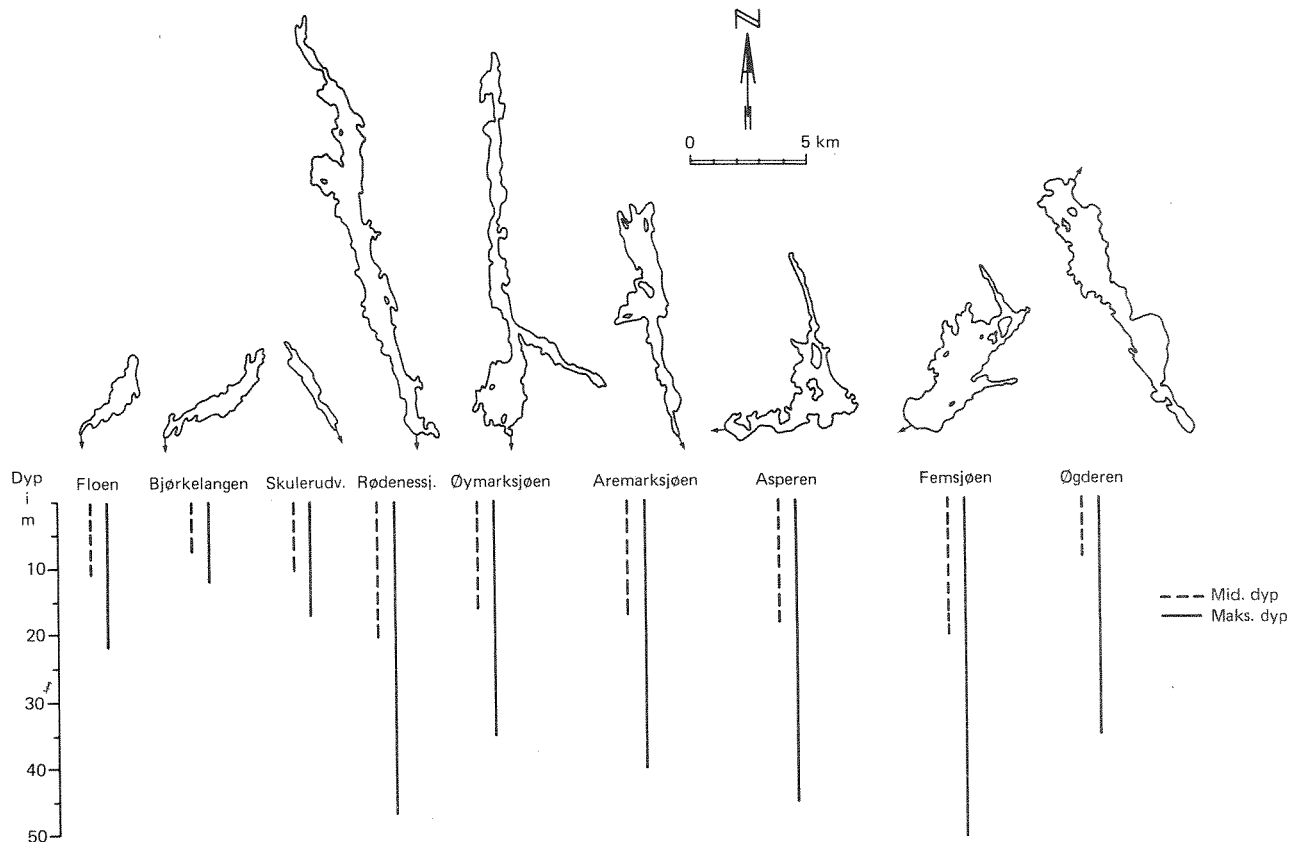
Temperaturen i innsjøene viser utpregede variasjoner mot dypet og gjennom året. I hovedtrekkene følger temperaturgangen det normale mønster for tempererte innsjøer. Det er fullsirkulasjon om våren og høsten (dimiktisk innsjøtype), og stagnasjonsperioder om vinteren og sommeren. Forskjeller i vannmassenes temperaturforhold i løpet av året er vist i fig. 24, hvor temperaturobservasjoner i mars og august er fremstilt for innsjøene i hovedvassdraget.

Figur 12. Utskiftningsforhold i hovedvassdragets innsjøer.

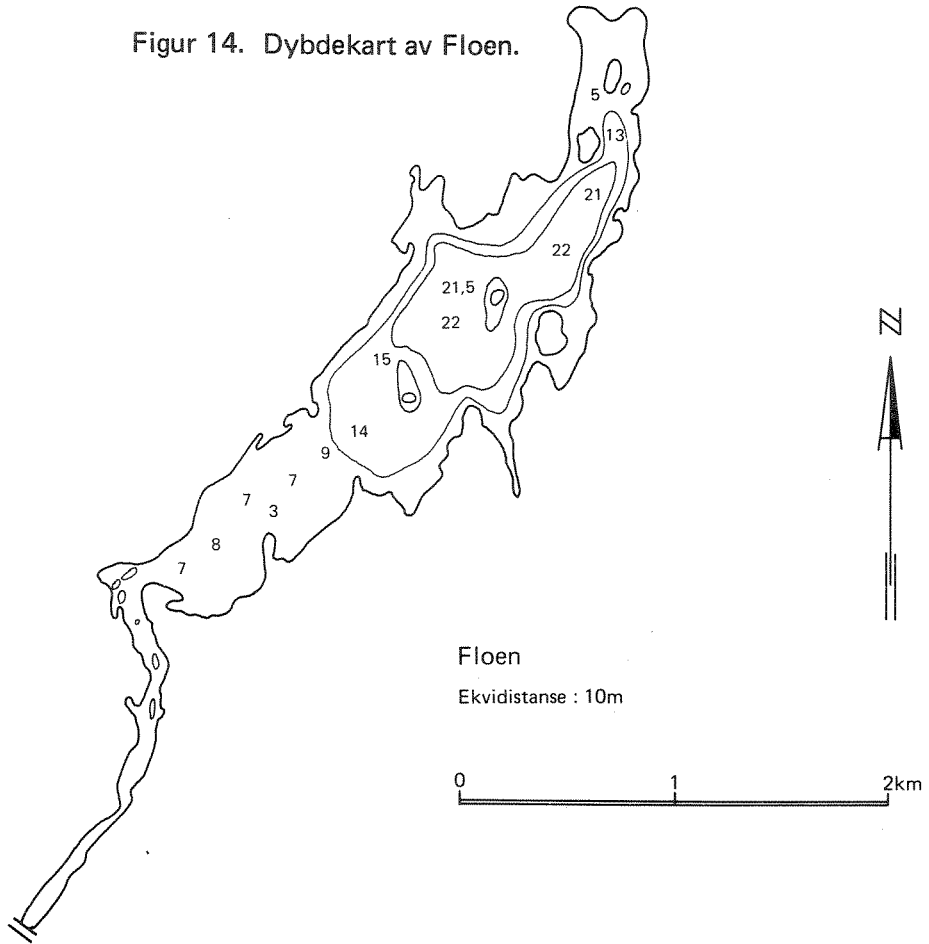
Beregnet ut fra observasjonsperiode 1926-1980.



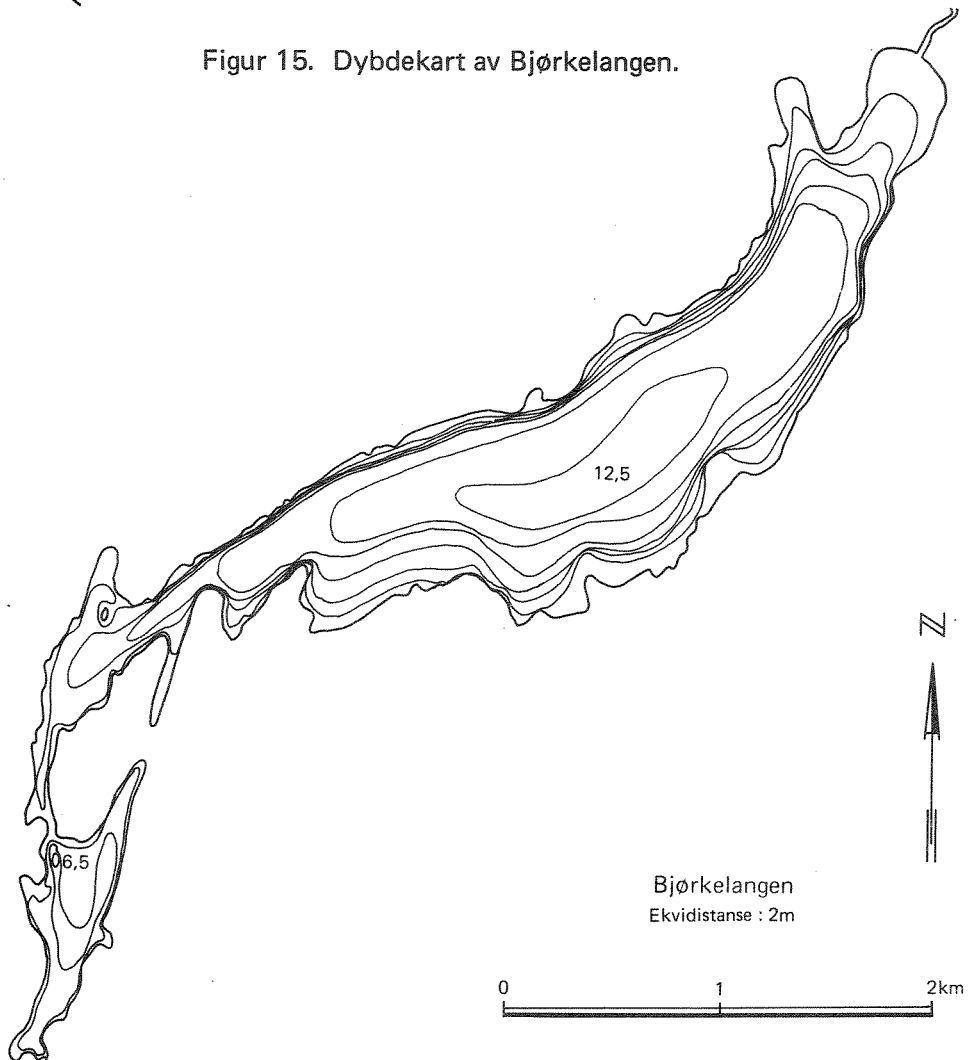
Figur 13. Sammenlikning av størrelsesforhold mellom innsjøene i hovedvassdraget.



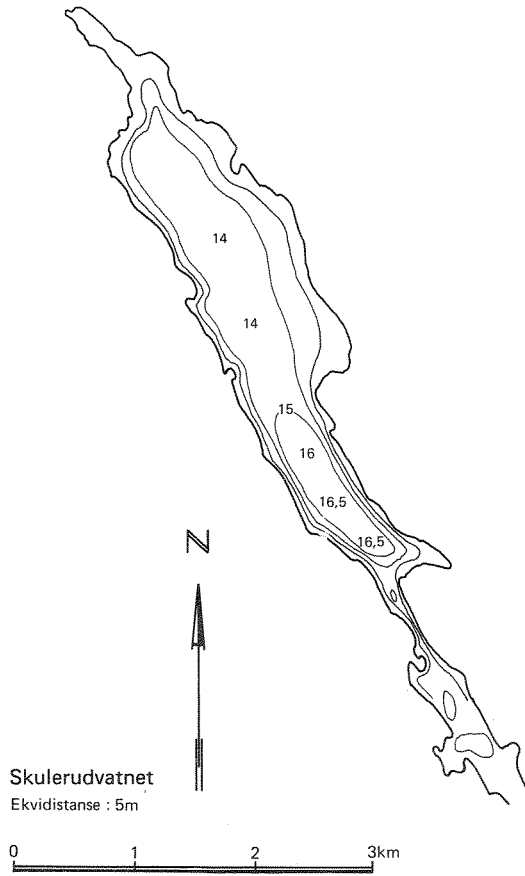
Figur 14. Dybdekart av Floen.



Figur 15. Dybdekart av Bjørkelangen.



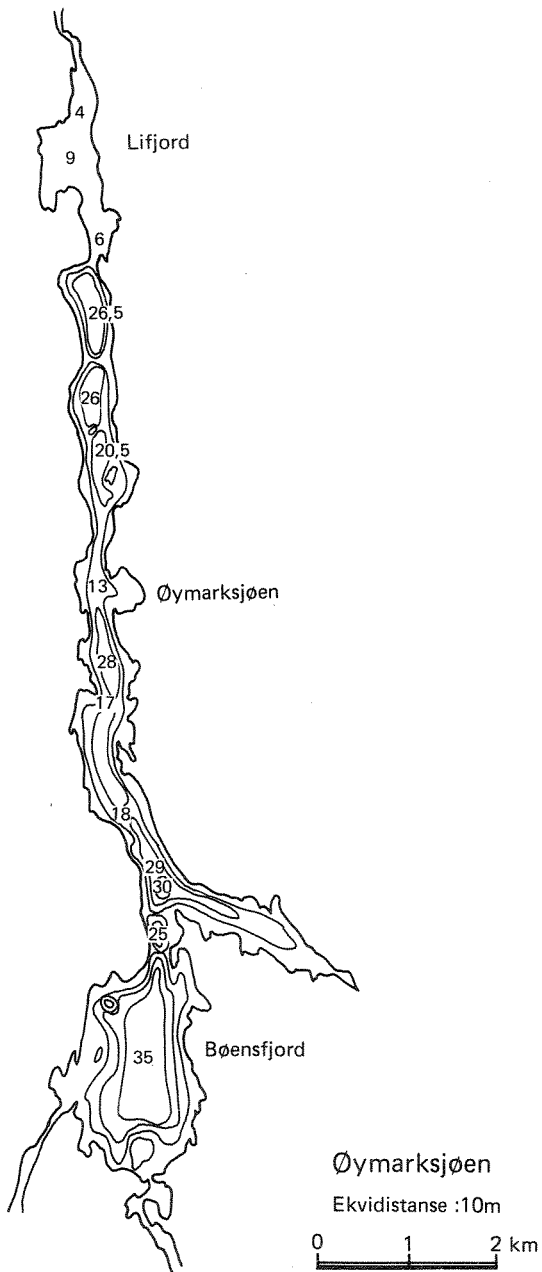
Figur 16. Dybdekart av Skulerudvatnet.



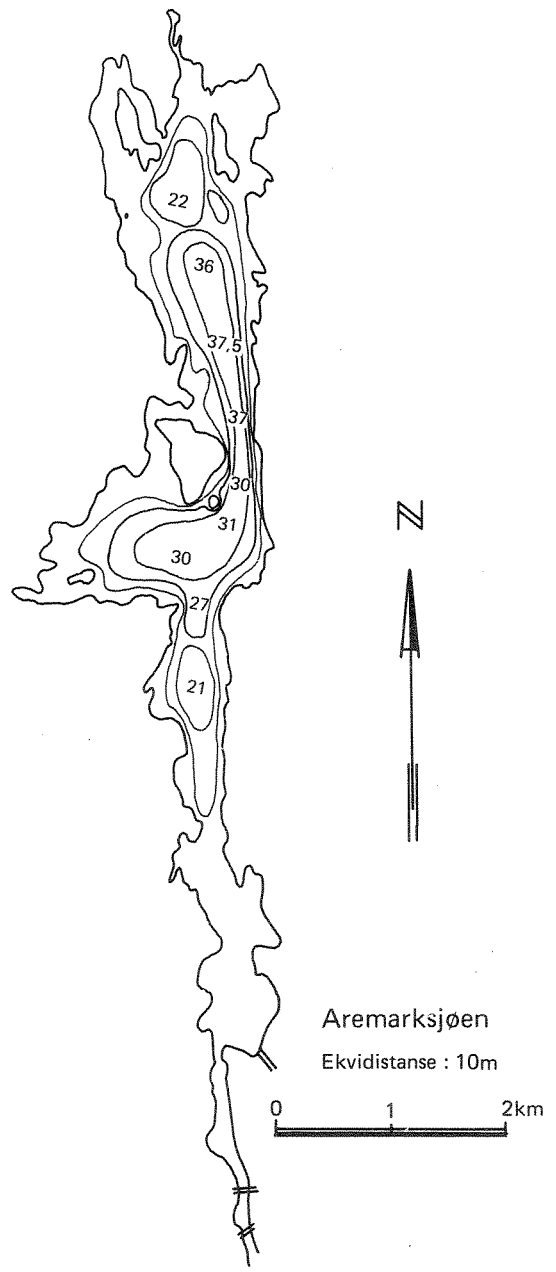
Figur 17. Dybdekart av Rødenessjøen.



Figur 18. Dybdekart av Øymarksjøen



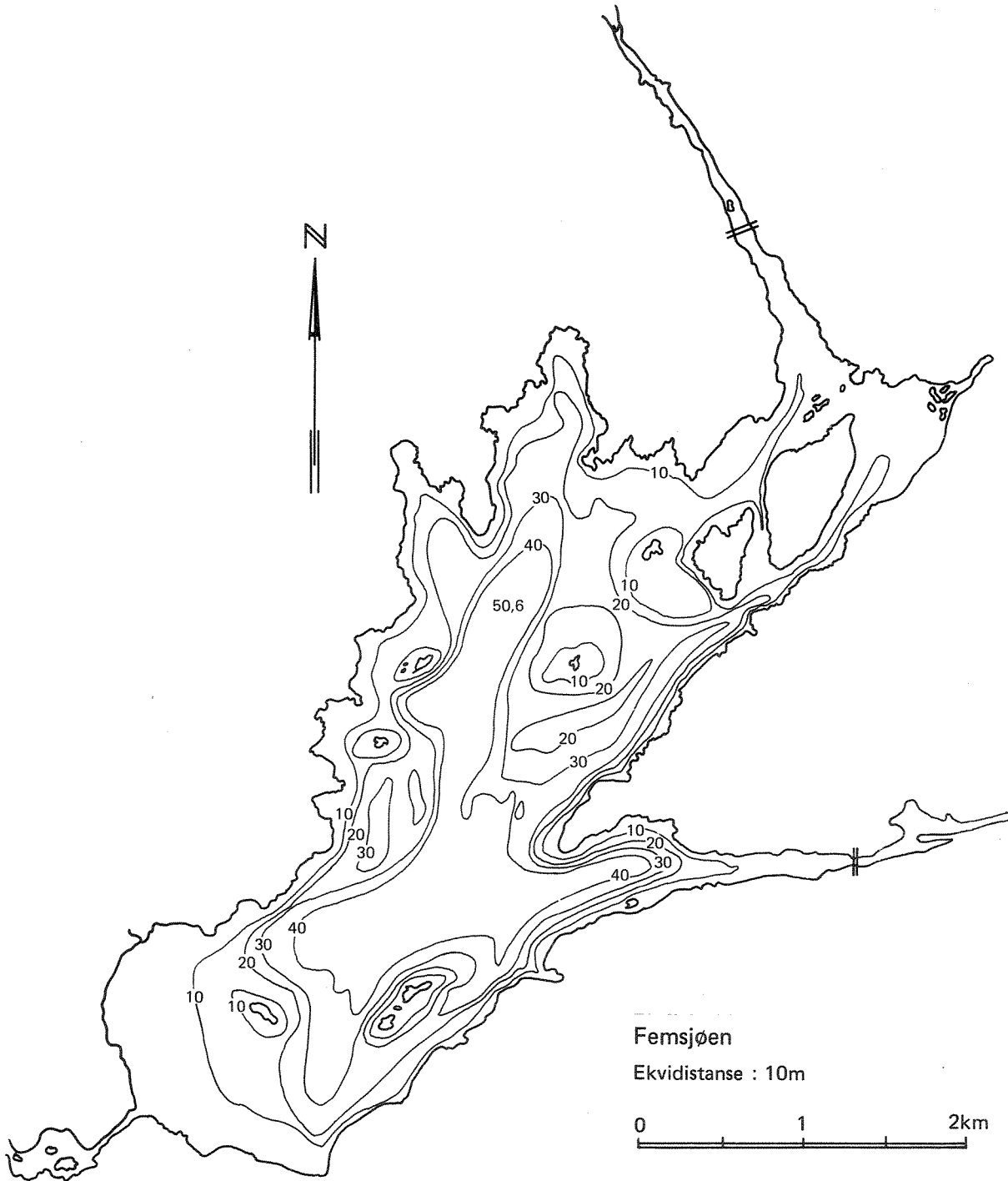
Figur 19. Dybdekart av Aremarksjøen



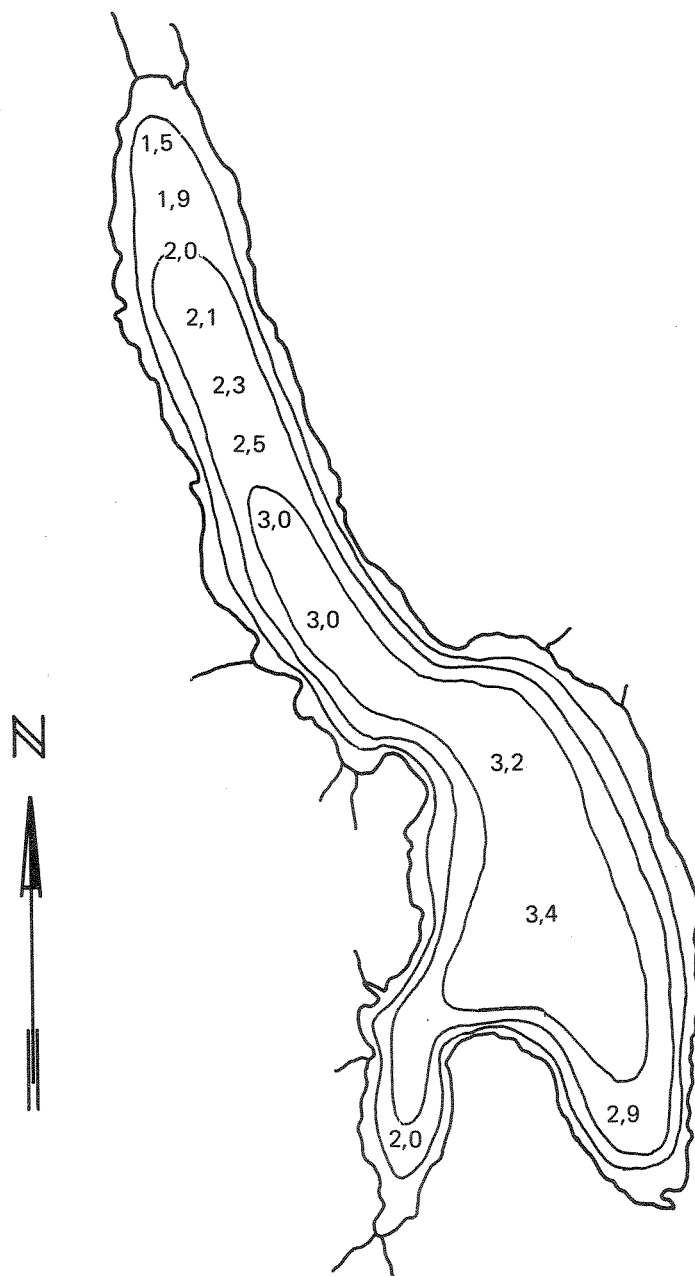
Figur 20. Dybdekart av Asperen (ufullstendig).



Figur 21. Dybdekart av Femsjøen

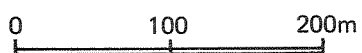


Figur 22. Dybdekart av Helgetjernet.



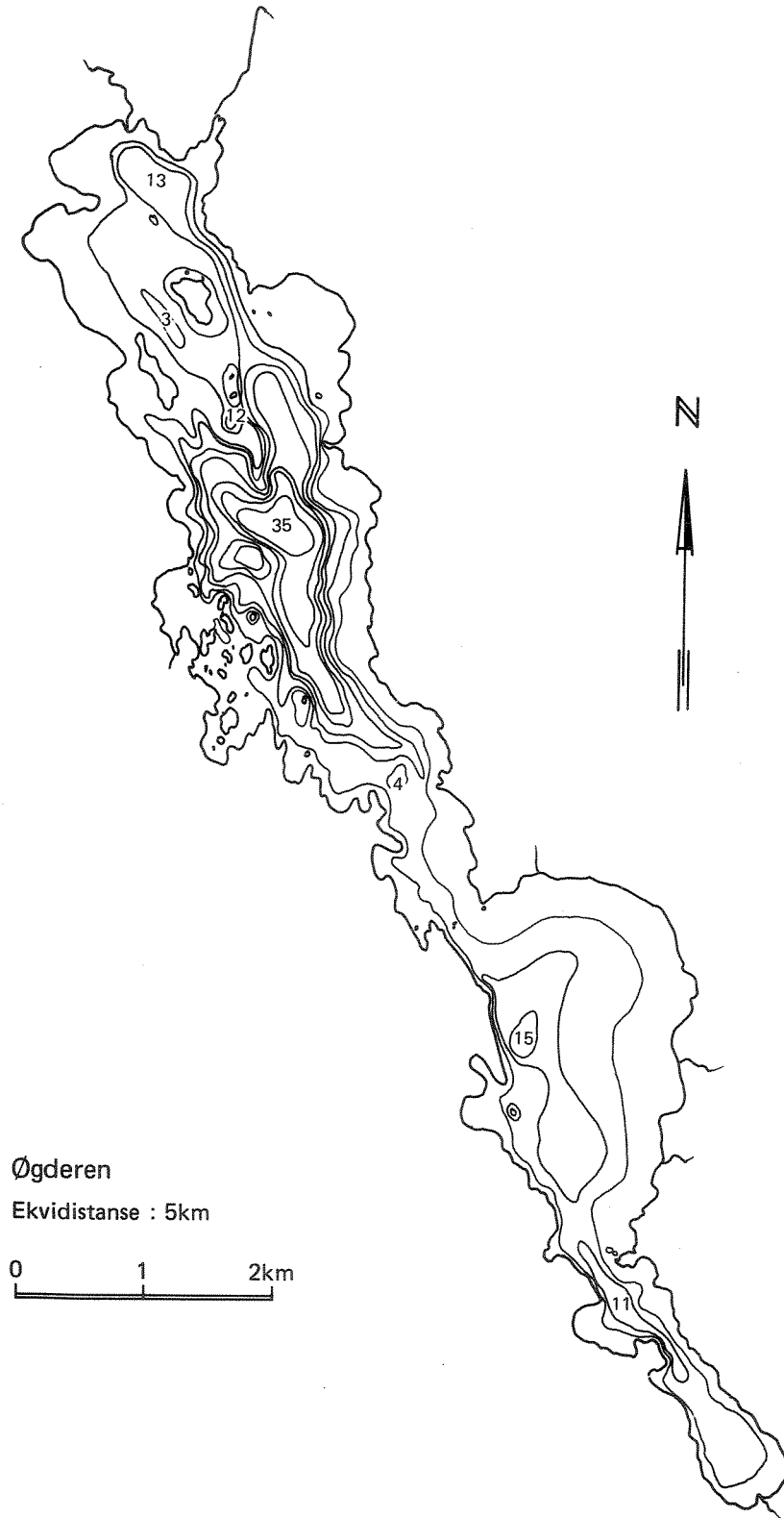
Helgetjernet

Ekvidistans : 1m





Figur 23. Dybdekart av Øgderen.



Tabell 8. Morfometriske opplysninger om innsjøene i hovedvassdraget.

Faktor Lokalitet	Høyde over havet m	Største lengde km	Største bredde km	Overflate areal km <sup>2</sup>	Største dyp m	Middel dyp m	Volum n·10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Floen	179	4	1	2,4	22	11	26
Bjørkelangen	124	5	1	3,3	12	7	25
Skulerudvatnet	118	4	0,75	1,7	17	10	18
Rødenessjøen	118	18	2	15,3	47	20,4	312
Lifjorden	107	3	0,75	1,5	10	5	7
Øymarksjøen	107	17	2,1	13,6	35	16	219
Aremarksjøen	105	8	1,75	7,8	40	17	135
Asperen	105	8	3	8	45	18	140
Femsjøen	79	6,8	10	10,2	50	20	200
Øgderen	133	12	2	13,3	35	8	103

(NIVA 1979 II)

Vannmassene har tydelige lagdelinger i stagnasjonsperiodene. Dette kommer bl.a. frem gjennom observasjonene av temperatur og konsentrasjon av kjemiske stoffer i de forskjellige dyp av innsjøene. Forholdet er fremstilt for en grunn innsjø (Bjørkelangen) og en dyp innsjø (Rødenessjøen) i henholdsvis fig. 25 og 26. Resultatene av temperaturmålinger og bestemmelse av oksygeninnhold (prosent metning) er brukt som eksempler. Utvalgte observasjonsdager som representerer vinter- og sommersituasjon er benyttet. Meteorologiske faktorer og innsjøenes egenart medfører de variasjoner i sjiktningsforholdene som er observert. Det er karakteristisk at sprangsjiktet er mest tydelig utviklet under sommersituasjonen i vassdragets innsjøer. Også meget grunne innsjøer kan da ha velutviklet sprangsjikt (f.eks. Helgetjernet, største dyp 3,4 m), selv om det er av kort varighet.

Kurvene for oksygenmetning (fig. 25 og 26) viser gjennomgående høyere verdier i de øverste vannlag sammenliknet med forholdene dypere ned. Dette forløp for oksygeninnholdet i vannmassene (klinograd oksygenfordeling) er knyttet til innsjøer hvor det er tilstede betydelige mengder med oksyderbare organiske forbindelser. Både under vinterstagnasjon og sommerstagnasjon inn-

treffer det et betydelig oksygenforbruk i innsjøenes dypvannmasser. I noen tilfeller (f.eks. Bjørkelangen, Helgetjernet, Gjølssjøen) kan dette utvikles så langt at det oppstår råtne bunnvannmasser for kortere eller lengre perioder. Det er et gjennomgående trekk for innsjøene at oksygenforbruket er raskere og har større omfang under sommerstagnasjonen sammenliknet med vinterstagnasjonen. I fig. 27 er forholdet vist for Bjørkelangens vedkommende. Under sprangsjiktet om sommeren er det et sterkt oksygenvinn. De biologiske prosesser i samspill med temperaturbetingelsene er årsaken til denne tilstand. Det fremgår også at en betydelig overmetning med oksygen gjorde seg gjeldende i overflatelaget av Bjørkelangen under sommersituasjonen. Planktonalgens fotosynteseaktivitet er bestemmende for dette, under gode lysbetingelser finner det sted en utstrakt dannelse av oksygen gjennom algenes stoffskifte.

Den regionale situasjon i hovedvassdragets innsjøer når det gjelder oksygenforholdene kan illustreres med resultatene inntegnet i fig. 28. Tilstanden som er vist, representerer en langt fremskredet stagnasjon i vannmassene henholdsvis om ettervinteren og ettersommeren. Forskjellene mellom høyeste og laveste observerte verdi for oksygenmetning i den enkelte innsjø gir en indikasjon på lokalitetens eutrofipåvirkning. Etter dette er Bjørkelangen sterkest påvirket og Femsjøen tilsvarende minst påvirket.

Innsjøenes bassengutformning (fig. 13) har avgjørende betydning for de hydrografiske forhold. Noen observasjoner fra Bjørkelangen og Rødenessjøen i september 1981 kan vise dette. I fig. 29 er det gjengitt noen observasjoner av surhetsgrad, elektrolytisk ledningsevne, temperatur og oksygenmetning i forskjellige dyp av innsjøene. Den grunne innsjøen - Bjørkelangen - har fullsirkulasjon, vannmassene viser hovedsakelig ensartede forhold fra topp til bunn. I den dype innsjøen - Rødenessjøen - er den høstlige delsirkulasjon innledet. Sprangsjiktet har arbeidet seg ned til omlag 9 m dyp. Det er store forskjeller i fysiske og kjemiske faktorer i overflatelaget (0-9 m, epilimnion), overgangslaget (9-22 m, metalimnion) og dyplaget (22 m - bunn, hypolimnion).

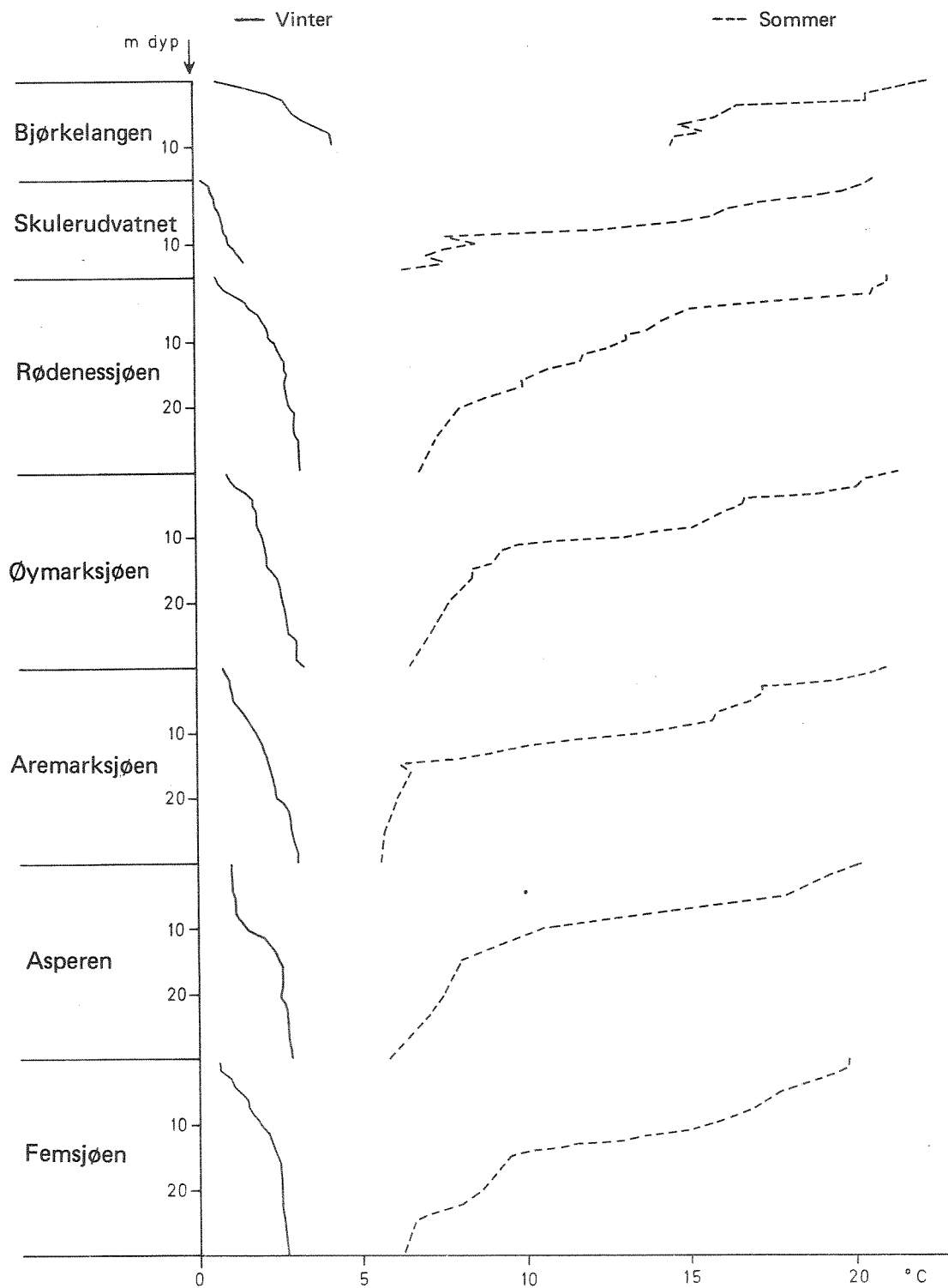
Innsjøens vannmasser er i stadig bevegelse med strøm og bølger. På denne måten er innsjøene typisk dynamiske systemer (Holtan 1973). Noen observasjoner av temperaturforhold i Rødenessjøen kan illustrere dette. I fig. 30 er det gjengitt resultater av temperaturmålinger i tidsrommet 10. oktober - 9. november 1979 utført over innsjøens dypeste område. Målingene ble gjort med en Aanderaamåler utstyrt med en termistorkjede som registrerte

temperaturen kontinuerlig. Kurvene på figuren viser temperaturvariasjonen i overflaten og i seks ulike dyp med fem meters innbyrdes vertikal avstand. Målingene ble gjort mens innsjøen gradvis ble avkjølt under den høstlige delsirkulasjon av vannmassene. Fullsirkulasjonen ble innledet 3. november, det var da tilnærmet samme temperatur i overflaten og i dyplagene (30 m). Observasjonene avdekker omfattende svingninger i temperatur i de forskjellige vannlag. I tidsrommet 21.-22. oktober ble f.eks. overflatevannet presset ned til omlag 20 m dyp, og forskyvningen i vannmassene ble påvist helt ned til 30 m dyp. Det var vedvarende vindpåvirkning som førte til forflytting av forholdsvis varmt overflatevann, og stuet det opp med vindstrømmen mot sør i Rødenessjøen. Overflatevann ble presset ned mot dypet, og i et annet område av innsjøen vil dypvannet komme opp mot overflaten (Holtan, l.c.). Temperatursvingningene er forårsaket av stående bølgebevegelser (indre seiches). På denne måten - avhengig av ytre påvirkninger - kommer vannmassene i stadig bevegelse med konsekvenser for transport og spredning av stoffer og organismer. Under den isfrie del av året vil slike forhold særlig gjøre seg gjeldende. Det er ikke foretatt målinger under vintersituasjonen.

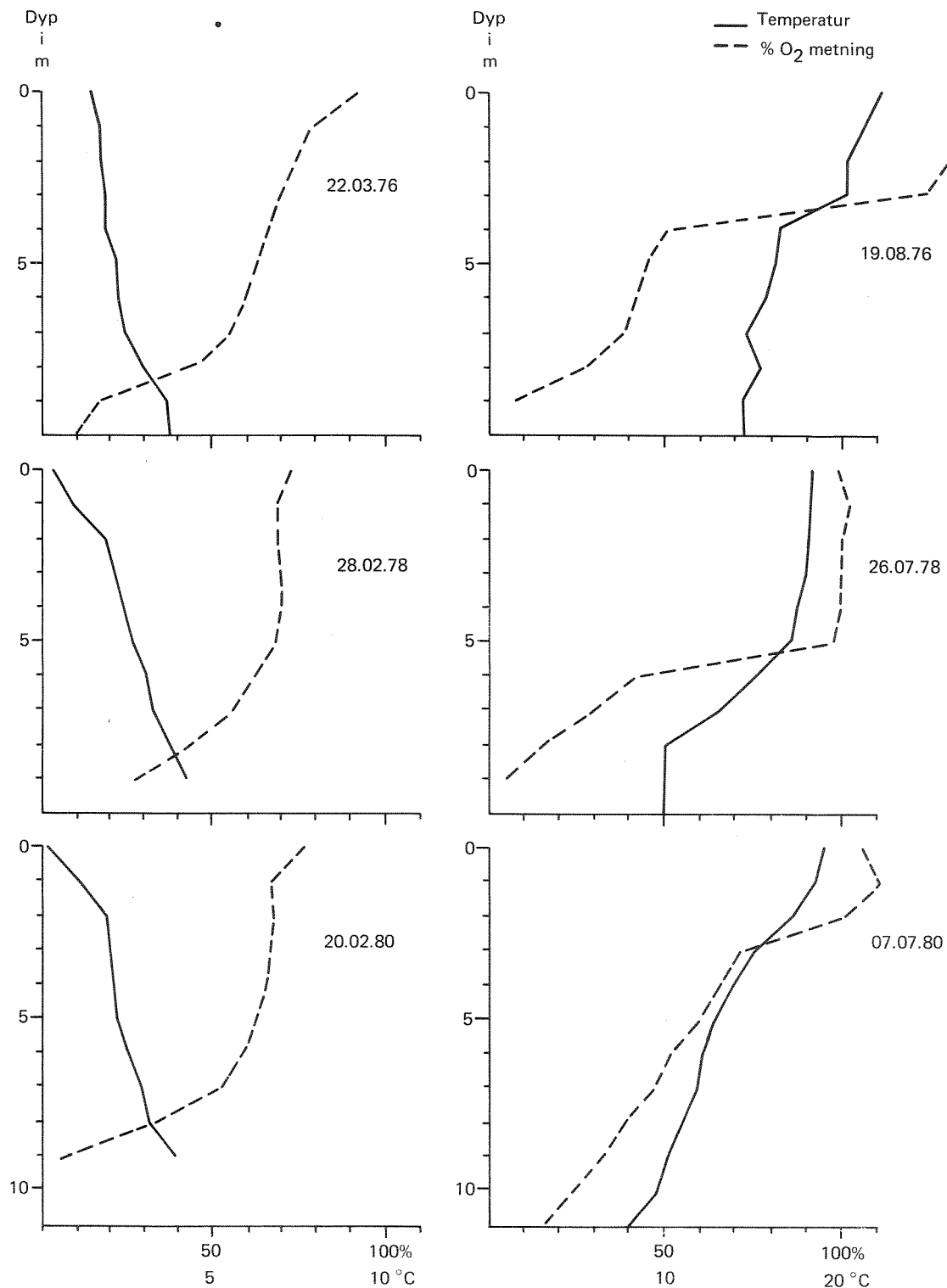
Teksten forts. side 73 .....

Figur 24. Sommer- og vintertemperatur i innsjøene.

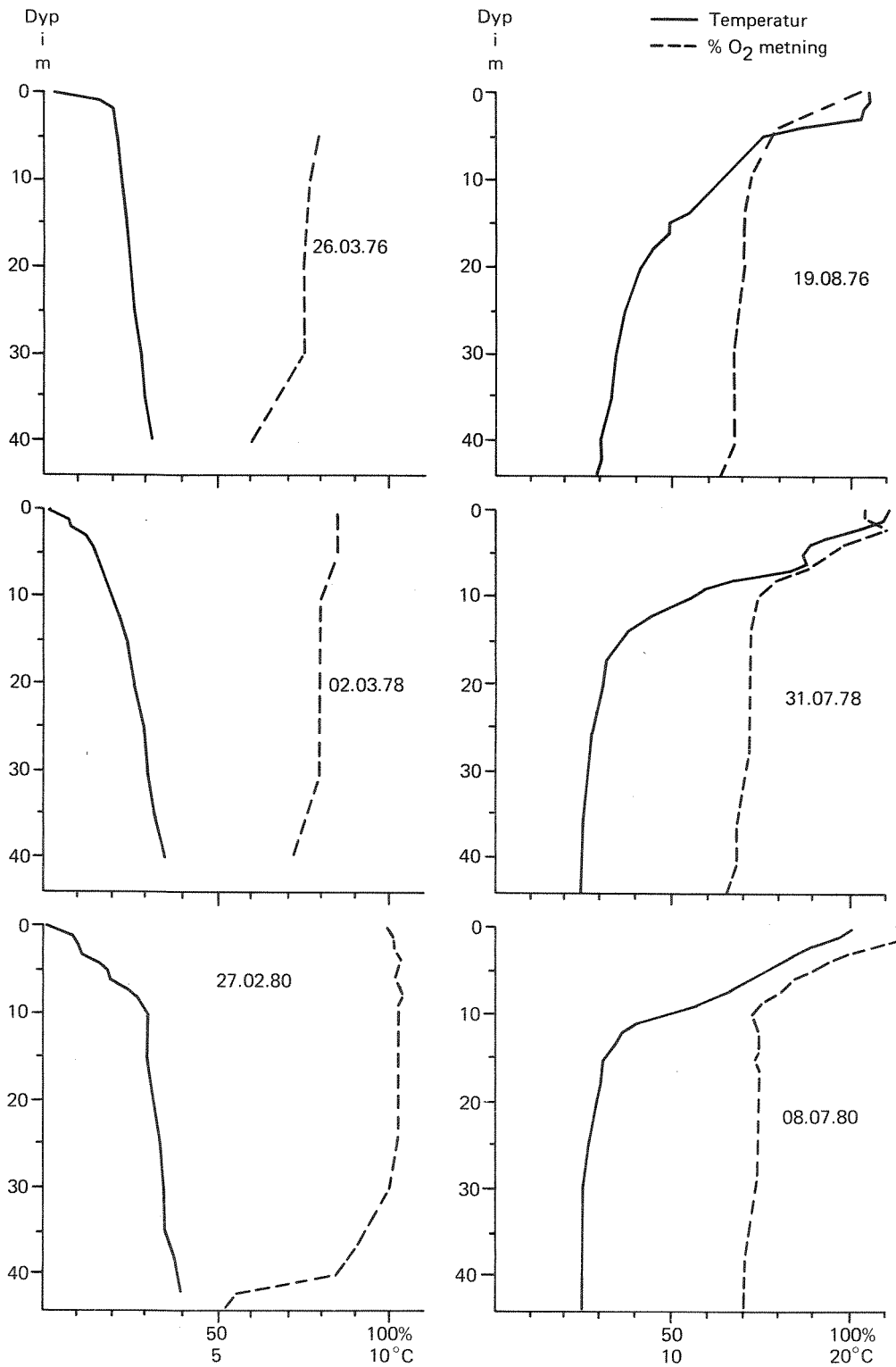
Observert 19.8 1976 og 24.3 1977



Figur 25. Bjørkelangen. Temperatur og oksygenmetning om vinteren og sommeren.

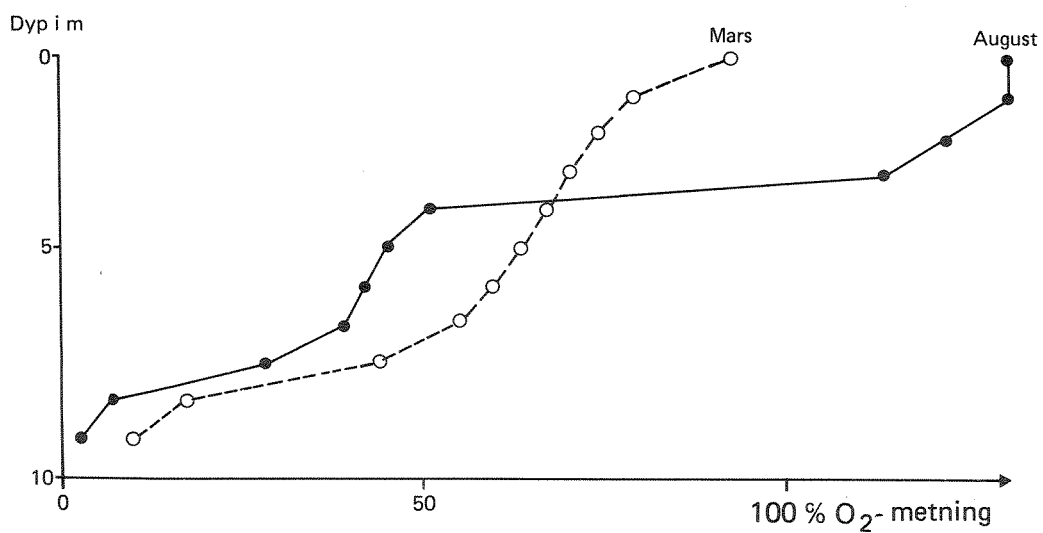


Figur 26. Rødenessjøen. Temperatur og oksygenmetning om vinteren og sommeren.



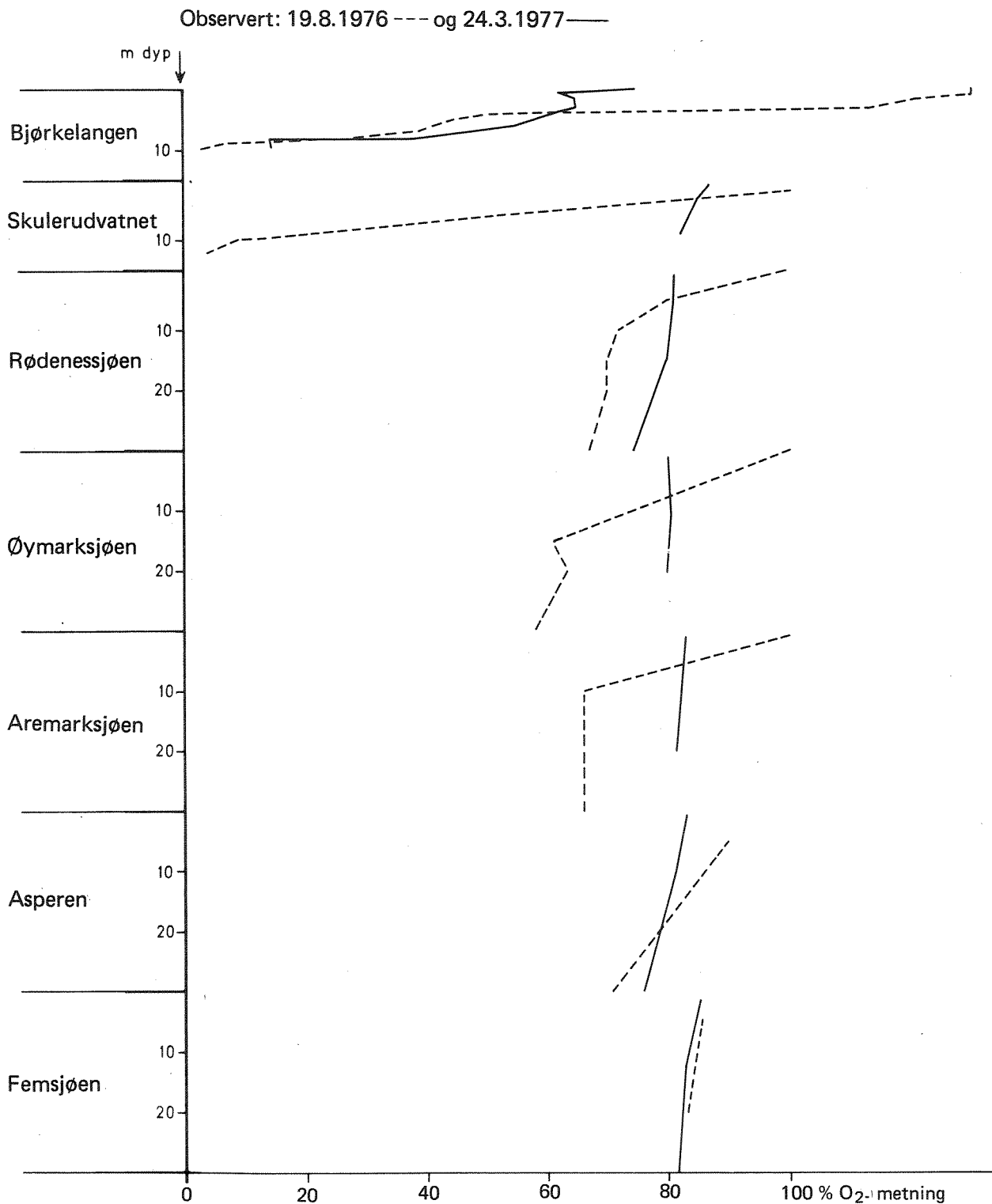
Figur 27. Vannmassenes oksygenmetning under vinter- og sommerstagnasjon i Bjørkelangen.

Observert 19.8 1976 og 24.3 1977

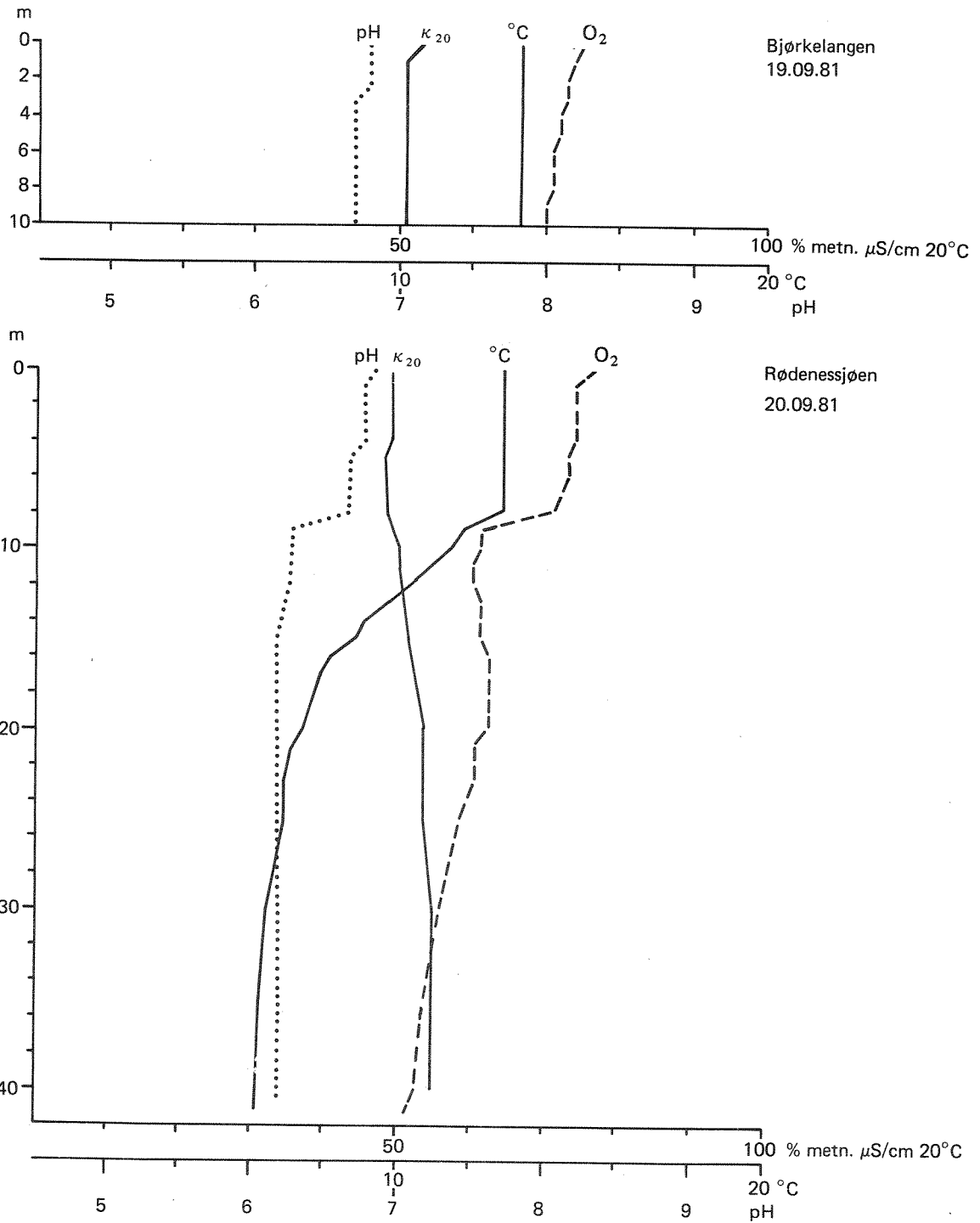




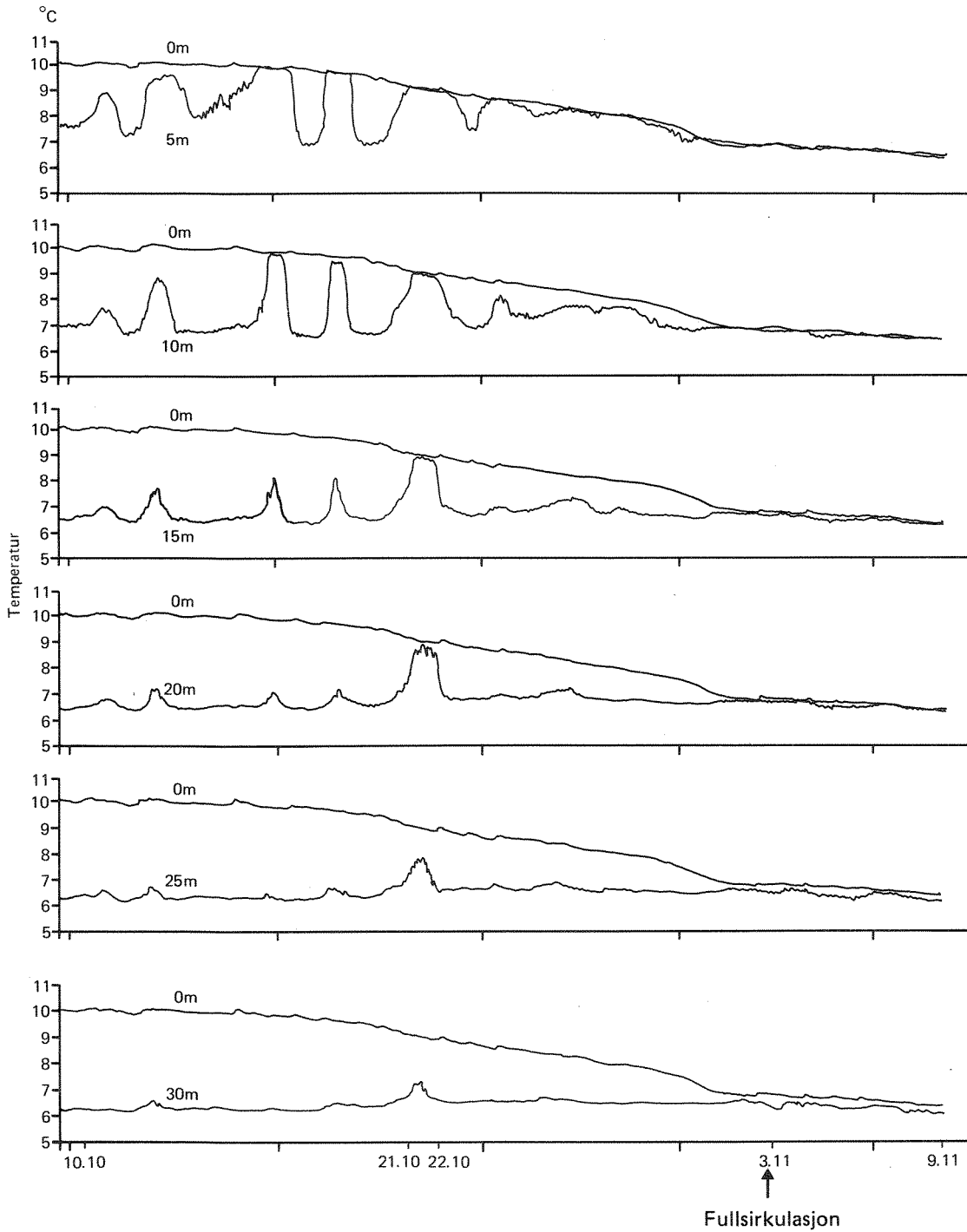
Figur 28. Oksygenforholdene i hovedvassdragets innsjøer under vinter- og sommerstagnasjon. % metning.



Figur 29. Eksempler på vertikale variasjoner i hydrografiske faktorer.



Figur 30. Temperatursvingninger i Rødenessjøen observert med kontinuerlig måling i perioden 10. oktober - 9. november 1979.



#### 4.4 Kjemisk vannkvalitet

##### Vanntyper og stoffinnhold

I dette avsnitt vil det bli gitt en generell fremstilling av hydrokjemiske forhold i Haldenvassdraget.

Avrenningsvannet i et nedbørfelt har en vannkvalitet som hovedsakelig er bestemt av nedbørvannets sammensetning, de geologiske forhold, organismerlivet og den menneskelige virksomhet som finner sted. For å vise hvordan ulike vanntyper kan være med hensyn til kjemisk sammensetning, er det i tabell 9 stilt sammen noen utvalgte eksempler fra undersøkelsene i Haldenvassdraget.

Tabell 9. Sammenlikning mellom noen vanntyper i Haldenvassdraget.

Vanntype Faktor	NEDBØRVANN		INNSJØVANN			ELVEVANN	
	Bjørke- langen	Ørje	Dam- vatnet	Myr- tjern	Helge- tjern	Hane- borg	Loks- haug
Surhetsgrad, pH	4,0	6,8	6,7	4,5	9,3	6,8	7,0
Spes. el. ledn. evne 20°C    μS/cm	20	54	46	80	115	59	94
Farge            mg Pt/l	11	61	49	102	316	233	266
Turb.            F.T.U.	0,5	1,9	1,2	1,6	22	7,5	8,6
Fosforkomp.    μg P/l	12	13	10	13	170	40	290
Ortofosfat      μg P/l	5	4	<2	3	15	22	230
Nitr.komp.     μg N/l	690	1000	540	1440	2440	610	2080
Nitrat            μg N/l	350	760	380	840	<10	240	860
Klorid            mg Cl/l	0,8	5,4			16,0	6,0	6,4
Jern              μg Fe/l	10	130	10		420		1300
Kjem. oks. forb.            mg O/l	<5	18,3	15	28	57	23	24

Nedbørvannet over den sydlige del av Skandinavia inneholder betydelige mengder forurensninger. Dette avspeiler seg i bl.a. høye konsentrasjoner av hydroniumioner, sulfat og nitrat (Wright et al. 1976). Avhengig av lokale forhold og situasjonen under prøvetaking, vil det bli påvist ulike mengder i nedbørvannets stofflige sammensetning. I tabell 9 uttrykker

de to eksemplene på nedbørvann ulike prøvetakingssteder. Ved Ørje er innsamlingen av nedbørvann foretatt i nærområdet til en sterkt trafikkert veg. Ved Bjørkelangen har prøvetakingen foregått i et jordbruksfelt. Analyseresultatene viser forskjellige påvirkningsgrader av nedbørvann som kan gjøre seg gjeldende.

Bergartene i nedbørfeltet er tungt løselige og gir et avrenningsvann fattig på løste salter (Kjensmo 1966). Imidlertid er nedbørfeltets beliggenhet - med store områder under den marine grense - årsak til at en relativt høy elektrolytisk ledningsevne preger vannet. Marine sedimenter gir et betydelig bidrag med salter til avrenningsvannet bl.a. klorid. De tre eksemplene på innsjøvann i tabell 9 representerer vanntyper med ulike trofigrad. Damvatnet (Riseren) ligger i et område med lite løsavsetninger, skog og liten menneskelig påvirkning. Vannmassene er fattige på plantenæringsstoffer (oligotrof vanntype). Myrtjern (ved Håkaby) har også vann fattig på plantenæringsstoffer, men er markert påvirket med humusstoffer. Det har skog- og myrområde som fremherskende trekk i nedbørfeltet, og liten menneskelig påvirkning. Denne vanntypen - med brunfarget utseende - betegnes dystrof. Helgetjernet (ved Ørje) har vannmasser rike på plantenæringsstoffer, og er et eksempel på en eutrof vanntype. Forurensning fra tettbebyggelse og dyrket mark er årsakene til belastningen av vannet.

De to eksemplene med ellevann som er tatt med i tabell 9 viser andre egenskaper knyttet til vannkvalitet som gjør seg gjeldende. Lokaliteten Haneborg er preget av påvirkning med leire. I stor utstrekning kommer partikkelinnholdet i vannmassene fra nærområdet i hovedvassdraget (jordbruksvirksomhet), mens fargepåvirkningene i større grad kommer fra det øvrige nedbørfelt (skog- og myrområder). Kloakkvannspåvirkning er typisk for lokaliteten Lokshaug. Vannets innhold av fosfor- og nitrogenforbindelser er høyt, og det er stor andel med organisk stoff i vannmassene. Husholdningskloakkvann er først og fremst årsaken til belastningen i dette tilfelle.

Innsjøene i hovedvassdraget er preget av vannmasser som viser ulike nyanser med hensyn til vannkvalitet. Gjennomgående representerer disse innsjøene sedimenteringsområder for partikler (avsnitt 5.2). Dette slår ut for vannmassenes farge og turbiditet, og en rekke andre fysiske

og kjemiske faktorer direkte og indirekte forbundet med partikkelinnholdet. Vannmassenes farge og turbiditet må sees i sammenheng. Overflatevann inneholder alltid større eller mindre mengder fargede substanser. Disse tilføres til dels fra nedbørfeltet, dels er de et resultat av nedbrytning av planter og dyr som produseres i vannforekomstene. Spesielt humusstoffene, som i form av sure kolloider av organisk natur blir tilført innsjøene og vassdragene fra skog- og myrområder, brunfarger vannet i høy grad (Gjessing 1976). De er derfor viktige faktorer når det gjelder vannets farge. Innholdet av fargede komponenter sammen med innholdet av organisk materiale (målt som kjemisk oksygenforbruk) karakteriserer vanntypene i Haldenvassdraget som mesohumøse (Naumann 1932).

For å kunne danne seg et inntrykk av hvordan de hydrokjemiske forhold i Haldenvassdraget arter seg i en regional sammenlikning, er noen karakteristiske data for et utvalg innsjøer stilt sammen i tabell 10. Det er benyttet aritmetiske middelveier av analyseresultater fra filtrerte vannprøver (Skulberg 1975). Bjørkelangen, Rødenessjøen og Femsjøen viser ulike grader av kulturpåvirkning med tildels høye konsentrasjoner av stoffer.

#### Variasjoner i stoffkonsentrasjoner

Det er en rekke faktorer som bestemmer den stadig skiftende vannkvalitet i et vassdragssystem. Konsentrasjonene av organiske og uorganiske forbindelser i vannmassene varierer med tid og sted, mellom de forskjellige områder i vassdraget og innenfor små avstander på det samme vassdragsavsnitt. Det blir derfor bare en forenklet og skjematisert fremstilling som foreløpig er mulig å lage i denne forbindelse.

Et eksempel kan illustrere hvor sammensatt forholdene kan være på et bestemt tidspunkt. I fig. 31 er noen observasjoner fra Haldenvassdragets øvre løp 23. juli 1975 fremstilt grafisk (etter Kotai et al. 1978). Vannmassene i vassdragsavsnittet ved Floen har lavt innhold av fosfor- og nitrogenforbindelser, og har tilsvarende lavt algevekstpotensial. Så snart vassdraget kommer inn i områder med jordbruksvirksomhet og bebyggelse, blir vannmassene påvirket av forurensninger som gir et høyt algevekstpotensial (vann av eutrof karakter). Bjørkelangen mottar et vann som er rikt på plantenæringsstoffer. Den frodige algevegetasjonen i Bjørkelangen nyttiggjør disse stoffene i sin utvikling, og algevekstpotensialet blir redusert. Nedstrøms Bjørkelangen mottar

Tabell 10. Regional sammenlikning mellom hydrokjemiske forhold i noen innsjøer.

Aritmetiske middelværdier for analyseresultater i filtrerte vannprøver.

Komponent Innsjø	Spes. elled. evne μS/cm	Sur- hets- grad pH	Farge mg Pt/l	Fosfor- komp. μg P/l	Orto- fosfat μg P/l	Nitrogen- komp. μg N/l	Ni- trat μg N/l	Klorid mg Cl/l
Gr.Plöner See (Tyskland)	394	8,2	11	215	200	740	270	42
Lago Maggiore (Italia)	134	7,6	3	10	6	820	608	2
Lough Neagh (Irland)	228	8,0	18	39	25	790	226	18
Päijänne (Finland)	51	6,7	28	9	5	390	155	4
Windermere (England)	65	7,3	5	8	4	628	482	8
Zürichsee (Sveits)	214	8,1	4	52	21	675	374	3
Gjersjøen	110	7,5	19	16	9	946	623	10
Hølsfjorden	34	7,2	10	5	2	273	166	2
Jarevatnet	211	8,1	18	32	21	1655	1436	7
Mjøsa	39	7,0	11	8	4	365	275	1
Bjørkelangen	68	7,1	303	45	22	960	490	7
Rødenesjøen	54	6,6	58	10	2	938	720	5
Femsjøen	55	6,6	43	8	2	920	600	6

vassdraget nye bidrag med forurensninger, og vannmassene blir på nytt belastet. Etterhvert medfører fortyninger med vann fra sideelver (bl.a. Mjerma) at konsentrasjonen av plantenæringsstoffer minker og algevekstpotensialet igjen blir lavt.

Det geografiske området for Haldenvassdraget er ikke ensartet med hensyn til naturforhold og menneskelig utnyttelse. Dette innebærer at avrenningsvann til vassdraget er forskjellig med hensyn til kjemisk sammensetning i de ulike deler av nedbørfeltet. Vannføringen - mengder og tidsmønster - varierer på de enkelte vassdragsstrekninger, og dette har konsekvenser for vannkvalitet. I fig. 32 er det gitt eksempel på noen aktuelle variasjoner i stoffkonsentrasjoner.

Vannmassenes ionesammensetning er ulik i de forskjellige deler av nedbørfeltet. Den spesifikke elektrolitiske ledningsevne er hovedsakelig mellom 40-90 μS/cm 20°C. På vassdragsstrekningen nær Floen er verdiene for denne parameter i den nedre del av variasjonsområdet. Tilsvarende

er verdiene høye i Hølandselva, 70-80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  20<sup>0</sup>C, og lavere i den nedre del av vassdraget. Dette er i god overensstemmelse med de geologiske forhold i nedbørfeltet. De løse jordlagenes beskaffenhet og berggrunnens egenskaper er bestemmende for hvordan salter tilføres vannet fra kjemiske erosjonsprosesser. De sørlige deler av nedbørfeltet er dominert av harde bergarter og gir et elektrolyttfattig avrenningsvann. Saltinnholdet er viktig for vannets bufferevne. Surhetsgraden reguleres i det vesentlige av buffersystemet karbondioksyd - bikarbonat - karbonat. I samsvar med dette er surhetsgraden i Haldenvassdraget gjennomgående varierende mellom pH 6,5 - 7,5. De relativt elektrolyttfattige vannmassene viser de lave pH-verdier. Dette er vannforekomster som stort sett ligger tilside for hovedvassdraget.

Kjennskapet til de hydrokjemiske forhold med hensyn til konsentrasjoner og konsentrasjonsendringer av fosfor- og nitrogenforbindelser er en viktig forutsetning for biologiske vurderinger. Disse plantenæringsstoffene spiller en avgjørende rolle for vassdragets biologiske produktjonsforhold. Økning i næringssalttilførselen kan gi gjødslingseffekter som påvirker vannkvaliteten - i vid betydning - på tildels uheldig måte vurdert i praktisk sammenheng. Tiltakende begroing og masseforekomst av enkelte organismer kan f.eks. gjøre seg gjeldende.

Gjennomgående er konsentrasjonene av fosfor- og nitrogenforbindelser som er målt i Haldenvassdraget høyere enn vanlig for landsdelen. De aritmetiske middelverdier for fosforkomponenter (total fosfor) varierer i området 25-100  $\mu\text{g}$  P/l. På vassdragsstrekningen ned til samløp med Mjerma er verdiene i området 20-50  $\mu\text{g}$  P/l. På den midtre og nedre del av vassdraget er verdiene lavere. Det vises til de grafiske fremstillinger i figur 51 og 52.

En betydelig del av vannmassenes fosforinnhold er knyttet til frafiltrerbar substans (seston), særlig leirpartikler. Dette fremgår av analyseresultatene for ufiltrerte, henholdsvis filtrerte prøver. Om lag 30-40% av fosforkomponentene er bundet til partikkelinnholdet i vannet. Innsjøene i vassdraget utgjør sedimenteringsområder for partikler, og fosforforbindelser bindes i bunnlaget (avsnitt 5.2).



Vannmassenes innhold av nitrogenforbindelser (total nitrogen) er utpreget høye (fig. 32). På elvestrekningene i den øvre del av vassdraget er konsentrasjonene av størrelseorden 1200 µg N/l. Det ble funnet forholdsvis høye verdier også i vassdragets nedre løp, varierende i konsentrasjonsnivået omlag 600-1000 µg N/l. Da nitrogenforbindelsene i mindre grad - sammenliknet med fosforforbindelser - er knyttet til leirpartikler, viser vassdragets innsjøer også en mindre fellings-effekt for nitrogenforbindelser (avsnitt 5.2).

Såvel punktutslipp som avrenningsvann fra jordbruksområder er årsak til de belastninger som gjenspeiles i disse stoffkonsentrasjoner. Med tiltakende forurensningsbelastning blir det konsentrasjonsøkninger for en rekke innholdsstoffers vedkommende. Vassdragsavsnitt med særlig stor innflytelse av forurensninger karakteriseres både med ekstreme maksimalverdier for det aktuelle stoff, og ved at konsentrasjonsområdet stoffet varierer innenfor blir større.

Basert på de observerte konsentrasjoner av fosforkomponenter og nitrogenkomponenter kan de aktuelle vannforekomstenes trofigrad vurderes. Skjemaet i tabell 11 er vanlig benyttet for slik klassifisering.

Tabell 11. Klassifisering av trofigrad (Wetzel 1975).

Trofiklasse	Total-P µg/l	Total-N µg/l
Ultra-oligotrof	<5	<200
Oligo-mesotrof	5-10	200-400
Meso-eutrof	10-30	300-650
Eutrof	30-100	500-1500
Hypereutrof	>100	>1500

Når måleresultatene for vannmassene i Haldenvassdraget legges til grunn for en slik vurdering, vil de falle under kategorien mesotrof-eutrof. Bare i enkelte vassdragsavsnitt, og på lokale områder, blir det i hovedvassdraget påvist verdier som representerer fullt ut oligotrofe forhold.

### Sommer- og vinterforhold

Kjennskapet til den sesongmessige variasjon i stoffkonsentrasjoner har vesentlig betydning for forståelsen av forureningsvirkningene i Haldenvassdraget. For å belyse dette forhold vil noen observasjoner fra henholdsvis vinter- og sommersituasjon bli behandlet.

Det er vekselvirkninger mellom klima og biologiske prosesser som gir opphav til de aktuelle forskjeller i vannmassenes stoffinnhold. Vegetasjonstidens lengde er definert som tidsrommet fra når gjennomsnittstemperaturen har nådd 4-5<sup>0</sup>C og til når temperaturen faller under 4-5<sup>0</sup>C. I vannforekomstene vil imidlertid denne definisjon ikke være så egnet. Algene kan f.eks. godt ha betydelig produksjon helt ned mot vanntemperaturer på 0<sup>0</sup>C. Det er lystilgangen som i større grad begrenser fotosyntesen sammenliknet med temperaturen under ellers like betingelser. Ut fra meteorologiske observasjoner alene kan av den grunn ikke vekstsesongen i vannforekomstene beregnes. Vi vil i det følgende derfor holde oss til den hydrologisk begrunnede inndeling av året ( avsnitt 3.3).

Så godt som alle kjemiske parametre vil følge sine spesielle variasjonsmønstre med årstidenes vekslinger. Denne fremstilling vil konsentrere seg om plantenæringsstoffene fosfor- og nitrogenforbindelsene. I figur 33 og 34 er vinterobservasjoner henholdsvis sommerobservasjoner av fosforkomponenter i vannmassene fremstilt grafisk. Det er tre års gjennomsnittsverdier som er benyttet (perioden 1976-1978). Verdiene for fosforforbindelser i løst form, i partikkelform og summen av de to fraksjonene er tegnet inn. Selv om det er noe større innhold av totalfosfor som gjenspeiles i sommerverdiene, er det hovedsakelig et høyt innhold av fosforforbindelser i vannmassene gjennom hele året. Men det er vesentlige forskjeller med hensyn til den form fosforforbindelsene foreligger i. Om vinteren er andelen av løste forbindelser (særlig ortofosfat) spesielt høyt, fosforinnholdet i partikkelfraksjonen er forholdsvis lavt. Sommerobservasjonene viser derimot et særlig høyt innhold av fosforforbindelser i partikkelfraksjonen, mens konsentrasjonene av løste fosforforbindelser er lave.

Nitrogenforbindelser er av avgjørende betydning for plantevekstens forløp og omfang i vannforekomstene. Konsentrasjonen av nitrogenforbindelser i Haldenvassdraget (fig. 32 og 35) viser et mønster i variasjon med klimatiske vekslinger og årstider. Andelen av organiske nitrogenforbindelser i vannmassene er stor. I filtrerte vannprøver ble det vanlig funnet at 50% eller mer av nitrogenforbindelsene er knyttet til organisk bundet stoff. Omlag 60-80% av det organiske bundne nitrogen er vanligvis regnet å bestå av aminosyrer, polypeptider og proteiner. Algene har et relativt høyt proteininnhold (Fowden 1962). Deres behov for nitrogen blir hovedsakelig dekket gjennom opptak av nitrat eller ammonium.

I fig. 35 er det gitt noen eksempler på variasjoner i nitratinhold i innsjøene i hovedvassdraget om sommeren og vinteren. Det er lave verdier for nitratinhold i vannmassene om sommeren sammenliknet med om vinteren. Dette er et resultat av samspill mellom flere faktorer. Vegetasjonsutvikling på land i sommerhalvåret innebærer at avrenningsvann om sommeren er forholdsvis fattig på nitrogenforbindelser. Samtidig er det om sommeren et betydelig forbruk av nitrat i de frie vannmasser i vassdraget i forbindelse med biologiske prosesser. Det er en frodig utvikling av bl.a. planktonalger. Kurveforløpet for sommerobservasjonene viser at det særlig er i de øverste vannlag - der fotosynteseaktiviteten er stor - hvor forbruket av nitrat gjør seg sterkest gjeldende. De utpreget synkende verdier i Bjørkelangen (og tildels Skulerudvatnet) er et markert fenomen. I den langt fremskredne tilstand av eutrofiutvikling som denne innsjøen befinner seg, er produksjonsprosessene særlig intensive. De mikrobiologiske prosesser - med tildels dannelse av et reduktivt miljø (avsnitt 4.3) - i dyp-lagene medfører avtakende nitratkonsentrasjoner mot bunnen av denne innsjøen.

#### Vannmassenes partikkelinnhold - seston

Seston brukes som en samlebetegnelse for alt som lar seg sile ut av vannet, det vil si vannmassenes partikkelinnhold (Kolkwitz 1912). Seston består av tre hovedbestanddeler:

- Partikler som kommer til vassdraget fra omgivelsene, eller ved nedfall fra atmosfæren.

- Partikler, levende eller døde, som løsrives fra bunn og begroinger.
- Plankton som kan leve sitt liv i vannmassene og opprettholde en bestand gjennom vekst der.

Et vassdrag har sitt naturlige innhold av seston. Gjennom utslipp av forurensninger og ved virksomhet i nedbørfeltet kan sammensetting og mengde av seston bli forandret. Både direkte og indirekte har innholdet av seston betydning for vannets brukbarhet til ulike formål. Innholdet av seston i vannmassene varierer med tiden. Det er en sammenheng mellom sestoninnhold og vannføring, men det er ikke noe enkelt avhengighetsforhold.

Det er tidligere rapportert målinger av sestoninnhold i Haldenvassdraget (Kotai et al. 1976). Noen hovedtrekk fra nyere observasjoner kan behandles i det følgende.

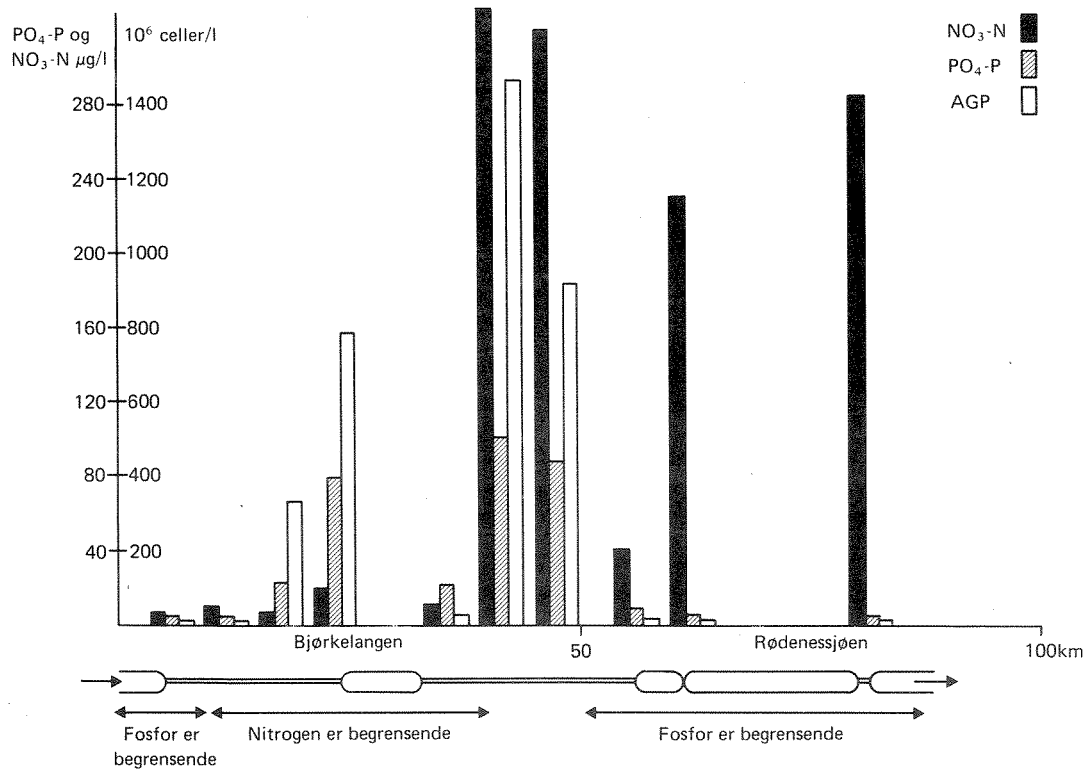
Organisk seston representerer hovedsakelig organismer, detritus og kloakkvannspartikler. Uorganisk seston består vesentlig av erosjonsmateriale, f.eks. leire. Belastningen med gjødselstoffer fører til stor utvikling av algeplankton i de stilleflytende partier av vassdraget.

Landbruks- og anleggsvirksomhet i nedbørfeltet har medført betydelig erosjon og belastning med partikulære forurensninger i de senere år. Dette kan følges gjennom bl.a. analyseresultatene for vannmassenes turbiditet (grumsethet). I tabell 12 er det stilt sammen de aritmetiske middelveier for turbiditet (F.T.U., formazin turbidity unit) i innsjølokaliteter i hovedvassdraget for observasjonsperioden 1976-1981. På alle lokalitetene er det gjennomgående funnet tiltakende verdier for turbiditet.

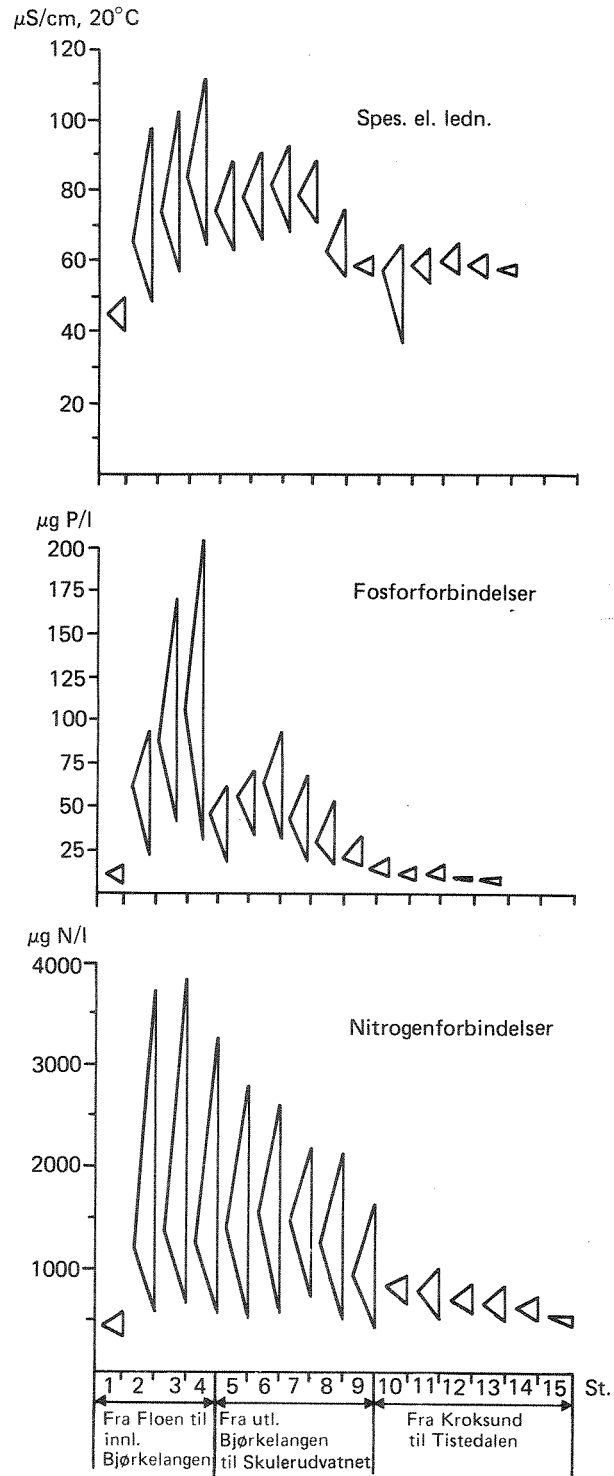
Tabell 12. Aritmetiske middelveier for turbiditet i innsjøene.  
Observasjonsperiode 1976-1981.

Lokalitet	F.T.U.						i perioden
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	
BJØRKELANGEN	9,7	6,7	11,7	6,5	10,4	12,3	11
RØDENESSJØEN	3,0	2,0	2,8	2,7	3,3	5,0	3
ØYMARKSJØEN	1,7	1,5	2,5	1,5	2,0	3,0	2
FEMSJØEN	0,7	0,6	0,9	0,8	1,1	1,7	1

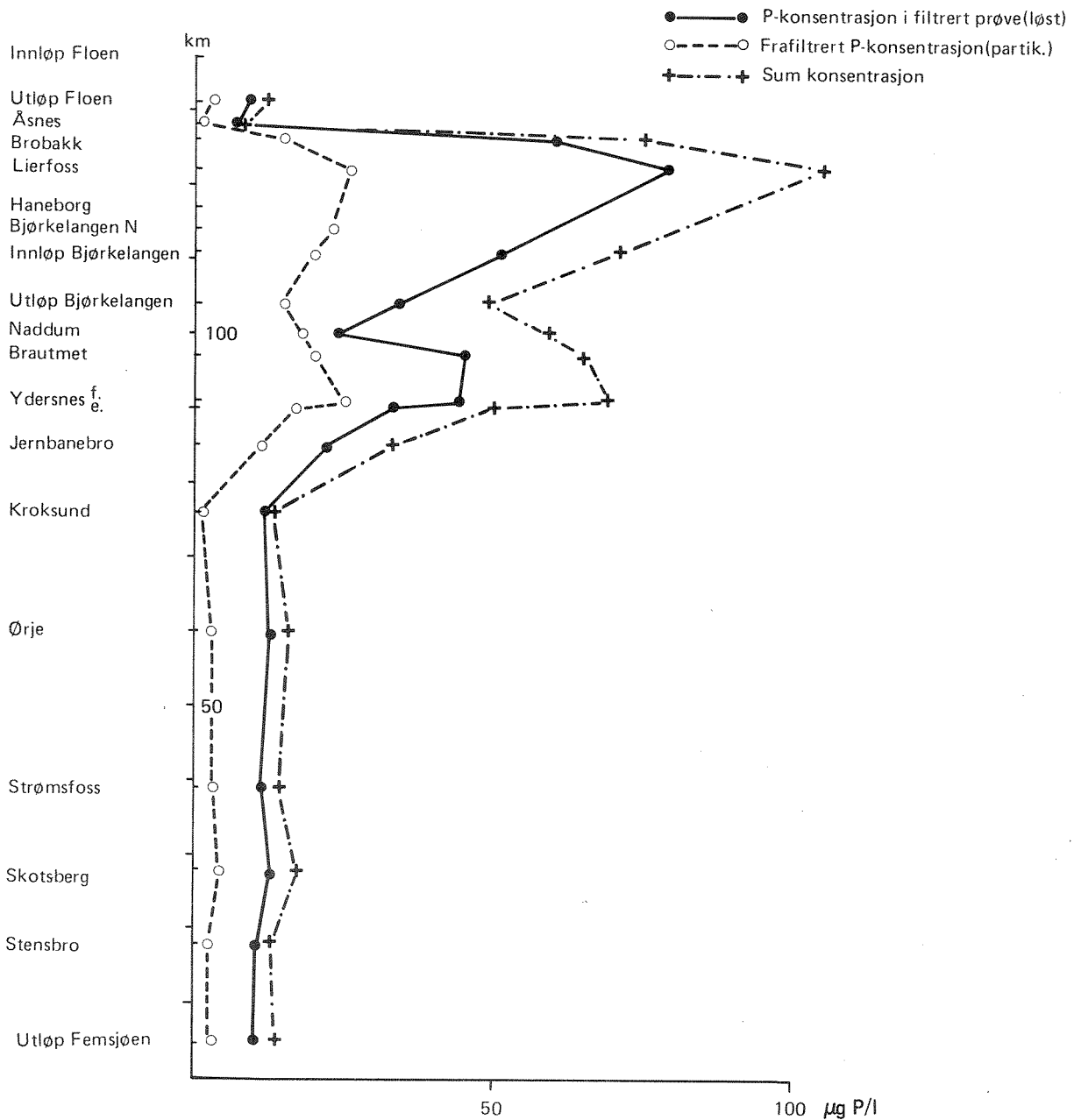
Figur 31. Variasjoner i vannkvalitet i Haldenvassdragets øvre løp 23. juli 1975.



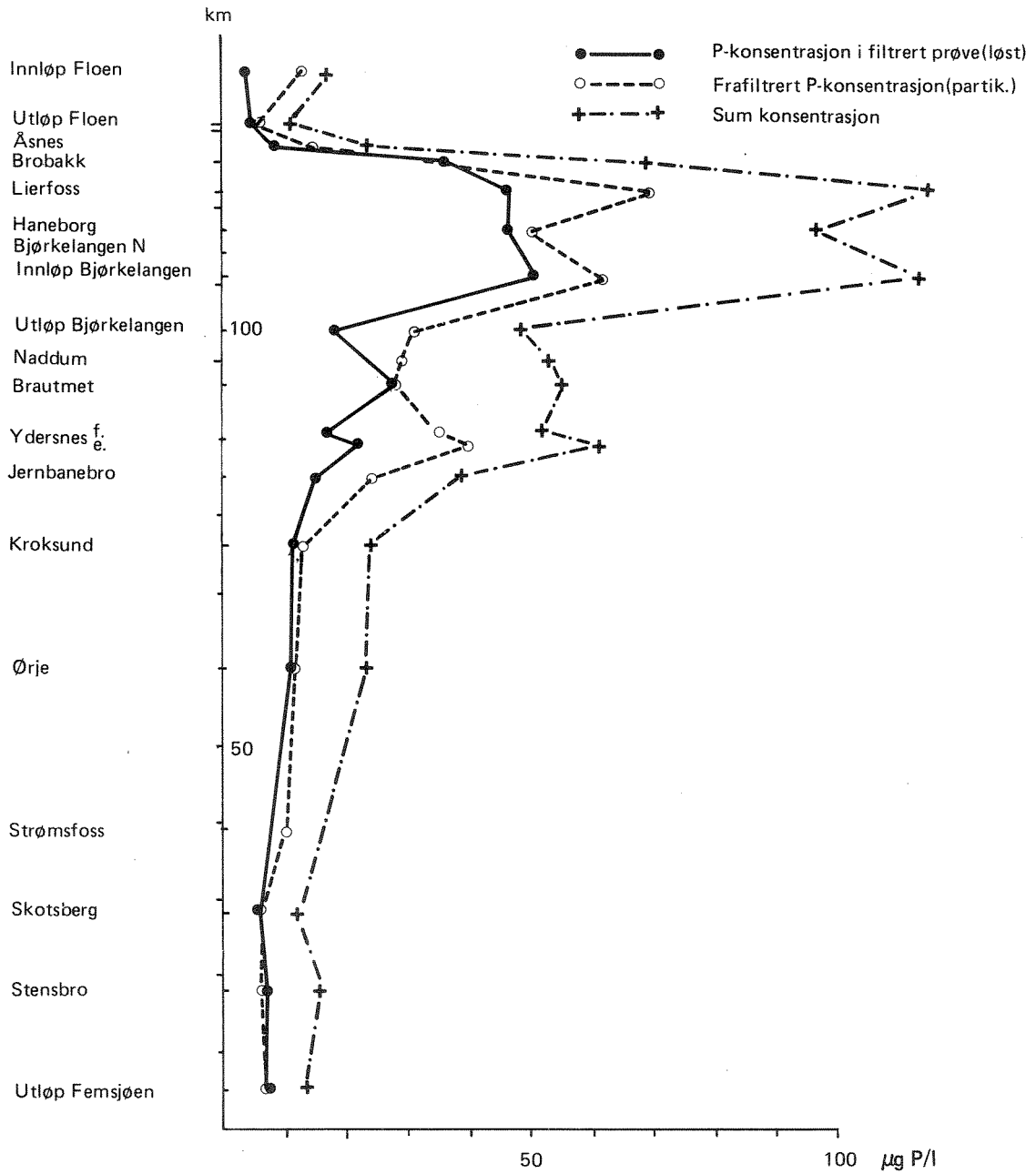
Figur 32. Eksempel på variasjon i stoffkonsentrasjoner. Observasjonsperiode 1976.  
Aritmetisk middel-, minimum- og maksimumverdi.



Figur 33. Vinterobservasjoner av fosforkomponenter i perioden 1976-1978. Løst og partikulær fraksjon.

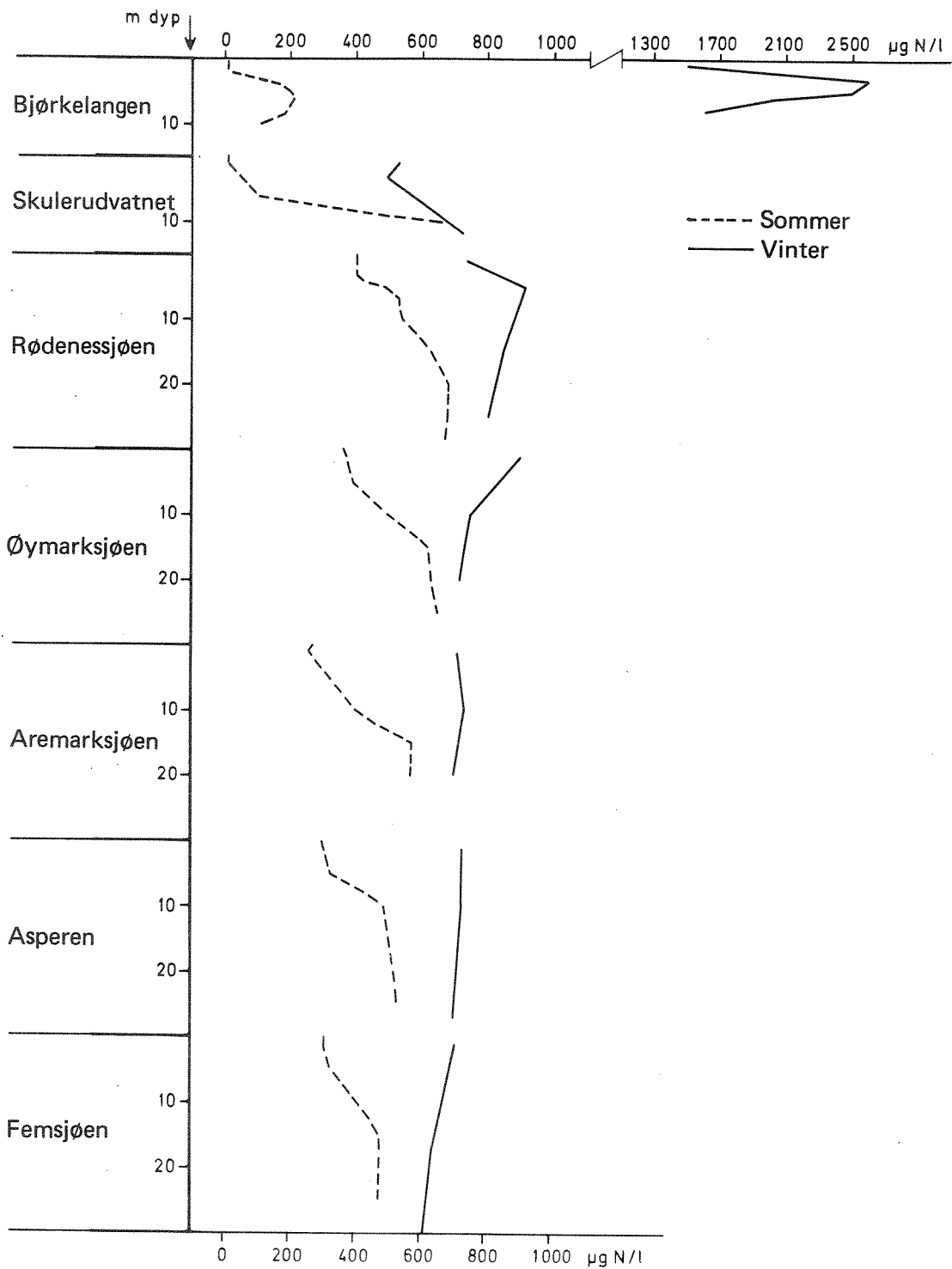


Figur 34. Sommerobservasjoner av fosforkomponenter i perioden 1976-1978. Løst og partikulær fraksjon.





Figur 35. Eksempler på variasjon i nitratinnhold i innsjøene i hovedvassdraget. Sommerobservasjoner 19.8.1976, og vinterobservasjoner 24.3.1977.



#### 4.5 Algevekstpotensial og begrensende plantenæringsstoffer.

Algene representerer en vesentlig andel av primærproduzentene i vassdragene. En økt algevekst er gjerne nøye knyttet til utviklingen av en vannforekomst mot eutrofi. Tilgangen på plantenæringsstoffer er en hovedfaktor, og den bestemmer mengden av algevekst. Algesamfunnet som kommer til utvikling, vil være avhengig av kvalitative og kvantitative sider ved næringsstoffmiljøet. Den totale mengde algemateriale som dannes, er derimot hovedsakelig bestemt av den tilgjengelige mengde med plantenæringsstoffer.

Ved praktiske forurensningsundersøkelser er den biologiske vurdering av gjødselstoffenes påvirkning av vannmassene viktig. En slik vurdering forutsetter kunnskap om hvordan de kjemiske påvirkningene influerer vannmassene som vekstmedium for alger. Kulturforsøk med alger benyttes som et hjelpemiddel for å skaffe slik kunnskap, og disse gir en fruktbar kombinasjon av biologiske og kjemiske metoder.

Bruk av alger som testorganismer i kulturforsøk ved studiet av eutrofiering har lenge vært benyttet (Källqvist 1973). Størst erfaring er knyttet til anvendelsen av grønnalgen *Selenastrum capricornutum* Printz (Kotai et al. 1978).

Haldenvassdraget spenner over et stort variasjonsområde når det gjelder vannkvalitet. Det kan være av interesse å gjøre en regional sammenlikning for å vurdere hvor de aktuelle vanntypene befinner seg med hensyn til fruktbarhet (vannmassenes evne til å underholde algevekst). I tabell 13 er karakteristiske resultater av vekstforsøk med vannprøver fra Haldenvassdraget stilt sammen med utvalgte resultater fra andre norske lokaliteter. Nedbørfeltene er ordnet etter fremherskende naturforhold og menneskelig bruk. En stor forskjell i vannmassenes fruktbarhet gjør seg gjeldende. Næringsfattige vanntyper har et algevekstpotensial som er mindre enn  $5 \cdot 10^6$  celler/l. Verdien tilsvarende de som er funnet for f.eks. Helgetjernet forekommer bare i de sterkest forurensende lokaliteter.

Det er mange miljøfaktorer som kan begrense algeveksten i en vannforekomst - f.eks. utilstrekkelig lys, lav temperatur, vannbevegelser, lave konsentrasjoner av biologisk viktige stoffer eller nedsatt tilgjengelig-

het for cellene av slike stoffer. Dette er faktorer som er knyttet til algenes ytre miljø. De influerer den spesifikke veksthastighet til algepopulasjoner, eller den enkelte algecelle. Faktorene betegnes "begrensende" fordi en øket intensitet eller konsentrasjon medfører en øket veksthastighet.

Tabell 13. Algevekstpotensial og kjemisk vannkvalitet i noen innsjøer.

Nedbørfelttype	Navn	AGP 10 <sup>6</sup> celler/l	Spes. el. ledn. evne µS/cm 20°C	Fosfor- komp. µg P/l	Nitrogen- komp. µg N/l	N/P
Fjell og skog, spredt bebyggelse	Beiehølen	1	12	4	120	30
	Floen	4	38	3	300	100
	Femsjøen	4	51	8	420	53
Jordbruksareal	Mjøsa	18	39	10	400	40
	Rødenessjøen	18	52	13	560	43
	Øyeren	20	35	9	265	29
Tettbebyggelse og industri	Bjørkelangen	600	100	41	3500	85
	Arungen	1700	150	166	2400	14
	Helgetjernet	2900	136	130	2080	16

Den begrensende virkning til en gitt miljøfaktor blir ofte vurdert med hensyn til hvordan utbyttet av algebiomasse blir influert. Dette utbyttet blir ikke bestemt av én produksjonsfaktor, men av alle de produksjonsfaktorer som avviker fra det optimale - det vil si når de utøver sine gunstigste virkninger. Utbytte av biomasseproduksjon stiger ikke proporsjonalt med økningen av en faktor som er begrensende, men stiger mindre og mindre jo nærmere størrelsen av faktoren kommer den verdien hvor faktoren ikke lenger er i minimum. Samspillet mellom produksjonsfaktorene er innviklet. Dette kommer fram også i forhold knyttet til avtakende utbyttetilvekst. Jo nærmere en produksjonsfaktor kommer sin optimale verdi, jo mindre vil en økning i produksjonsfaktoren medføre økning i biomasseutbyttet. Når en produksjonsfaktor tilføres utover sin gunstigste mengde, oppstår skadevirkninger.

Undersøkelser av vekstbegrensende plantenæringsstoffer i Haldenvassdraget (Kotai et al. 1978) ga som resultat at fosfortilsetning stimulerte algeveksten så godt som i alle vannprøver. Men utslagene var noe forskjellige på de enkelte lokaliteter. En kombinasjon av nitrogen og fosfortilsetning, eller komplett næringsløsning, ga i alle tilfelle høyere celleutbytte enn når den samme konsentrasjon av fosfor ble satt til alene. Vekstforsøkene med alger viste klart at fosfor var det primært begrensende næringsstoff. Bare i spesielle tilfeller (f.eks. vannprøver fra Hølandselva) ble det påvist at nitrogen primært var begrensende næringsstoff.

Forholdet mellom innhold av nitrogen- og fosforforbindelser i algeceller varierer i området 20-10:1 (Lund 1970). Kulturforsøk med alger og erfaringer fra feltundersøkelser har vist at når forholdet mellom total-N og total-P i vannmassene er  $\geq 17$ , så er algeveksten begrenset av fosfor. Er forholdet mellom total-N og total-P  $\leq 17$  er det nitrogen som er vekstbegrensende for alger (Claesson 1978).

Belastningen av vassdragene med plantenæringsstoffer fra kloakkvann og avrenningsvann fra dyrket mark gir ofte både et lavt N:P-forhold i vannmassene og meget frodig algevegetasjon (Ahl 1979). Det kan som eksempel nevnes at N:P-forholdet i avløpsvannet fra et aktivslam-anlegg kan være som 4:1. Stor tilførsel av forurenset vann av denne type vil favorisere nitrogen som det mest begrensende plantenæringsstoff (Skulberg 1980 III).

I fig. 36 er variasjoner i konsentrasjoner av fosfor- og nitrogenforbindelser langs hovedvassdraget fremstilt grafisk. Middelerverdier for analyseresultatene i 1981 er benyttet. Kurven for N:P-forholdet er også tegnet inn. Det fremgår bl.a. at det er i vassdragsområdet ved Bjørkelangen som de laveste verdier for N:P-forholdet forekommer. Da dette gjelder middelerverdier for stoffkonsentrasjonene, er det tydelig at i dette vassdragsområdet kan nitrogen være den begrensende vekstfaktor i enkelte perioder. I tabell 14 er forholdet mellom nitrat og ortofosfat ut fra analyseresultatene i 1981 stilt sammen. August viser den laveste verdi for året.

Tabell 14 Forholdet mellom nitrogen og fosfor i vannmassene ut fra innhold av nitrat og ortofosfat.

Observasjonsperiode 1981. N:P forhold.

Lokalitet	J.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.
Innl. Bjørkelangen	15	14	25	20	20	24	10	17	24
Utl. " "	20	24	21	33	286	345	118	33	46
Innl. Rødenessjøen	35	54	29	35	160	155	48	15	42
Utl. " "	58	79	93	69	167	245	133	200	90
Utl. Øymarksjøen	115	113	147	170	265	327	190	420	255
Utl. Asperen	130	161	427	275	353	500	540	440	490
Utl. Femsjøen	207	339	600	560	1040	530	580	450	480

Algetester ble brukt for å studere virkninger av forskjellige typer rensed kloakkvann på algevekst i Haldenvassdraget (Källqvist 1975). Forsøkene viste at tilsetning av mekanisk og biologisk rensed kloakkvann ga en kraftig økning i vekstpotensial i vann fra innsjøene. Derimot ga tilsetning av kjemisk rensed kloakkvann en betydelig mindre stimulering av algeveksten.

#### 4.6 Drikkevann og badevann - vannhygieniske tilstander

Undersøkelsene av vannhygieniske forhold i Haldenvassdraget ble utført i samarbeid med Institutt for næringsmiddelhygiene ved Norges veterinærhøgskole og Helserådslaboratoriene i de aktuelle kommuner. Fremstillingen i det følgende er vesentlig basert på resultater som tidligere er publisert (Skulberg et al. 1978, Østensvik 1979).

De fleste sykdommer som kan spres via vann forårsakes av mikroorganismer i avføring fra syke mennesker og dyr. Helserådene foretar regelmessig bakteriologiske undersøkelser av drikkevannet for å kontrollere om vannet kan være smittefarlig. Det er vanskelig og i enkelte tilfeller umulig å isolere sykdomsfremkallende mikroorganismer fra vann. Avføring inneholder alltid store mengder bakterier som har naturlig forekomst i tarmen, såkalte tarmbakterier. De er normalt ikke sykdomsfremkallende, og de fleste tarmbakteriene kan ikke vokse eller formere seg utenfor tarmen.

Noen grupper tarmbakterier kan lett isoleres fra vann. Hvis slike bakterier påvises, tyder det på en fersk forurensning med avføring, og bakteriene kalles derfor *indikatorbakterier*. Ved slike undersøkelser gis det mulighet til å bedømme vannets helsemessige kvalitet, og påvises det indikatorbakterier i vann, regnes det som et tegn på at vannet også kan inneholde andre tarmmikrober med sykdomsfremkallende egenskaper.

Undersøkelser av vann for innhold av indikatorbakterier har også flere anvendelsesområder. I arbeidet med kartlegging av forurensningstilførsler til et vassdrag er indikatorbakterie-undersøkelser et redskap som kan beskrive kloakkvannsbelastningen i vassdraget. Sammenholdt med resultater fra fysiske og kjemiske undersøkelser kan kjennskap til innhold av indikatorbakterier også fortelle om betydningen av kloakkvannstilførsler i forhold til andre forurensningskilder.

Gjennom bakteriologiske undersøkelser i Haldenvassdraget fremkom holdpunkter om vannmassene var tilført avføring fra mennesker og dyr. Forholdsvis grundige undersøkelser ble utført i Haldenvassdraget i 1977. Det ble utført feltarbeid med bl.a. tre prøveserier for bakteriologiske

analyser, i henholdsvis mars, mai og oktober. Vannets innhold av koliforme bakterier og termostabile koliforme bakterier ble bestemt i alle prøvene. I oktober ble det dessuten gjort analyse på innhold av fekale streptokokker.

Aritmetiske middelveier for termostabile koliforme bakterier er fremstilt grafisk i fig. 37. Verdiene er sammenliknet med bakteriologiske normer for badevann (Statens institutt for folkehelse 1976).

Ved alle prøvestasjoner i vassdraget ble det påvist termostabile koliforme bakterier ved en eller flere av prøveseriene. Øverst i vassdraget, ved utløp Floen og Asnes, var verdiene lave. Fra Brobakk til innløp Bjørkelangen var verdiene for termostabile koliforme bakterier høye. Riserelva var sterkt belastet med kloakkvann fra tettbebyggelsen i Aurskog-området og utslipp fra renseanlegget på Aursmoen. Dette var årsaken til økningen i bakterietallet fra Asnes til Brobakk. Utslipp fra renseanlegget ved Bjørkelangen resulterte i økt bakterietall fra Lierfoss til innløp Bjørkelangen.

Gjennom innsjøen Bjørkelangen ble antall termostabile koliforme bakterier redusert. Årsaken til dette var sedimentering og nedbryting som er knyttet til fysiske, kjemiske og biologiske prosesser i vannmassene.

Tettstedene Løken og Fosser tilførte vassdraget nye kloakkvannsutslipp, som ga høye verdier for termostabile koliforme bakterier ved Naddum og Brautmet.

Innsjødelen av Haldenvassdraget, fra Skulerudvatnet til utløp Femsjøen, hadde relativt lavt innhold av termostabile koliforme bakterier. Gjennom innsjøene ble bakterietallet redusert ved sedimentering og biologiske prosesser. Et visst tilsig fra bebyggelsen rundt innsjøene ble påvist ved utløpene, særlig ved utløp Aremarksjøen og Femsjøen.

Resultatene fra undersøkelsene av forekomst av fekale streptokokker indikerer at det er avføring fra mennesker som dominerer i Haldenvassdraget når det gjelder tilførsler med mikroorganismer av hygienisk betydning.

Bakteriologiske undersøkelser som er utført til forskjellige tider har hovedsakelig bekreftet de forhold som ble observert i 1977 (NIVA 1981).

I tabell 15 er det gjort en vurdering av vannkjemiske og bakteriologiske resultater i forhold til de anbefalte normer.

I vann som ubehandlet kan brukes som drikkevann, skal det ikke kunne påvises termostabile koliforme bakterier pr. 100 ml vann. For at vannet skal kunne brukes som badevann (friluftsbad), bør det ikke påvises mer enn 50 termostabile koliforme bakterier pr. 100 ml vann.

Resultatene fra undersøkelsen i Haldenvassdraget viser at vannmassene i elvedelene og vannmassene fra utløpene av innsjøene i hovedvassdraget ikke bør brukes ubehandlet som drikkevann. Det er stor tilførsel av kloakkvann i vassdragets øvre deler. Forurensningene føres med vannstrømmen nedover i vassdraget. I tillegg gjør flere lokale kloakktilførsler seg gjeldende. Vannet i hele vassdraget kan inneholde sykdomsfremkallende mikroorganismer, og bare drikkevann levert av tilfredsstillende vannforsyningsanlegg bør benyttes.

Resultatene viser også at vannmassene på elvestrekningen fra Brobakk til samløpet med Mjerma ikke kan anbefales benyttet som badevann.

Siden vannmassene i Haldenvassdraget har et høyt innhold av nitrater (avsnitt 4.4), kan det være grunn til å nevne dette forhold i vannhygienisk sammenheng. Det er regnet med at høye konsentrasjoner av nitrat og nitritt i drikkevann kan medføre fare for methemoglobinemi. Disse stoffene spiller også en rolle i sammenheng med nitrosering av aminer og amider in vivo, med muligheter til dannelse av forbindelser med carcinogene effekter. Når det gjelder kvalitetskrav til drikkevann, er det i Norge fastlagt at totalinnholdet av nitrat skal være mindre enn 2,5 mg N/l (Statens institutt for folkehelse 1976). Enkelte verdier for noen lokaliteter i Haldenvassdraget overstiger denne grenseverdi, men gjennomgående er nitratinholdet ut fra analyseresultatene vel under dette konsentrasjonsnivå.



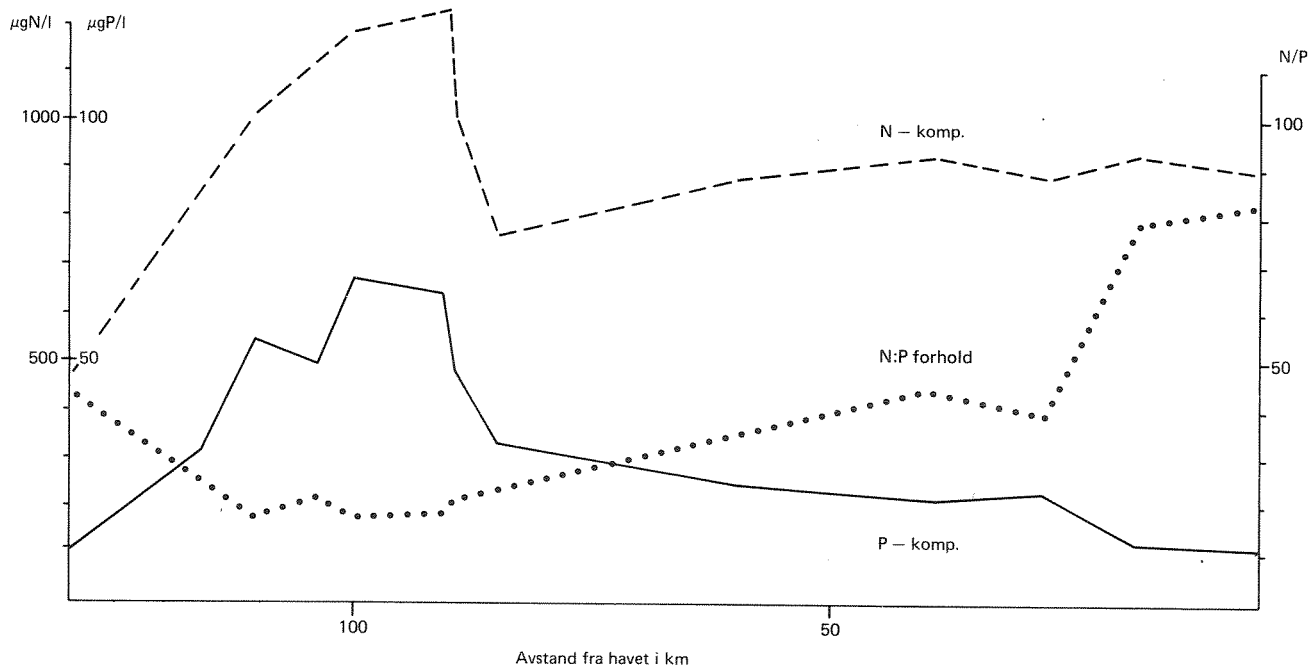
Tabell 15. Vannkvalitet i Haldenvassdraget sammenliknet med kvalitetskrav til bruksvann (Statens institutt for folkehelse 1976).

Parameter	Kvalitetskrav		Observerte verdier						
	Drikkevann	Badevann	Bjørkelangen	Skulerudvatnet	Rødenesjøen	Øymarksjøen	Aremarksjøen	Asperen	Femsjøen
Koliforme bakterier pr. 100 ml	<1	<50	3-250	3-31	3-31	1-17	1-20	60-700	1-20
Oksygen % metning <sup>x</sup>	>70		40-50	40-50	70-80	75-85	50-65	60-75	80-90
Surhetsgrad pH	8-8,5	5-9	6,4-7,5	6,5-7,5	6,5-7	6,5-6,8	6,6-6,9	6,6-7,0	6,6-7,0
Farge mg Pt/l	<15	<25	120-280	70-80	50-80	50-65	45-65	40-60	30-50
Turbiditet F.T.U. <sup>**</sup>	<1	<1	3-10	1-1,5	1-2,5	0,8-2	0,7-2	0,7-1,5	0,5-1,5
Nitrat mg N/l	<2,5		2,5-0,1	0,6-0,01	0,6-0,4	0,6-0,4	0,5-0,4	0,5-0,3	0,5-0,3
Jern mg Fe/l	<0,2		0,5-0,2	0,2-0,1	0,2-0,05	0,15-0,02	0,1-0,02	0,1-0,02	0,09-0,02

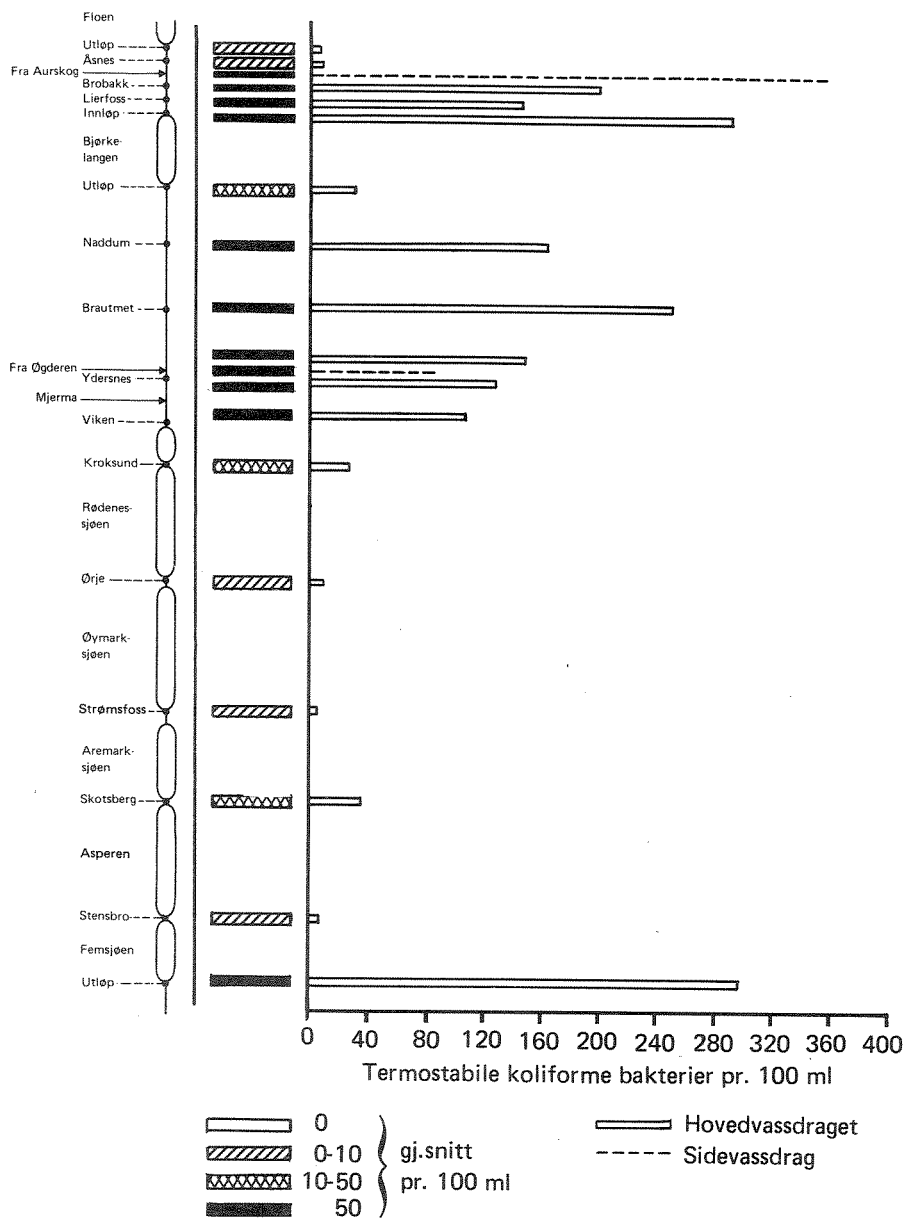
<sup>x</sup> Under sprangsjikt

<sup>\*\*</sup> Formazin Turbidity Unit

Figur 36. Variasjoner i fosfor- og nitrogenkonsentrasjoner samt N:P forholdet i vannmassene. Aritmetiske middelerverdier for 1981.



Figur 37. Forekomst av termostabile koliforme bakterier i Haldenvassdraget. Aritmetiske middelveier for 1977.



#### 4.7 Plantep plankton og eutrofieringsfenomener

##### Vannmassenes planteliv

Vegetasjonsforholdene i de fri vannmasser i Haldenvassdraget er tidligere omtalt i enkelte publikasjoner (bl.a. NIVA 1969, Skulberg 1965, 1978, 1980 I, 1980 II, Kotai et al. 1976, 1978, Romstad et al. 1972). Det vil i denne fremstilling bli lagt vekt på en behandling av plantep planktonet som viser biologiske virkninger av forurensningsbelastning.

Vannforekomstene i skog- og åslandskapet i Haldenvassdragets nedbørfelt er utpreget fattig på plantenæringsstoffer (fosfor- og nitrogenforbindelser). Vannmassene vil i slike tilfeller bare underholde en sparsom algevegetasjon vurdert ut fra mengde. Men det kan være en artsrik flora av alger som kommer til utvikling. Innholdet av organiske stoffer dannet av plantene i nedbørfeltet gjør vannet humuspåvirket (avsnitt 4.4). Dette kommer tilsyne i en algevegetasjon med samfunn hvor bl.a. arter av visse grønnalger (desmidiaceer) og gulalger (chrysophyceer) er artsrikt representert (Fagernæs 1979). Det kan være av interesse å nevne at det så tidlig som i 1878 ble gjort beskrivelser av desmidiaceer i nedbørfeltet til Haldenvassdraget (Wille 1880).

Næringsfattige (oligotrofe) vanntyper reagerer ømfintlig på tilførsler av plantenæringsstoffer. I hovedtrekkene kan virkningene sammenfattes forenklet som følger: Ved en svak høyning av plantenæringsstoffkonsentrasjonen i vannet blir det en stimulering av den algevegetasjon som allerede er tilstede i vannmassen. Artene som opprinnelig danner vegetasjonen, får en frodigere utvikling. Økes gjødselstofftilførselen, inntrer gradvis en endring av algesamfunnenes sammensetning, og arter som har vært fremmede, får en dominerende produksjonsmessig betydning. Dette fremgår bl.a. av utstrakte undersøkelser utført av Norsk institutt for vannforskning. Omfattende regionale observasjoner som er gjort av Brettum (1980), illustrerer på en instruktiv måte hvordan plantep planktonsamfunn endrer seg med hensyn til både artssammensetning og algemengde når vannmassenes næringsinnhold varierer. Følgende sitat kan gi en oppsummering av forholdene (Brettum, l.c. p. 37):

"For det første er hele algesamfunnet mer differensiert i de oligotrofe innsjøene. Ingen algegruppe blir helt dominerende, selv om *Chrysophyceae* (gulalger) ofte vil være den mest betydningsfulle gruppe i slike innsjøer. Mest differensiert er samfunnet i overgangen mellom et oligotroft og et mesotroft stadium. Etter hvert som innsjøene blir mer og mer eutrofe blir også algesamfunnet mer og mer dominert av artene innen enkelte klasser, først og fremst *Chlorophyceae* (grønnalger) og *Cyanophyceae* (blågrønnalger). Enkelte større, dype innsjøer vil gjerne ha en dominans av *Bacillariophyceae* (kiselalger, diatomeer) i et relativt tidlig stadium i en eutrofierende utvikling.

Karakteristisk for en rekke sterkt eutrofe innsjøer der den eutrofierende utvikling har skjedd relativt raskt, er store variasjoner i algesamfunnet, men som regel med sterk dominans av en algegruppe til enhver tid og da som regel med dominans av arter innen *Chlorophyceae* eller *Cyanophyceae*."

Eutrofieringen av Haldenvassdraget manifesterer seg bl.a. ved oppblomstringer av blågrønnalger (*Cyanophyceae*) om ettersommeren og høsten. Blågrønnalgene er dominerende i avsnittet Rødenessjøen - Øymarksjøen. På strekningen Aremarksjøen - Femsjøen er det kiselalger (*Bacillariophyceae*) som er relativt mer fremtredende (se fig. 45). I materialet som er bearbeidet, ble det funnet mer enn 100 arter av planteplanktonorganismer. Disse fordelte seg med 20 arter blågrønnalger, 40 arter grønnalger, 23 arter diatomeer og 18 arter flagellater. Både den kvalitative sammensetning av planktonet og den mengdemessige opptreden understreker den eutrofierende påvirkning som gjør seg gjeldende i Haldenvassdraget (Skulberg 1980 I).

Noen særpregede forhold med planktonet i hovedvassdragets innsjøer kan omtales. Da observasjonene av planteplanktonet i september er mest fullstendig (NIVA 1979 II, Del 5, tabeller 370-375), legges dette til grunn for beskrivelsen. Tabell 16 sammenstiller noen hovederfaringer.

Tabell 16. Viktige alger i innsjøenes september-plankton.

Symbol: +++ Fremtredende art

++ Vanlig

+ Forekommer

Klasse - art	Lokalitet	Bjørke- langen	Øgde- ren	Røde- nes- sjøen	Helge- tjern	Øy- mark- sjøen	Are- mark- sjøen	Asp- eren	Fem- sjøen
<b>CYANOPHYCEAE - blågrønnalger</b>									
Anabaena planctonica Brunth.					+	+			+
Aphanizomenon flos-aquae (L.) Ralfs		++		+++		++	+		
Coelosphaerium naegelianum Unger		+	++	+++		+++	+++	+++	+++
Oscillatoria agardhii Gom.					+++				
Oscillatoria agardhii var. isothrix Skuja		+++		++		++	+		
Oscillatoria cf. redekei van Goor					+				
<b>CHLOROPHYCEAE - grønnalger</b>									
Botryococcus braunii Kütz.			+						
Dictyosphaerium pulchellum Wood			++			+	+		
Pandorina morum (Müller) Bory			++						
Staurastrum Meyen spp.			++					+	++
<b>BACILLARIOPHYCEAE - kiselalger</b>									
Asterionella formosa Hass.		+	+++	+		+	++	++	++
Attheya zachariasii Brun.							++	++	
Fragilaria crotonensis Kitton			++	+		+			
Melosira Agardh spp.		++							
Rhizosolenia longiseta Zach.							+	++	++
Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kütz.			+++	+		++	++	++	+++
<b>FLAGELLATA - flagellater</b>									
Dinobryon Ehrenb. spp.			++				++		
Trachelomonas Ehrenb. spp.					++				

Tabell 17. Arter av blågrønnalger i innsjøenes plankton

Symbol: + Identifisert art

Orden - art	Lokalitet	Bjørke- langen	Øgde- ren	Røde- nes- sjøen	Helge- tjern	Øy- mark- sjøen	Are- mark- sjøen	Asp- eren	Fem- sjøen
<b>CHROOCOCCALES</b>									
Aphanocapsa delicatissima W. & G.S. West							+		
Aphanothece Næg. sp.							+		
Chroococcus turgidus (Kütz.) Næg.			+	+				+	
Coelosphaerium kützingianum Næg.							+		
Coelosphaerium naegelianum Unger		+	+	+		+	+	+	+
Gomphosphaeria aponina Kütz.			+	+		+	+	+	
Gomphosphaeria lacustris Chod			+	+		+	+	+	+
Merismopedia glauca (Ehrenb.) Næg.			+	+					+
Merismopedia Meyen sp.			+	+					+
Microcystis aeruginosa Kütz.			+	+		+	+		+
Microcystis flos-aquae (Wittr.) Kirch.			+	+		+	+	+	+
Microcystis Kütz. sp.			+	+		+			+
<b>HORMOGONALES</b>									
Anabaena circinalis Rabenh.			+	+		+	+	+	+
Anabaena flos-aquae (Lyngb.) Bréb.			+	+		+	+	+	+
Anabaena planctonica Brunth.		+	+	+	+	+	+	+	+
Anabaena spiroides Klebahn		+	+	+		+	+	+	+
Anabaena Bory spp.			+	+		+	+	+	+
Aphanizomenon flos-aquae (L.) Ralfs		+	+	+	+	+	+	+	+
Oscillatoria agardhii Gom.			+	+	+	+	+	+	+
Oscillatoria agardhii var. isothrix Skuja		+	+	+		+	+	+	+
Oscillatoria bornetii Zukal				+		+			
Oscillatoria limnetica Lemm.						+			
Oscillatoria limosa Ag.		+		+			+		
Oscillatoria cf. redekei van Goor					+				
Oscillatoria splendida Grev.			+	+				+	
Oscillatoria tenuis Ag.						+	+	+	
Oscillatoria Vaucher spp.			+			+	+		+
Pseudanabaena catenata Lauterb.				+			+		

- Bjørkelangen. Blågrønnalgen *Oscillatoria agardhii* var. *isothrix* er særlig fremtredende. Den har flere ganger hatt masseforekomst med vannblomstdannelse. Også blågrønnalgen *Aphanizomenon flos-aquae* er vanlig. Blant kiselalgene er arter av slekten *Melosira* et utpreget trekk.
- Rødenessjøen. Kolonidannende blågrønnalger, med *Coelosphaerium naegelianum* som karakteristisk art, gjør seg sterkt gjeldende. Blågrønnalgen *Aphanizomenon flos-aquae* er gjentagende ganger observert i vannblomst, mens *Oscillatoria agardhii* var. *isothrix* er mindre fremtredende sammenliknet med i Bjørkelangen.
- Øymarksjøen. Av blågrønnalgene er det *Coelosphaerium naegelianum* som har stor forekomst, men også *Aphanizomenon flos-aquae* er av viktighet. *Oscillatoria agardhii* var. *isothrix* utvikler seg på omlag tilsvarende måte som i Rødenessjøen. Kiselalger danner betydelige bestander med *Tabellaria fenestrata* og *Asterionella formosa* som typisk innslag. Grønnalger er artsrikt tilstede, en viktig art er *Dictyosphaerium pulchellum*.
- Aremarksjøen. Også her har blågrønnalgen *Coelosphaerium naegelianum* stor forekomst med tildels vannblomstdannelse. Blågrønnalgene *Aphanizomenon flos-aquae* og *Oscillatoria agardhii* var. *isothrix* har relativt mindre forekomst enn i innsjøene oppstrøms for Aremarksjøen. Kiselalger er derimot av økende betydning, og arter som *Asterionella formosa*, *Attheya zachariasii* og *Tabellaria fenestrata* er vanlige. Flagellater av slekten *Dinobryon* danner forholdsvis betydelige populasjoner.
- Asperen. Utviklingen av blågrønnalgen *Coelosphaerium naegelianum* er typisk. Kiselalger - med bl.a. artene *Asterionella formosa*, *Attheya zachariasii*, *Rhizosolenia longiseta* og *Tabellaria fenestrata* - er svært betydningsfulle. Grønnalger er artsrikt representert, med arter av slekten *Staurastrum* som et særpreget forhold.
- Femsjøen. Av blågrønnalgene er *Coelosphaerium naegelianum* den fremtredende art. Men gjennomgående er arter av kiselalger som

*Tabellaria fenestrata*, *Asterionella formosa* og *Rhizosolenia longiseta* de viktigste i planktonsamfunnet. På samme måte som i Asperen er grønnalger karakteristiske for denne innsjølokalitet.

- Øgderen. Stor artsrikdom gjør seg gjeldende. Det er kiselalger som er dominerende i planktonsamfunnet. Artene *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata* og *Fragilaria crotonensis* kan nevnes. Grønnalgene er representert med arter som *Dictyosphaerium pulchellum*, *Pandorina morum* og *Staurastrum* spp. En rekke flagellater er typiske, bl.a. arter av slekten *Dinobryon*.
- Helgetjernet. Denne lokaliteten har et ensidig planteplankton med noen få arter i dominans. Blågrønnalger er sterkt fremtredende. Vannblomstdannende art er først og fremst *Oscillatoria agardhii*. Flagellater kan i perioder danne masseforekomst, dette gjelder f.eks. arter av slekten *Trachelomonas*.

Sammenfattende kan det understrekes at planktonsamfunnene som utvikles i vassdragets øvre løp, transporteres med vannmassene gjennom hoyedvassdragets innsjøer. På hele strekningen er planktonet i stadig utvikling. I biologisk forstand er vassdraget et sammenhengende produksjonssystem gjennom hele nedbørfeltet. Undersøkelsene av algeplanktonet har tydelig demonstrert betydningen av tilførte utgangsbestander (opp-podning) for planktonsamfunnets sammensetning og utvikling i de enkelte innsjølokalitetene.

#### Blågrønnalger som indikatorarter

Enkelte organismer er tilstrekkelig kjent med hensyn til fysiologi og økologiske reaksjonsmåter til at det er mulig ut fra deres forekomst og utviklingsgrad å trekke slutninger om voksestedets miljøforhold. Slike arter betegnes som indikatorarter. Særlig gode indikatorarter er organismer som bare kan utvikle seg i et snevert område av en miljøfaktors variasjonsbredde. Innenfor alle algeklasser er det enkelte arter som setter strenge krav til voksestedet, og som derfor er gode indikatorarter. I denne sammenheng har f.eks. blågrønnalgene hatt en stor betydning ved studiet av vannforekomstenes kulturpåvirkning (Skulberg 1965).



Blågrønnalgene som er observert i planktonsamfunn i Haldenvassdraget og identifisert, er sammenstilt i tabell 17. De omfatter 12 arter av kolonidannende former (ordenen *Chroococcales*) og 16 arter av trådformige typer (ordenen *Hormogonales*). Følgende fem arter er nitrogenbindende former (med heterocyster):

*Anabaena circinalis* Rabenh., *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Bréb., *Anabaena planctonica* Brunth., *Anabaena spiroides* Klebahn, *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs.

Den store forekomst av blågrønnalger i Haldenvassdragets innsjøer er i seg selv en tydelig indikasjon på vassdragets grad av eutrofiering. Det er imidlertid nødvendig å vurdere den mengdemessige forekomst av indikatorarter, og deres forhold mot hele algesamfunnet, ved bedømmelsen av vannkvalitet ut fra planteplanktonanalyser. Blågrønnalger som danner masseforekomst i Haldenvassdraget omfatter bl.a. *Coelosphaerium naegelianum*, *Oscillatoria agardhi* var. *isothrix* og *Oscillatoria agardhi*. Dette er typiske arter som har forekomst i innsjølokaliteter med påvirkningsgrad i området eutrof til ultraeutrof (Skulberg 1968, Brettum 1980).

#### Invasjon av *Oscillatoria*

Ugressalger (ruderalearter) er en betegnelse for alger som innenfor et geografisk område hovedsakelig forekommer med store populasjoner på lokaliteter hvor det er påtakelig forstyrrelse på grunn av menneskelig påvirkning. Et karakteristisk trekk ved innsjøenes eutrofiutvikling er bl.a. invasjon av ugressalger (Skulberg 1980 I).

- Algeinvasjon er en plutselig utvikling til masseforekomst av en organisme som enten er ny i en lokalitet, eller som tidligere bare har hatt en praktisk talt ubetydelig forekomst der.
- Forstyrrelser av en vannforekomsts stoff- eller energikretslop gir ofte opphav til masseoppblomstring av blågrønnalger. I sammenheng med eutrofiering under norske naturforhold er algeinvasjoner med arter av *Oscillatoria* karakteristiske.
- En biogeografisk tolkning av årsak/virkningsforhold i algeinvasjoner med *Oscillatoria* understreker betydningen av opp-poding og utgangspopulasjonenes størrelse for en masseoppblomstring.

- Eutrofiering innebærer en sekvens av hendelser som vanlig resulterer i masseutvikling av blågrønnalger. Urbanisering og intensiv jordbruksvirksomhet innebærer at små vassdrag i nedbørfeltet blir sterkt næringsrike. Dette blir steder hvor blågrønnalger utvikler frodige forekomster. Fra slike reservoarer podes vannsystemene med utgangsbestander av blågrønnalger som av fysiologiske eller økologiske årsaker konkurrerer ut andre alger.

I Haldenvassdraget har invasjoner av arter av blågrønnalgeslekten *Oscillatoria* nettopp vært et fremtredende utviklingstrekk. Noen fenomener som er observert i løpet av undersøkelsesperioden kan belyse dette.

*Oscillatoria agardhii* var.*isothrix* har regelmessige oppblomstringer i vassdragets øvre løp med innsjøen Bjørkelangen som spredningssenter. I 1974 ble det for første gang påvist masseutvikling av denne blågrønnalgen i Rødenessjøen, Øymarksjøen og Aremarksjøen.

Den plutselige oppblomstring av en rødfarget *Oscillatoria agardhii* i Helgetjernet (Marker kommune) sommeren 1979 var et eksempel på en algeinvasjon (se fig. 38 med beskrivelse i tekst).

#### Vannblomst med blågrønnalger

Begrepet "vannblomst" brukes om forholdsvis plutselige utviklinger av store populasjoner av én eller noen få algearter i planteplanktonet (Odum 1957). Disse algene vil da gjerne opptre i så stor mengde at de setter tydelig farge på vannmassene. Overproduksjon med alger i innsjøer og elver kan forårsake forskjellige problemer. Noen sedvanlige eksempler på slike forhold kan nevnes (Skulberg 1981).

- Uønskede arter av alger utvikler masseforekomst. Det blir forstyrrelser i innsjøenes og elvenes biologiske systemer. Praktiske problemer melder seg for bruk av vannet. Algene gir opphav til vanskeligheter for teknisk behandling av vann, estetiske og helsemessige forhold påvirkes på uheldig måte.
- Vannkvaliteten påvirkes av stoffer som skilles ut fra algene eller dannes ved nedbryting av dødt algemateriale. Lukt- og smaksproblemer kan bli alvorlige følger av dette i drikkevannsforsyninger. Det kan bli vekst av giftige alger (Skulberg 1972). I vannverk gir klorering av algeholdig vann muligheter for dannelse av klorfenoler og haloformer. Dette er stoffer forbundet med betenkelige hygieniske og helsemessige risikoer.

Nyere undersøkelser har vist at det nå er flere *Oscillatoria*-arter som er vanlige i norske innsjøer med vannblomstfenomener (Skulberg 1980 I). Det er særlig arter av formkretsen *Oscillatoria agardhi* som kommer til utvikling i kulturpåvirkede lokaliteter. Observasjonene i Haldenvassdraget gir en understrekning av denne tendens.

Det er flere lokaliteter i hovedvassdraget som har regelmessig utvikling av vannblomst. Helgetjernet er et godt eksempel i denne forbindelse. Helgetjernet ligger i et lite nedbørfelt ved Ørje - Marker kommune - med avrenning til Krokstattjernet, som er en del av Rødenessjøen i hovedvassdraget.

I begynnelsen av juni 1979 ble det observert en algeoppblomstring i Helgetjernet (NIVA 1979 III). Hele tjernet fikk en rød-brun-gul farge. Ved visuell betraktning av en prøve av vannet var det tydelig å se algetråder i store mengder. Mikroskopering viste at det var *Oscillatoria agardhi*, og ut fra fargen på algemassen ble det sluttet at det var den røde formen av *O. agardhi* som dominerte. Ved mikroskopering på isolerte algetråder kan det ofte være vanskelig å skille den røde og den grønne formen. Den mengdemessige forekomst av *Oscillatoria agardhi* (rød form) i Helgetjernet er den største populasjonstetthet for *Oscillatoria* som hittil er rapportert i landet vårt. Algen hadde betydelig forekomst i Krokstattjernet, og i prøvene fra Rødenessjøen og Øymarksjøen ble den også funnet, men i mindre mengder (fig. 38).

I fig. 39 er det gjort en grafisk fremstilling av noen eksempler på biomasse under særlig store algeoppblomstringer i utvalgte innsjøer. Det fremgår av dette at vannblomstfenomener på enkelte lokaliteter i Haldenvassdraget hører til de største konsentrasjoner av alger som er observert i norske eutrofe innsjøer.

#### Innsjøenes vinterplankton med alger

Observasjonene av algeplanktonet er hovedsakelig gjort i sommerhalvåret, spesielt under oppblomstringen av alger om ettersommeren og høsten (håvtrekkplankton - september, tabeller 370-375, NIVA 1979 II).

På grunnlag av sestonundersøkelser (Lindstrøm et al. 1976), og enkelte spredte prøvetakinger, er det mulig å gi noen holdepunkter om planteplanktonets forekomst i vinterhalvåret.

I Rødenessjøen er det blitt gjort prøvetaking av seston over lengre tidsrom (Vannverket i Ørje, Marker kommune). Erfaringene fra dette viser at algeutviklingen i de fri vannmasser hovedsaklig følger det sedvanlige mønster for innsjøer på Østlandet (Skulberg 1980 I). Det er liten biomasse av alger under vintersituasjonen. Straks etter isløsning blir det rask vekst av populasjoner med planktonalger. En suksesjon av alger finner sted. Algene har vanlig størst forekomst om ettersommeren, og de viser nedgang i mengde gjennom høstmånedene frem mot isleggingen.

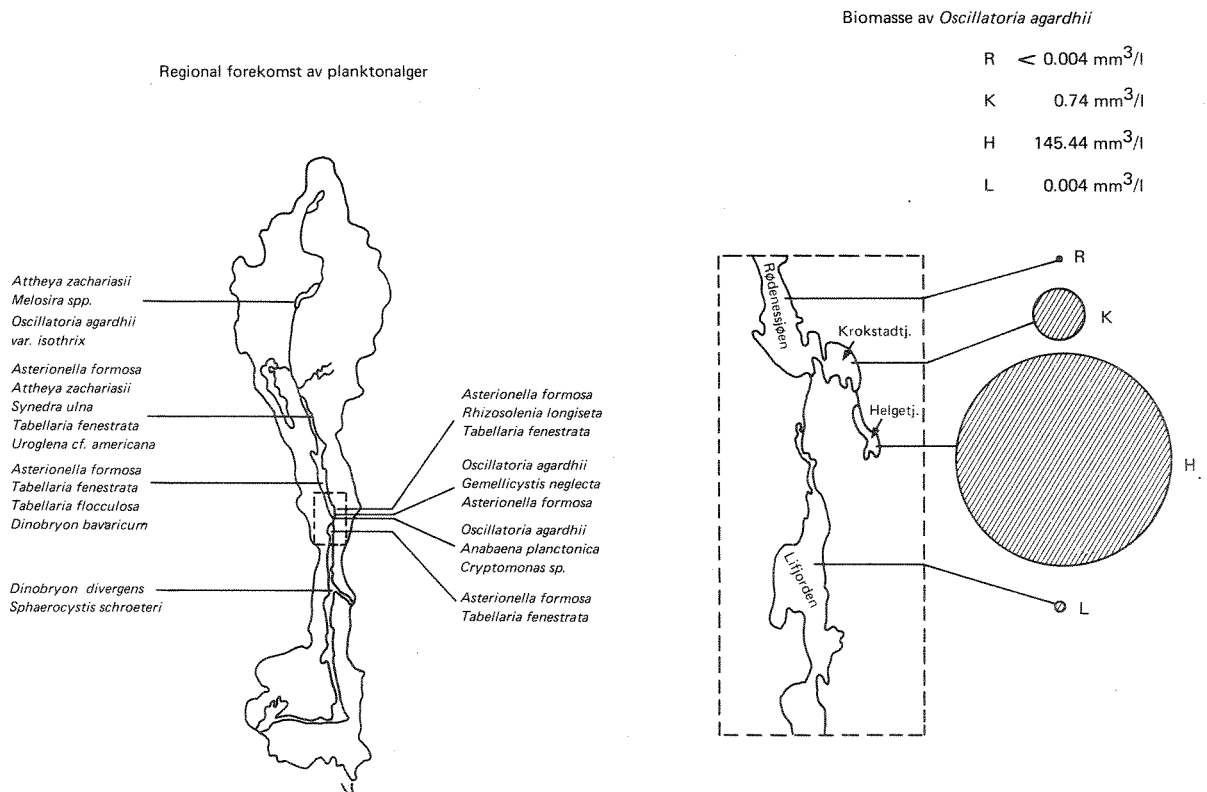
Avvik kan gjøre seg gjeldende i enkelte år og på enkelte lokaliteter. Det kan nevnes tilfeller med vinteroppblomstringer av enkelte arter (f.eks. i Helgetjernet 1979, 1980; vannblomst av flagellaten *Trachelomonas* spp.). Grønnfarget is er påvist sporadisk. Dette har vært forårsaket av lokale masseforekomster av flagellaten *Chlamydomonas* spp., utviklet eller anrikt i sprekkssystemer i isdekket. Røde flekker i isen på Rødenessjøen i 1978 besto av innefrosne ansamlinger av grønnalgen *Botryococcus braunii*.

I tabell 18 er det stilt sammen noen resultater med observasjoner av alger i vinterplanktonet. Bortsett fra at det er små konsentrasjoner av planteplankton, er det et forholdsvis artsrikt organismsamfunn som er tilstede i vannmassene med karakteristiske arter for Haldenvassdraget. Disse algene danner utgangsbestander for planktonutviklingen etter isløsningen. Stor vannføring og spesielle strømforhold medfører da en effektiv spredning av organismene.

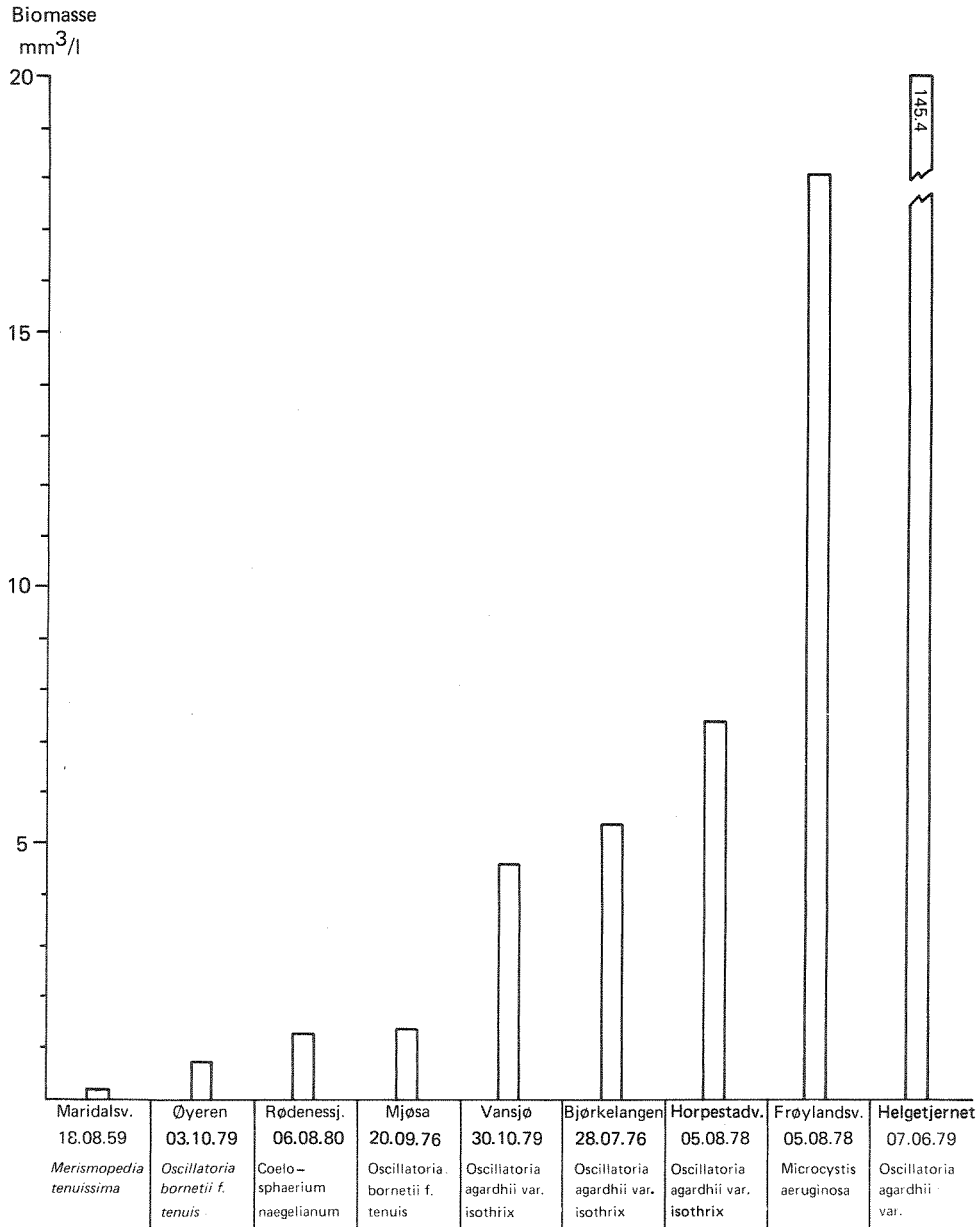
Teksten forts. side 109 ....



Figur 38. Oppblomstring av *Oscillatoria agardhii* i Helgetjernet, Marker kommune. Observasjoner 7. juni 1979.



Figur 39. Eksempler på biomasse av blågrønnalger under algeoppblomstringer.



#### 4.8 Begroingsorganismer i vassdraget

##### Begroing i strømmende vann

Organismene i en elv kan med hensyn til den rolle de spiller i økosystemets stoffomsetning, deles inn i primærprodusenter, konsumenter og nedbrytere. De viktigste primærprodusenter er alger og høyere vannplanter. Disse er autotrofe organismer, dvs. de omformer uorganisk stoff til organisk materiale. Energien til denne prosess kommer fra sollyset som plantene absorberer i spesielle fargestoffer. Prosessen kalles fotosyntese. Ved fotosyntesen assimileres karbondioksyd som er karbonkilden for produksjon av organisk stoff. Ut over vann og karbondioksyd trenger plantene en rekke plantenæringsstoffer i større eller mindre mengde. De viktigste er nitrogen-, fosfor-, kalium- og magnesiumforbindelser. Oksygen blir avgitt ved fotosyntesen.

I likhet med andre organismer respirerer (ånder) også plantene. Prosessen frigjør energi ved forbrenning av organisk stoff. Ved respirasjonen blir oksygen tatt opp og karbondioksyd avgitt.

Konsumentene lever enten direkte eller indirekte av hva plantene produserer. På denne måten dannes næringskjeder som begynner med en primærprodusent, og som kan omfatte mange ledd av konsumenter. Konsumentene er heterotrofe organismer, dvs. de skaffer seg energi og næring fra organisk materiale. Dette skjer ved respirasjon. Til konsumentene i elver hører f.eks. insektlarver, snegler, krepsdyr og fisk (Macan 1973).

Nedbryterne omdanner dødt organisk materiale til uorganiske forbindelser. De lever altså også heterotroft. De viktigste organismene i denne gruppen er bakterier, sopp og protozoer. Nedbryterne bevirker at plantenæringsstoffene resirkuleres til primærprodusentene.

De tre organismegruppene - primærprodusenter, konsumenter og nedbrytere - gjennomfører tilsammen økosystemets biologiske energi- og stoffomsetning. De er alle avhengige av hverandres aktivitet.

Det er ennå langt frem til en fullverdig beskrivelse av organismsamfunnene i Haldenvassdraget (Hardeng 1981). Det gjelder også begroingsorganismene, prosessene de gjennomfører, og den betydning de har for forholdene i vassdraget. I det følgende blir det gitt en forenklet fremstilling av forekomst av algebegroing og enkelte mikroorganismer som er nær knyttet til denne begroing.



### Miljøfaktorer og algebegroing

Algene i et vassdrag fordeler seg mellom samfunn knyttet til et underlag (benthos) og samfunn som lever i de frie vannmasser (plankton og nekton). Det vil imidlertid stadig være et bidrag fra de benthiske samfunn til en drift av alger og algefragmenter med det strømmende vann. I elver er algene gjerne de viktigste primærprodusenter.

I rennende vann er strømhastigheten en viktig faktor for produksjonen av alger. Strømmen fornyer tilgangen på næringsstoffer og transporterer bort biprodukter fra metabolismen (Odum 1956, Hynes 1970). Derved forsterkes gradienten i næringskonsentrasjonen rundt algecellene og opp-taket lettes (Whitford et al. 1961). Algeproduksjonen i en elv vil ofte variere med strømhastigheten.

Det strømmende vannets mekaniske effekt er av stor betydning for utviklingen av algebegroing i elver. Store variasjoner i vannføring og strømningshastighet gir periodevis løsrivning av algevegetasjonen. I elver med små vannføringsvariasjoner begunstigetes vegetasjonen av de stabile forholdene slik at masseforekomst blir muliggjort.

Benthiske samfunn er bundet til et bestemt område av vassdraget. Organismene knyttet til disse samfunn, lever omgitt av strømmende vannmasser som varierer i kjemiske og fysiske egenskaper omkring et gjennomsnitt som er karakteristisk for det aktuelle sted i vassdraget. Det gjør seg gjeldende varierende artssammensetning og begroingsmengde, avhengig av miljøforholdene på de ulike avsnitt i vassdraget.

Det er betydelige metodiske vanskelighetet med å undersøke algebegroing i strømmende vann. Et omfattende arbeid må gjennomføres for å kunne gi et materiale som på representativ måte belyser de variasjoner som gjør seg gjeldende i tid og sted.

Sammenheng mellom forurensningsbelastning og algebegroing er en viktig spørsmålsstilling i denne undersøkelse. Det er en rekke miljøfaktorer som kontrollerer utviklingen av alger i elvene og bekkene det gjelder. Til de viktigste hører temperatur, lys, strømhastighet, substrat, vann-

kjemi og beiting. Algebegroingen har en vekslende utvikling gjennom årstidene og med de meteorologiske betingelser. Forurensningspåvirkning har direkte og indirekte konsekvenser for så godt som alle de nevnte miljøfaktorer og deres innbyrdes sammenheng.

De foreliggende resultatene fra Haldenvassdraget har vist at det gjør seg gjeldende tildels raske og vesentlige endringer i algesammensetning og begroingsmengde på lokalitetene. Dette innebærer at det er nødvendig med et tett observasjonsnett og stor prøvetakingsfrekvens for å kunne registrere de aktuelle forhold. Foreløpig er det imidlertid ikke gjort forsøk på å måle den kvantitative forekomst (biomasse) av begroingssamfunnene.

Det er gjort et innledende feltarbeid i Haldenvassdraget med observasjoner og prøveinnsamling på utvalgte lokaliteter. Materialet er delvis analysert for å beskrive forekomst av algebegroing. Hovedvekten er lagt på en floristisk-taksonomisk karakterisering av vegetasjonen. Indikatorarter og indikatorsamfunn i forbindelse med forurensningspåvirkning var av spesiell interesse for oppgaven. Tidligere algologiske undersøkelser av vegetasjon i strømmende vann i Haldenvassdraget er sparsomme, og de er ikke gjennomført på systematisk måte.

I tabell 19 er det laget en oversikt over noen observerte arter som inngikk i begroingssamfunn i Haldenvassdraget. De er ordnet etter lokaliteter for hurtigstrømmende vann og stilleflytende vann, og henholdsvis etter om lokaliteten er lite påvirket eller forurenset. Listen omfatter mer enn seksti algearter. En grundigere systematisk bearbeiding av begroingsprøvene ville ha øket dette antall betydelig. Det var særlig algeklassene blågrønnalger (*Cyanophyceae*), kiselalger (*Bacillariophyceae*) og grønnalger (*Chlorophyceae*) som hadde de fleste artene i begroingssamfunnene. Stor mengdemessig betydning hadde imidlertid et mindre utvalg av arter. Disse kan omtales kort.

Blågrønnalgen *Phormidium autumnale* har stor forekomst på vassdragsstrekninger med forurenset vann. Den danner utstrakte belegg - inntil centimeter-tykke - og er svartglinsende av utseende. Inn mot underlaget er det anaerobe forhold på grunn av organisk stoff i forråtnelse. I tilknytning til de samme begroingssamfunn inngår grønnalgen *Vaucheria cf. walzi*. Vokse-

Tabell 19. Begroings-samfunn i Haldenvassdraget - oversikt over noen observerte arter.

Symbol: +++ Store bestander  
 ++ Vanlig forekommende  
 + Små bestander

Lokalitet Organismegruppe - art	Hurtigstrømmende vann		Stilleflytende vann	
	Lite påvirket	Forurenset	Lite påvirket	Forurenset
<b>SCHIZOMYCETES - bakterier</b>				
Beggiatoa alba (Vauch.) Trev.				+
Cladotrix dichotoma Cohn	+	++		++
Leptothrix ochracea Kg.		+	+	++
Sphaerotilus natans Kg.		+++		+
Spirillum cf. kolkwitzii Bav.				++
Zoogloea ramigera Itzigsohn		+	+	+++
<b>CYANOPHYCEAE - blågrønnalger</b>				
Dichotrix orsiniana Born. et Flah.	+			
Lyngbya Agardh spp.			+	
Oscillatoria cf. chlorina Kütz.		+		
Oscillatoria limosa Ag.		+		++
Oscillatoria tenuis Ag.		++		+
Oscillatoria Vaucher spp.	+	++	+	++
Phormidium autumnale (Ag.) Gom.		+++		++
Phormidium Kütz. spp.		+	+	
Plectonema Thuret sp.	+			
Pseudanabaena Lauterborn sp.		++		++
Stigonema mamillosum (Lyngbye) Ag.	++			
Tolypothrix Kützing sp.	++			
<b>BACILLARIOPHYCEAE - kiselalger</b>				
Achnanthes Bory spp.	+	++	+	+
Amphora ovalis Kütz.			++	
Ceratoneis arcus Kütz.	+		++	
Cymatopleura solea (Breb.) Smith.			++	
Cymbella cf. affinis Kütz.			++	
Diatoma elongatum Aaradh		++		+
Fragilaria Lyngbye spp.		++		+
Gomphonema olivaceum (Lyngbye) Kütz.	+			
Navicula crvotocenhala Kütz.	+	+	+	++
Navicula Bory spp.		+	+	
Nitzschia palea Kütz.		++		+++
Nitzschia Hassal spp.		++		++
Pinnularia Ehrenberg spp.		+		
Surirella ovata Kütz.			++	
Synedra ulna (Nitzsch.) Ehr.	+	+	+	++
Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kütz.	+		+	
Tabellaria flocculosa (Roth) Kütz.	+++		++	
<b>CHLOROPHYCEAE - grønnalger</b>				
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs.			+	++
Arthrodesmus incus (Breb.) Hass.			++	
Bulbochaete Agardh sp.	++	+		
Chlamydomonas Ehrenberg sp.			+	++
Closterium cf. acerosum (Schr.) Ehrenb.				++
Cosmarium undulatum Corda			+	
Cosmarium Corda spp.	+		+	
Cylindrocystis Meneghini sp.	+		++	
Desmidium Agardh spp.			++	
Draparnaldia glomerata (Vauch.) Agardh	+	++		++
Gymnozyga moniliformis Ehrenb.	+			
Hyalotheca dissiliens (Smith) Breb.			+	
Microspora amoena (Kützing) Rabenhorst	+	+++		+
Mougeotia laetevirens (Braun) Wittrock			+++	
Mougeotia Agardh spp.	+	+	++	++
Netrium (Näg.) Itzigs et Rothe sp.			+	
Oedogonium Link spp.	++	+		+
Pediastrum boryanum (Turp.) Menegh.			+	++
Pediastrum tetras (Ehr.) Ralfs.			+	++
Scenedesmus obliquus (Turp.) Kütz.			+	++
Scenedesmus quadricauda (Turp.) Breb.			+	++
Scenedesmus Meyen spp.				++
Spirogyra Link. spp.	++		+	
Spondylosium planum Walle (West & West)	+			
Staurastrum apiculatum Breb.			+	+
Staurastrum brebissonii Arch.				++
Staurastrum Meyen spp.	+			
Stigeoclonium tenue Rabenh.		+++		+
Ulothrix zonata Kützing	+	++		
Ulothrix Agardh spp.	++	+		
Vaucheria cf. walzi Rothert		++		+++
Zygnema Agardh spp.	+++		+	
<b>RHODOPHYCEAE - rødalger</b>				
Batrachospermum vagum (Roth) C.A. Agardh			+	
Batrachospermum moniliforme Roth	++			
Chantransia chalybea var. leibleinii (Kütz.) Roth	+	++		
Lemanea fluviatilis (L.) Ag.	+	++		
<b>VARIA</b>				
Amoebina				+
Antophysa vegetans (O.F. Müller) Stein				++
Carchesium cf. polypinum Linné				+
Euglena Ehrenberg spp.			+	++
Holotricha				+++
Leptomitius lacteus (Roth) Ag.		+		++
Spirotricha		+	+	
Vorticella cf. microstoma Ehrenberg				++

formen er tueliknende eller polsterliknende matter. Den utvikler seg over løse sedimenter, og er tildels en viktig erosjonsbeskytter. På lokaliteter med forurensningsbelastning og rasktstrømmende vann er de lysegrønne begroinger med *Stigeoclonium tenue* vanlige. Det samme gjelder den mer mørkegrønne *Microspora amoena*. Den sistnevnte arten er kanskje den mest fremtredende alge i Haldenvassdraget regionalt vurdert. Den utgjør en betydelig biomasse på mange lokaliteter. I rasktstrømmende vann på lokaliteter med liten påvirkning av forurensninger er arter av grønnalgeslekten *Zygnema* karakteristiske. Tilsvarende i mer stilleflytende avsnitt gjør arter av grønnalgeslekten *Mougeotia* seg gjeldende. Det kan nevnes at *Mougeotia laetevirens* danner masseutvikling på enkelte lite påvirkede lokaliteter.

Vegetasjonen av fastsittende alger kan klassifiseres etter floratype (Israelson 1949). Bare forholdsvis begrensede deler av hovedvassdraget er av *Zygnema*-type (oligotrof karakter). Det er vegetasjon av *Vaucheria*-type (eutrof karakter) som er mest utbredt. Betydelige innslag av polysaprobe organismer (bakterier, sopp og protozoer) inngår i begroingssamfunnene på vassdragsstrekninger hvor vannets evne til selvrensning er overskredet.

#### 4.9 Sammenliknende undersøkelser av vannkvalitet og forurensningsvirkninger i forsøksrenner

For å beskrive sammenheng mellom vannmassenes belastning med forurensninger og deres fremherskende biologiske tilstand, ble det gjort noen observasjoner under eksperimentelle forutsetninger (Skulberg 1974 II). Ved Bjørkelangen, Fosser og Ørje ble det laget enkle, utendørs forsøksoppstillinger (bioteststasjoner - fig. 1). Utformingen av forsøksoppstillingene, og noen opplysninger om forsøksbetingelser, er sammenstilt i fig. 40. Det vises forøvrig til tidligere publiserte fremstillinger hvor det faglige resonnement og den praktiske fremgangsmåte ved observasjonene er behandlet (Skulberg 1975, 1977).

I forsøksrennene med gjennomstrømmende vann ble det utført observasjoner av endringer i organismesamfunn og biologisk produksjon gjennom tiden. Forutsetningene for observasjonene var godt definert; tildels kontrollerte betingelser (vannføring og vannstand - oppholdstid og strømforhold), tildels målbare miljøfaktorer (kjemiske og fysiske faktorer - konsentrasjon og intensitet). De biologiske undersøkelser omfattet utviklingen av populasjoner i begroingssamfunn - kvalitativt og kvantitativt, og målinger av organisk stoff - biomasse. Noen utvalgte resultater av de orienterende forsøk blir behandlet i det følgende.

##### Bedømmelse av biologisk vannkvalitet

I diagrammet fig. 41 er det gitt en skjematisk fremstilling av begroings-samfunnene i forsøksrennene på bioteststasjonene. Det er resultatene fra 1976 som er lagt til grunn for bedømmelsen.

Ved Bjørkelangen var blågrønnalger samt bakterier, sopp og protozoer (heterotrofe organismer) de fremtredende i begroingssamfunnet. Dette representerer en type organismesamfunn som er karakteristisk for næringsrikt vann med stor konsentrasjon av boligkloakkvann (Fjerdingsstad 1964). Utviklingen av begroingssamfunnet ved Fosser viste et tydelig større innslag av diatomeer og grønnalger (autotrofe organismer). For bioteststasjonen ved Ørje var denne tendens ennå sterkere fremhevet. Rentvannsorganismer og organismer knyttet til lite forurenset vann (oligosaprobe, Sládeček 1973) var dominerende under de aktuelle forhold.

Observasjonene av organismesamfunnenes sammensetning på bioteststasjonene er i god overensstemmelse med de øvrige resultatene som beskriver situasjonen i vassdraget på elvestrekningene det gjelder (avsnitt 4.7). Gjensidig understøtter de vurderingen av forurensningsgraden til vannmassene i Haldenvassdraget.

#### Mengdeutvikling av begroingsorganismer

Forsøksrennene ga god anledning til å måle og følge utviklingen av biomasse i begroingssamfunnet med tiden. Så snart vannet ledes inn, begynner en kolonisering med begroingsorganismer på alle overflater. En suksesjon av arter kan registreres. I løpet av noen uker ble arts-sammensetningen og begroingsmengden hovedsakelig utviklet i likevekt med miljøfaktorene som var fremherskende.

Resultater av vektbestemmelser av innhøstet biologisk materiale fra forsøksrennene på de tre bioteststasjonene sommeren 1976 er grafisk fremstilt i fig. 42. Alger utgjorde mer enn 90% av den biomasse som var utviklet. Resultatene viser at mengden av begroingsorganismer som kan høstes i forsøksrennene på bioteststasjonene, tilsvarte  $10-20 \text{ g/m}^2$  - organisk stoff bestemt som tørrvekt - i løpet av måleperiodene. Det gjorde seg gjeldende variasjoner med tid og sted i den aktuelle mengdeutvikling med begroingsorganismer. Observasjonsmaterialet var for lite til å muliggjøre noen nærmere drøftelse av dette forhold.

#### Miljøfaktorer og biomassepotensial for begroingsalger

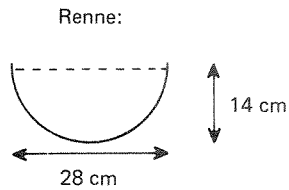
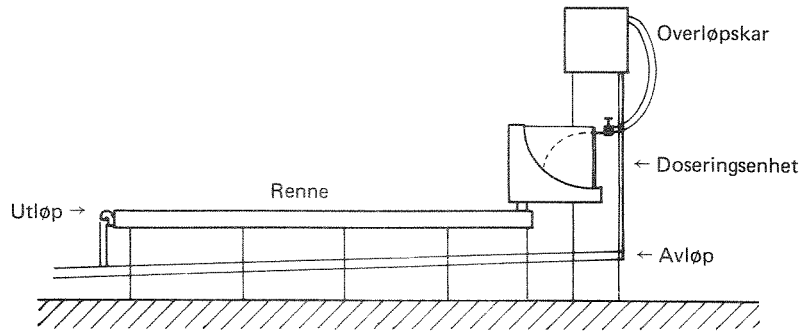
Noen observasjoner fra bioteststasjonen ved Ørje ettersommer og høst 1979 blir tatt med for å vise sammenheng mellom miljøfaktorer og algeutvikling i begroingssamfunn. I tidsrommet juli - oktober ble det gjort fire innhøstninger av organismesamfunnet i en forsøksrenne. Ved prøvetakingene ble hele rennelengden rensset for begroingsorganismer, og ny utvikling av begroing fant sted. Diatomeer og grønnalger var de viktigste komponenter i samfunnet i hele forsøksperioden.

I fig. 43 er vektbestemmelsene av begroingssamfunnet grafisk fremstilt sammen med data for globalstråling og vanntemperatur. Det viste seg at

i en periode med jevnt synkende globalstråling og vanntemperatur, gjorde det seg gjeldende betydelige variasjoner i etableringshastighet og biomasseutvikling for begroingsamfunnene i forsøksrenna. Hverken lys eller temperatur begrenset utviklingen av alger i dette tilfellet. De observerte variasjoner i utviklingen av begroingsalger gjennom forsøksperioden var tilsynelatende bestemt av vannmassenes ulike innhold av plantenæringsstoffer tilgjengelig for algevekst.

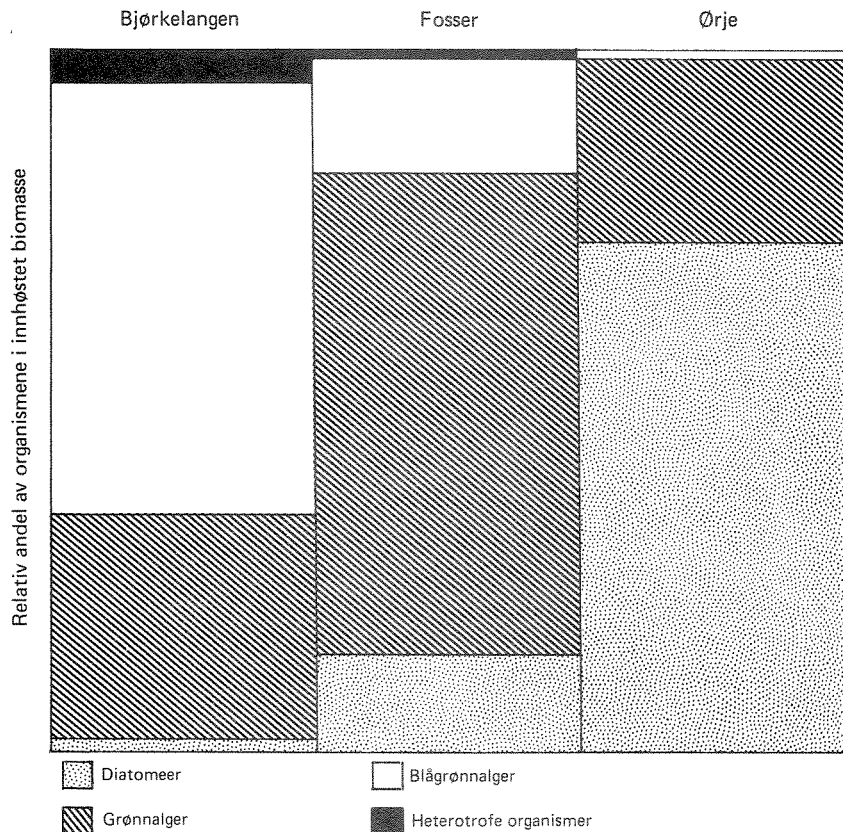
Med utgangspunkt i undersøkelsene på bioteststasjonene er det mulig å foreta en sammenlikning av forholdene på de tre vassdragsavsnitt med hensyn til biomassepotensial for begroingsalger. Til grunn for beregningene legges en vannføring på  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , og at vegetasjonsperioden utgjør 210 døgn (mai-november). Beregningsresultatene er fremstilt grafisk i fig. 44. Det fremstår en betydelig gradient i biomassepotensial for begroingsalger på vassdragsavsnittet fra Bjørkelangen til Ørje. Regionalt vurdert er vannmassene i Hølandselva av en svært næringsrik type. Imidlertid må det understrekes at dette bare er et eksempel på hvordan forholdene kan være. Et betydelig større datagrunnlag er nødvendig for å kunne kvantifisere den situasjon som eksisterer og gjelder for Haldenvassdraget.

Figur 40. Utforming av bioteststasjon.



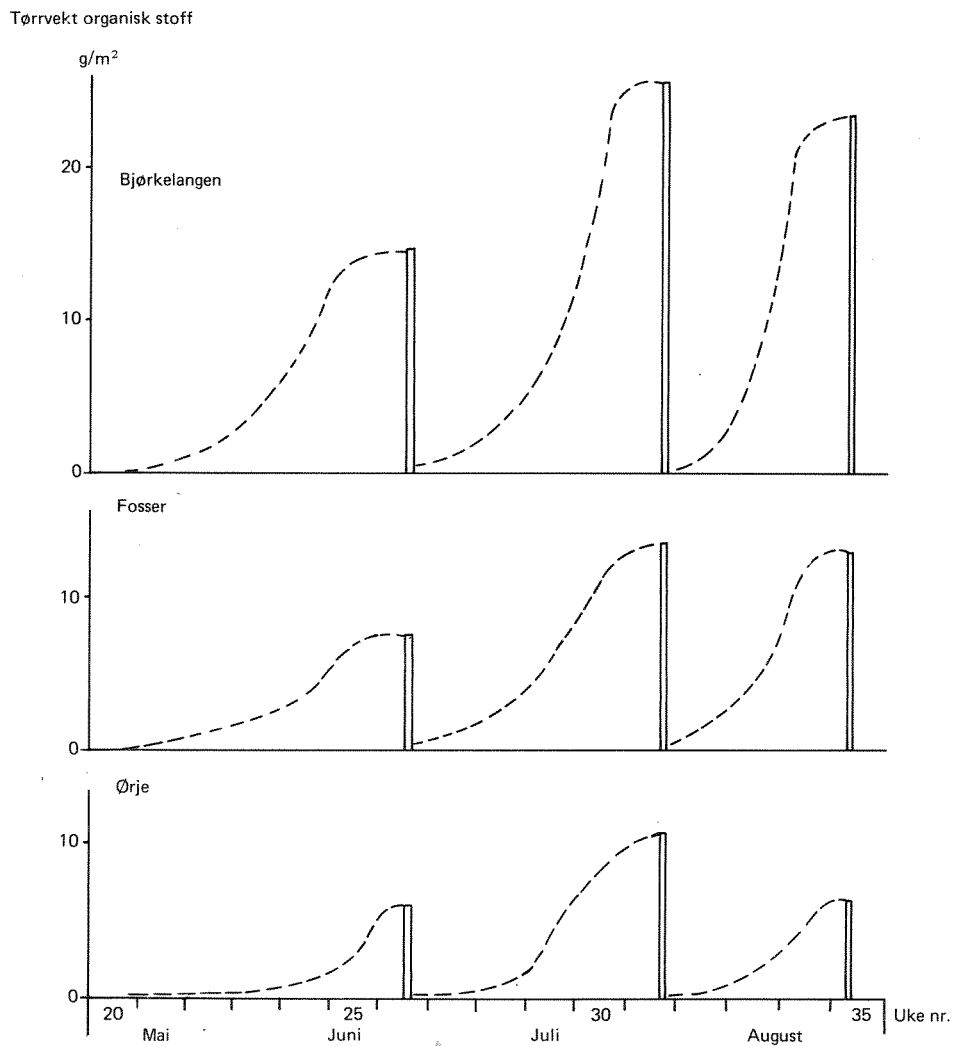
Tverrsnitt av profil	308 cm <sup>2</sup>
Lengde	420 cm
Volum	129 l
Vannføring	0,5 l/sek.
Oppholdstid	4,3 min.
Vannhastighet	100 cm/min.
Vanninntak	0,5 - 1 m dyp

Figur 41. Skjematisk fremstilling av begroingsamfunn på bioteststasjonene i 1976.

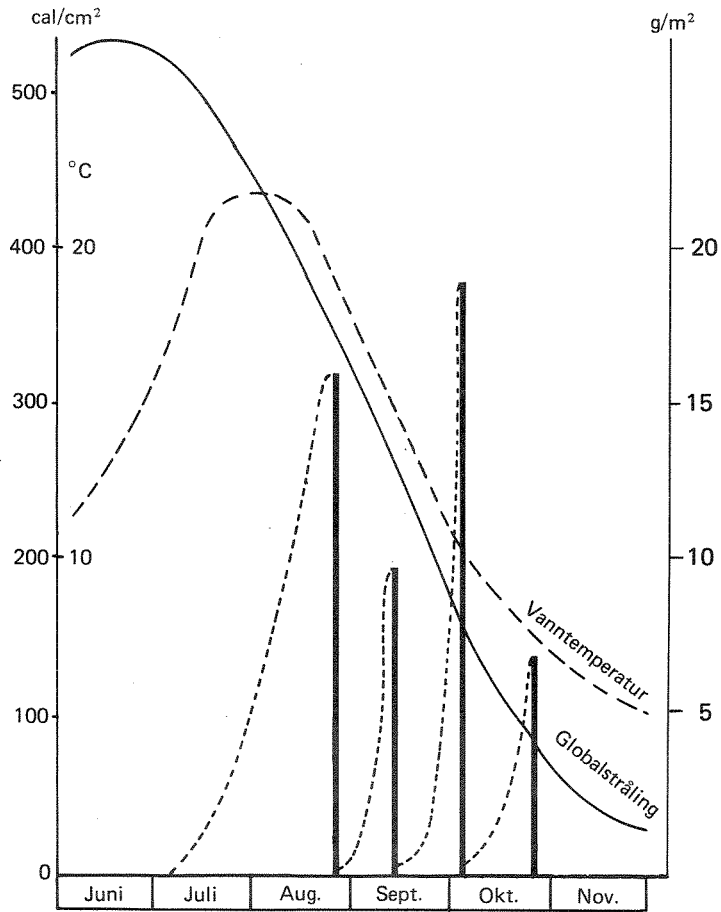




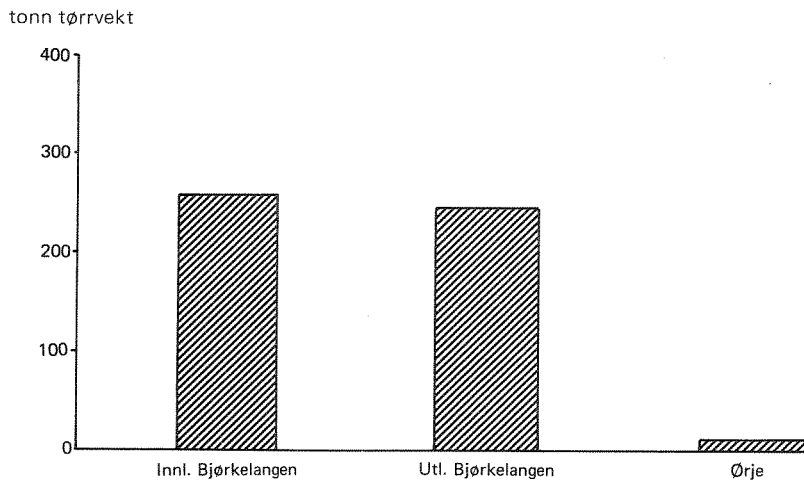
Figur 42. Mengdeutvikling av begroingsorganismer.



Figur 43. Eksempel på utvikling av begroingsamfunn dominert av alger. Globalstråling, vanntemperatur og høstet algebiomasse i forsøksrenne. Bioteststasjon Ørje, 1979.



Figur 44. Eksempel på biomassepotensial for begroingsalger. Beregnede verdier ut fra vannføring  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  gjennom vegetasjonsperioden.



#### 4.10 Høyere vegetasjon og tilgroingsforhold

Det er foreløpig bare gjort noen sparsomme direkte undersøkelser av forekomst og utvikling av høyere vegetasjon i Haldenvassdraget i forbindelse med problemstillinger knyttet til vannkvalitet og forurensning. Enkelte resultater som tidligere er publisert (Rørslett et al. 1968, NIVA 1974, Rørslett 1976, Skulberg 1974 III, Skulberg 1978), og noen observasjoner som er gjort samtidig med annet feltarbeid i vassdraget, kan omtales på kortfattet måte.

##### Sonasjon og suksesjon

Tilgroing med høyere vegetasjon omfatter en rekke dynamiske prosesser i vannforekomstene (Rørslett 1976). Plantebeltene rykker utover fra strandflatene, det skjer en tilgrunning av vannområdene (sedimenttilførsel eller opphopning av organisk materiale), og vannsystemet vokser mer eller mindre igjen med vegetasjon. Tilgroing er et naturlig hendelsesforløp betinget av samspill mellom flere miljøfaktorer (Weber 1907). Liermosen ved Bjørkelangen er f.eks. en tidligere innsjø som gradvis gikk over til et myr- og skogområde. Men menneskelig virksomhet kan direkte og indirekte bidra til at tilgroing blir betydelig stimulert, og tildels får et omfang som lager praktiske problemer.

Det er gammel erfaring i Haldenvassdragets nedbørfelt at det gjør seg gjeldende tilgroing i innsjøer og stilleflytende vassdragsavsnitt. Det heter f.eks. i en beskrivelse av Høland herred (Vibe 1897) at "Hemnesjøen, ogsaa kaldet Øgderen, er en smuk sjø med talrige, sivfylde vik og løvbevoksede øer. - Dens utløb skal holde paa at gro igjen af siv, hvoraf der vokser store mængder langs den grunde sjøs strande". På liknende måte i dag er planteveksten langs breddene av Haldenvassdraget mange steder både artsrik og frodig. Blant de storvokste artene er takrør (*Phragmites australis*), sjøsivaks (*Scirpus lacustris*) og dunkjevle (*Typha* spp.) vanlige. De regnes som sumpplanter (helofytter), og finnes gjerne nærmest strandbreddene. På dypere vann vokser planter med flyteblad (nymphaeider). Typiske representanter for disse i Haldenvassdraget er vass-slirekne (*Polygonum amphibium*), gul nøkkerose (*Nuphar luteum*), hvit nøkkerose (*Nymphaea alba*) og vanlig tjønnaks (*Potamogeton natans*).

På større dyp er det undervannsplanter (elodeider) som vokser, med arter som bl.a. tusenblad (*Myriophyllum alterniflorum*) og hjertetjønnsaks (*Potamogeton perfoliatus*). Kortsquddsplanter (isoetider) vokser utenfor beltet av elodeidene, eksempler kan være brasmegras (*Isoetes lacustris*, *Isoetes echinospora*) og botnegras (*Lobelia dortmanna*). Isoetider er også tilstede i strandnære lokaliteter - særlig med leirsedimenter - hvor arter som evjesoleie (*Ranunculus reptans*), nålsivaks (*Scirpus acicularis*) og evjebrodd (*Limosella aquatica*) er typiske.

Denne rekkefølgen av plantebeltet som er beskrevet, betegnes som sonasjon. Ved tilgroing skjer det en forandring av plantedekket på lokaliteten. Gjennom tiden vil det f.eks. på et gitt sted i strandprofilen bli et skifte av arter. Som et resultat vandrer plantebeltene ut over i vannforekomstene. Det skjer gradvis en forlandning (Sculthorpe 1971). Det er ikke vanskelig å finne typiske eksempler på de ulike stadier av denne forlandningsprosessen i Haldenvassdraget.

Det er nøye sammenheng mellom erosjon, sedimentering og utvikling av høyere vannvegetasjon (Samuelson 1934). Vassdragsundersøkelsene har vist at det er tiltakende tilslamming i Haldenvassdraget, en økende sedimentering gjør seg gjeldende (avsnitt 4.4). Disse forholdet be- gunstiger utviklingen av høyere vegetasjon. Samtidig vil fremveksten av høyere vegetasjon begunstige sedimenteringsprosessen og virke endrende på strømforhold. Tilgroing og forandring i næringsrike vannforekomster (avsnitt 4.5) kan foregå hurtig. I grunne områder som underholder sterk plantevekst, og som samtidig tilføres sedimenter, vil dette være realisert (Rørslett 1976). Som et eksempel på denne situasjon kan forholdene i Hølandselvas innmunningsområde i Bjørkelangen nevnes. Høyvokste helofytter og undervannsvegetasjon viser her aktive tilgroingsprosesser over utstrakte sedimenteringsområder.

Et annet eksempel på tilgroingsprosesser er de som gjør seg gjeldende i Gjølssjøen i Marker kommune. Senkning av vannspeilet har medført en tilgrunning, og nye områder av innsjøen er dermed blitt tilgjengelig for kolonisering med høyere vegetasjon (Skulberg 1974 III). Gjølssjøen er en grunn, sterkt kulturpåvirket innsjø (tabell 20), med frodig utviklet høyere vegetasjon. Innsjøen mottar avrenningsvann fra dyrket mark. Det er også andre forurensningskilder (NIVA 1969 II).

Tabell 20. Noen data om Gjølssjøen, Marker kommune.

Høyde over havet	114,5 m
Overflateareal	1025 dekar
Største dyp	3 m
Gjennomsnittlig dybde	1 m
Nedbørfelt	15380 dekar
Dyrket mark	2900 dekar

Lokaliteten er i en utpreget tilgroings situasjon. Høyere akvatisk vegetasjon dekker anslagsvis 50% av vannarealet, noe som sjelden er tilfelle i norske innsjøer. Årsakene til den rike vegetasjonen ligger i en gunstig kombinasjon av stor næringstilførsel og tilstrekkelige arealer med lite vanddyp. Gjølssjøen er omgitt av store områder med dyrket mark, og avrenningsvann betinger en sterk tilførsel av plantenæringsstoffer.

Vegetasjonsbildet i innsjøen (Skulberg 1978) er preget av tette enger med elvesnelle (*Equisetum fluviatile*), ofte uten innblanding av andre arter, skuddtettheten er stor ( $> 500$  skudd/m<sup>2</sup>). Av andre bestanddannende arter kan nevnes smalt dunkjevle (*Typha angustifolia*). Vegetasjonen er avsluttet mot land med mer eller mindre brede soner av flaskestarr (*Carex rostrata*) og sennegrass (*Carex vesicaria*). Det er målt skuddmasse av sumpplanter på omlag 1000 g tørrvekt/m<sup>2</sup> i Gjølssjøen.

Mellom og inne i helofyttområdene er vannflaten stedvis tilnærmet dekket av flytebladene til gul nøkkerose (*Nuphar luteum*) og andre arter. Høyere planter under vannoverflaten (submers vegetasjon) er særlig utviklet i renner og åpninger i helofyttområdene. Fremtredende er en frodig utvikling av småtjønnaks (*Potamogeton pusillus*) i tette enger.

#### Eutrofiering av høyere planter

De gjennomgående gode næringsbetingelser i hovedvassdragets innsjøer og stilleflytende avsnitt gir utviklingsmuligheter for kravfulle planter i vannvegetasjonen. En inndeling av karplanter i ferskvann i trofigrupper er foretatt av Linkola (1933). Det blir skilt mellom tre hovedgrupper - eutrofe, semi-eutrofe samt blandingsgruppen meso- og oligotrofe - etter hvor fordringsfulle artene er med hensyn til bl.a. næringsalter. Noen arter som er karakterisert etter denne inndeling, og som hører til de kvantitativt betydningsfulle planter i Haldenvassdraget, er stilt sammen i tabell 21.

Tabell 21. Noen betydningsfulle arter av høyere planter i Haldenvassdraget ordnet i trofigrupper.

Eutrofe arter	Semi-eutrofe arter	Meso- og oligotrofe arter
Bidens tripartita L.	Alisma plantago-aquatica L.	Carex gracilis Curt
Iris pseudacorus L.	Callitriche verna L.	Comarum palustre L.
Lemna minor L.	Caltha palustris L.	Equisetum fluviatile L.
Lycopus europaeus L.	Cardamine pratensis L.	Galium palustre L.
Peplis portula L.	Carex vesicaria L.	Isoëtes echinospora Dur.
Potamogeton pusillus L.	Glyceria fluitans (L.) R.Br.	Isoëtes lacustris L.
Sagittaria sagittifolia L.	Lythrum salicaria L.	Juncus filiformis L.
Solanum dulcamara L.	Myosotis caespitosa C.F. Schultz	Lobelia dortmanna L.
Sparganium ramosum Huds.	Polygonum amphibium L.	Lysimachia vulgaris L.
Spirodela polyrrhiza (L.) Schleid.	Potamogeton perfoliatus L.	Menyanthes trifoliata L.
Stachys palustris L.	Ranunculus flammula L.	Nuphar luteum (L.) Sm.
Typha augustifolia L.	Utricularia vulgaris L.	Nymphaea alba L.
Typha latifolia L.		Phragmites australis (Cav.) Trin.ex Steud.
Veronica beccabunga L.		Potamogeton gramineus L.
		Potamogeton natans L.
		Ranunculus reptans L.
		Scirpus acicularis L.
		Scirpus lacustris L.
		Scirpus palustris L.

En klassifisering av innsjøer etter floristiske retningslinjer (Samuelson 1925) har vist seg fruktbar i skandinavisk regional limnologi. Tre vanlige hovedtyper omfatter:

- Dysjøen - myrvannssjøer (dy, torvslam - utfelte humuskolloider)
- Lobeliasjøer - næringsfattige innsjøer (*Lobelia*, botnegras)
- Potamogetonsjøer - næringsrike innsjøer (*Potamogeton*, tjønnaks)

Disse tre typene er de som fortrinnsvis forekommer i nedbørfeltet til Haldenvassdraget. Innsjøene i hovedvassdraget representerer imidlertid mange overgangsformer. Opprinnelig var Lobeliasjø-typer fremherskende, men den menneskelige påvirkning av nedbørfeltet medfører at Potamogeton-sjø-typer blir stadig mer vanlig (eutrofiering).

Et spesielt forhold er særpreget for vannvegetasjonen i Haldenvassdraget. Det er den frodige utvikling av enkelte arter som lever frittflytende på vannoverflaten (lemnider, Luther 1949). Disse plantene - tabell 22 - har fortrinnsvis forekomst på beskyttede lokaliteter. Små vannsamlinger, innsjøer og stilleflytende elver gir utviklingsmuligheter. Vokseplassene er gjerne i vegetasjonsbeltene i strandnære områder, men hvor det er tilstrekkelig skjermede forhold, kan åpne vannflater bli overgrodd med lemnider. Næringsopptaket er hovedsakelig fra løste forbindelser i vannmassene. Vannforekomster med høye konsentrasjoner av plantenæringsstoffer gir derfor god anledning for slik vegetasjon. Frodig forekomst av lemnider er gjennomgående en pålitelig indikasjon på eutrofe forhold i vannmassene (Sjörs 1956, Hutchinson 1975).

Tabell 22. Frittflytende planter, (lemnider) i Haldenvassdraget.

Familie	Art	Norske navn
RICCIACEAE	Riccia fluitans L. Ricciocarpus natans (L.) Corda	Gaffelmose Svanemat
HYDROCHARITACEAE	Hydrocharis morsus- ranae L. *	Froskebitt
LEMNACEAE	Lemna minor L. Spirodela polyrrhiza (L.) Schleid	Vanlig andmat Stor andmat

\* Ikke observert etter 1963 (Høiland 1981).

Lemnider er et fremtredende vegetasjonselement i flere områder av Haldenvassdraget. Betingelsene for dette (Schulz 1962) er realisert ved at det bl.a. er tilstrekkelig innhold av plantenæringsstoffer i vannmassene, beskyttede innsjølokaliteter og relativt stilleflytende vann på lange elvestrekninger. Haldenvassdraget hører til de få norske vassdrag som fremhever seg med slike egenskaper (Kotai et al. 1978). Vassdraget mottar en betydelig forurensningsbelastning fra bebygde områder og jordbruksvirksomhet. Konsentrasjonene av fosfor- og nitrogenforbindelser i vannmassene er høye i de tilhørende deler av vassdraget. Såvel stor andmat (*Spirodela polyrrhiza*) som vanlig andmat (*Lemna minor*) har frodig utvikling i flere vassdragsavsnitt.

Det er bare vanlig andmat som lager en direkte pleustondrift (pleuston - frittflytende makroskopiske planter) i vassdraget. Gjennom hele vegetasjonsperioden gjør det seg gjeldende en stadig transport av andmat på langsomtflytende elvestrekninger. Plantene flyter enkeltvis eller i små grupper. De fanges opp av helofyttbeltene langs breddene og kan danne store ansamlinger på steder som er demmet opp. Under flomsituasjoner kan det observeres hvordan utspylinger finner sted. Store flak av andmat driver med strømmen, rives opp og føres til vassdragets innsjøavsnitt.

Den spesielle beliggenhet i Akershus og Østfold gir nedbørfeltet til Haldenvassdraget et stort innslag av østlige plantearter. Svanemat er f.eks. en art som er kommet til Norge østfra ved å vandre fra Ladoga-Karelen til svenske lokaliteter og videre mot vest. Denne planten (*Ricciocarpus natans*) ble for første gang observert i Gjølssjøen i 1976 (Skulberg 1978).

Den forekom da i hele innsjøen med hovedtyngde i det midtre basseng. Planten vokste i bestandene av helofytter og nymphaeider, men dannet også flytende enger utover fri vannflate. En landform av levermosen vokste på tørrlagte mudderflater på strendene.

Siden denne første invasjon av svanemat i Gjølssjøen har planten spredt seg nedover i vassdraget til lokaliteter i Øymarksjøen (Hardeng 1981). Det er grunn til å regne med at svanemat - og også andre nye innvandrere - vil nå frem til ulike deler av Haldenvassdraget.



#### 4.11 Noen holdepunkter om dyreliv i vann.

Kjennskapet til Haldenvassdragets dyreliv er gjennomgående sparsomt. Det er ikke foretatt undersøkelser for direkte å karakterisere faunaen knyttet til våtmarker, elver og innsjøer. Imidlertid er det gjort spesielle undersøkelser av særskilte arter (Økland, K. 1979) eller grupper (Olsen 1979, Økland, J. 1979), og på utvalgte lokaliteter (Eie 1973, Økland, K. 1981). For en oversikt over foreliggende zoologiske undersøkelser fra området vises det til arbeid av Hardeng (1981). Fiskeribiologiske problemstillinger har fått øket interesse i ny tid (Lyche et al. 1980).

Ferskvannskrepsen (*Astacus astacus*) er tilstede i hovedvassdraget. Det er tildels store bestander som er utviklet. Foreløpig er sykdommen krepsepest (soppen *Aphanomyces astaci*) ukjent i Haldenvassdraget.

Ferskvannsfiskenes innvandring til landet etter istiden har hatt stor forskningsmessig interesse (avsnitt 3.2). I denne sammenheng har Haldenvassdraget vært vist betydelig oppmerksomhet (Huitfeldt-Kaas 1918). Det er nå påvist 24 arter av ferskvannsfisk i vassdraget (tabell 23). Karpefisk utgjør den artsrikeste gruppen med 11 arter. Det er en tendens til avtakende antall med fiskearter i hovedvassdragets innsjøer fra Femsjøen og nordover.

I forbindelse med undersøkelsene av planteplankton (avsnitt 4.7) ble det gjort noen bestemmelser av dyreplankton fra innsjøene. Resultater av dette er stilt sammen i tabell 24. Krepser og hjuldyr var artsrikt representert i prøvene av håvtrekk. Et spesielt innslag er artene av "glasialmarine relikter", se avsnitt 3.2 (Mathisen 1953).

Dyreplanktonet nyttiggjør planteplanktonets primærproduksjon som næring. For å få en forståelse av de biologiske virkninger knyttet til eutrofiering er det derfor nødvendig å studere næringskjeden planteplankton - dyreplankton - fisk. Det er vanlig regnet med at eutrofieringsprosessen er bestemt av de tilførte mengder av næringsalter. Men biologiske prosesser har avgjørende betydning for den resulterende vannkvalitet. Konkurransen om vekstbegrensende stoffer er f. eks. en viktig faktor for algene. Dyreplanktonet påvirker i stor grad algesamfunnet. En fiskebestand som spiser dyreplankton har i sin sammenheng innflytelse på algeplankton og dermed primærproduksjonen i vannsystemet (Braband et al. 1979). Disse forhold gjør dyrelivet i vann til en viktig innfallspurt når det gjelder vurderinger av eutrofieringsforløpet i Haldenvassdragets innsjøer.

Tabell 23. Arter av ferskvannsfisk i hovedvassdraget

Art	Norske navn
<i>Lampetra fluviatilis</i> (Linné)	Elvenjøye
<i>Salmo trutta</i> Linné	Ørret
<i>Coregonus lavaretus</i> (Linné)	Vanlig sik
" <i>albulus</i> Linné	Lagesild
<i>Osmerus eperlanus</i> (Linné)	Krøkle
<i>Esox lucius</i> Linné	Gjedde
<i>Rutilus rutilus</i> (Linné)	Mort
<i>Leuciscus leuciscus</i> (Linné)	Gullbust
" <i>cephalus</i> (Linné)	Stam
" <i>idus</i> (Linné)	Vederbuk
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linné)	Sørv
<i>Phoxinus phoxinus</i> (Linné)	Ørekyte
<i>Aspius aspius</i> (Linné)	Asp
<i>Alburnus alburnus</i> (Linné)	Laue
<i>Abramis brama</i> (Linné)	Brasme
<i>Blicca bjoerkna</i> Linné	Flire
<i>Carassius carassius</i> (Linné)	Karuss
<i>Anguilla anguilla</i> (Linné)	Ål
<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Linné)	Trepigget stingsild
<i>Lota lota</i> (Linné)	Lake
<i>Perca fluviatilis</i> Linné	Abbor
<i>Stizostedion lucioperca</i> (Linné)	Gjørs
<i>Acerina cernua</i> (Linné)	Hork
<i>Cottus poecilopus</i> Heckel	Steinulke

Tabell 24. Noen observerte arter av hjuldyr og småkreps i Haldenvassdraget.

ROTATORIA - Hjuldyr	ENTOMOSTRACA - Småkreps	
	CLADOCERA - Vannlopper	COPEPODA - Hoppekreps
<i>Asplanchna brightwelli</i> Gosse	<i>Bosmina coregoni</i> Baird	<i>Cyclops insignis</i> Claus
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	<i>Bosmina longirostris</i> (O.F.Müller)	<i>Cyclops scutifer</i> G.O.Sars
<i>Brachionus angularis</i> Gosse	<i>Bosmina longispina</i> Rühle	<i>Cyclops strenuus</i> Fischer
<i>Conochilus hippocrepis</i> (Schrank.)	<i>Bythotrephes cederstroemi</i> Schoedler	<i>Eudiaptomus gracilis</i> (G.O.Sars)
<i>Conochilus unicornis</i> Rouss.	<i>Bythotrephes longimanus</i> F. Leydig	<i>Eurytemora lacustris</i> (Poppe.)
<i>Filina longiseta</i> (Ehrenberg)	<i>Chydorus sphaericus</i> O.F.Müller	<i>Heterocope appendiculata</i> (G.O.Sars)
<i>Gastropus stylifer</i> Imhof	<i>Daphnia cristata</i> G.O.Sars	<i>Heterocope borealis</i> (S.Fischer)
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)	<i>Daphnia galeata</i> G.O.Sars	<i>Limocalanus macrurus</i> G.O.Sars
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	<i>Daphnia longispina</i> O.F.Müller	<i>Mesocyclops hyalinus</i> (Rehberg)
<i>Keratella quadrata</i> (Müll.)	<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin)	<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)
<i>Polyarthra trigla</i> Ehrenberg	<i>Eurycercus lamellatus</i> O.F.Müller	<i>Mesocyclops oithonoides</i> (Sars)
	<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach	
	<i>Leptodora kindti</i> (Focke)	
	<i>Polyphemus pediculus</i> (Linné)	
	<i>Sida crystallina</i> O.F.Müller	

## 5. FORURENSNINGSBELASTNING OG TILTAK MOT VANNFORURENSNING

Det er tidligere laget enkelte sammenstillinger av forurensningsbelastningen av Haldenvassdraget (Brettum 1975, NIVA 1980, Fylkesutbyggingsavdelingen i Østfold 1973). I denne fremstilling vil det bli lagt vekt på en karakterisering av forholdene i en regional sammenheng og med oppmerksomhet på ulike kilder for påvirkning. En kort oppsummering av hovedtrekkene i årsaks- virkningsforholdet i forurensningssituasjonen vil danne bakgrunn for behandlingen.

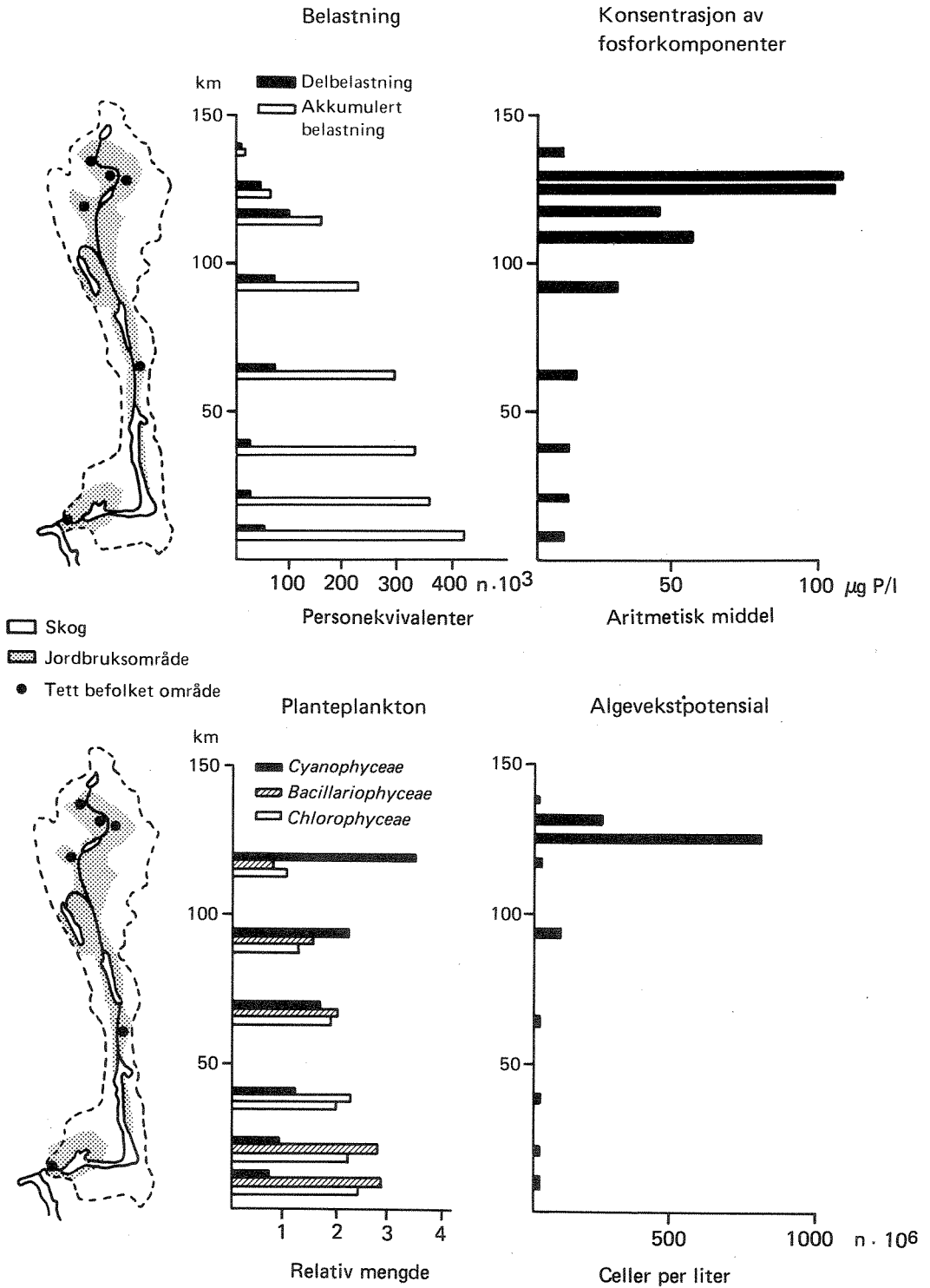
### 5.1 Arsaker og virkninger

Diagrammene i fig. 45 stiller sammen noen hovedresultater av de utførte undersøkelser i vassdraget (avsnittene 3 og 4). Det kommenteres i det følgende.

Vannet fra ås- og skogområdene nord i nedbørfeltet samler seg til den oligotrofe-dystrofe innsjøen Floen. Gjennom Aurskogelv og Hølandselv strømmer vannet til innsjøen Bjørkelangen. På hele strekningen kommer det - med tilløpsbekker og direkte avrenningsvann fra nedbørfeltet - forurensningsbidrag fra bebyggelse og jordbruksområder. Den gradvis økende belastning kommer til uttrykk i tiltakende konsentrasjoner med ulike forbindelser - f.eks. fosforkomponenter - i vannmassene. Bestemmelsene av vannmassenes algevekstpotensial viste at det var små vekstutslag i vannet i Haldenvassdragets nordligste delfelt. Så snart jordbruksområder og bebyggelse gjorde seg gjeldende, ble det registrert store verdier for algevekstpotensial. Vannmassene fikk en sterkt næringsrik karakter (Kotai et al. 1978).

Innsjøen Bjørkelangen er utpreget eutrof-hypereutrof. På grunn av biologiske prosesser og sedimentering - Bjørkelangen virker tilnærmet som en stor lagune - finner det sted en betydelig stoffreduksjon i de frie vannmasser. Nedstrøms innsjøen kommer nye bidrag med forurensninger til vassdraget. Algevekstpotensialet blir raskt stigende. Men selvrensingsprosesser og fortynningsvirkninger - f.eks. gjennom sideelva Mjerma - bringer etterhvert vannkvaliteten tilbake til lavere trofinivå (lavere algevekstpotensial). Denne situasjon opprettholdes hovedsakelig gjennom elv-innsjøsystemet ned til utløpet av Femsjøen. En rekke områder av vassdraget viser lokale forurensningsvirkninger, og belastninger fra disse bidrar til å nedsette vannkvaliteten i hovedvassdraget.

Figur 45. Belastning og respons.



Utviklingen av planteplanktonet - sammensetning og mengdeforhold - viser klart hvordan hele Haldenvassdraget utgjør et enhetlig biologisk produksjonssystem. Eutrofieringen innebærer en rekke prosesser som bl.a. resulterer i en masseutvikling av alger. Påvirkning fra tettsteder og intensiv jordbruksvirksomhet medfører sterkt næringsrike, stedegne vannforekomster. Dette er lokaliteter hvor bl.a. blågrønnalger utvikler frodige forekomster. Også større innsjøer (f.eks. Bjørkelangen) utgjør slike "algereaktorer". Fra disse bassenger podes vannmassene i hovedvassdraget med utgangsbestander av alger som gir opphav til de store algepopulasjoner i elv-innsjøsystemet. En kombinasjon av næreffekter og fjerneffekter setter seg sammen til forurensningssituasjonen som gjør seg gjeldende til enhver tid i vassdraget.

## 5.2 Punktutslipp og diffuse forurensningskilder

I forbindelse med vassdragsundersøkelsen er det foretatt en bestemmelse av de viktigste forurensningskilder, gjort en teoretisk beregning av tilførsler av plantenæringsstoffer (fosfor- og nitrogenforbindelser) samt utført en bedømmelse av de ulike forurensningskilders relative betydning. Arbeidet er basert på en inndeling av nedbørfeltet til de enkelte stasjoner som ble benyttet ved feltundersøkelsen (fig. 1, NIVA 1979 II).

Det er en direkte sammenheng mellom menneskelig virksomhet og mengde forurensningsstoffer som dannes. Art og omfang av denne virksomhet, sammen med avløpsforhold og eventuelle vernetiltak, vil være bestemmende for mengden av forurensningstilførsler som vassdraget mottar og som har interesse i denne forbindelse.

### Belastninger ut fra teoretiske tilførselsberegninger

Forurensningskildene som påvirker Haldenvassdraget omfatter hovedsakelig jordbruk, befolkning, industri, overflateavrenning fra bebygde områder, nedbør på vannflater samt avrenningsvann fra skog- og åsområder (avsnitt 3.5). Arealopplysninger, befolkningsmengde og registrering av virksomhet og tiltak bygger på data fra fylkeskommunale og kommunale etater, fra Statens forurensningstilsyn (SFT), fra Statistisk Sentralbyrå og kartmateriale (Norges geografiske oppmåling - NGO). Tallmaterialet foreligger i datasamling for Haldenvassdraget (NIVA 1979 II, Del 1-6).

Det er funnet formålstjenelig å drøfte belastningsforholdene i to kategorier ut fra hva som er særlig aktuelt for Haldenvassdraget. Det gjelder befolkning samt jordbruk og skogbruk. Enkelte forhold som er knyttet til disse forurensningskilder og de utførte tilførselsberegninger kan omtales.

Befolkning. Fordeling av befolkning i nedbørfeltet er vist i tabell 5, (avsnitt 3.5). Det er bosatt 17.900 personer i nedbørfeltet oppstrøms for Femsjøens utløp. I henhold til definisjon av Statistisk Sentralbyrå er 9.100 personer bosatt i tettbygde strøk og 9.000 i spredt bebyggelse. En relativt liten andel av befolkningen var knyttet til kommunale renseanlegg (i 1980, 3.950 personer) eller offentlig kloaknett.

Spesifikke verdier for forurensningsbelastning som kommer fra mennesker fremgår av undersøkelser som er utført i nyere tid (NIVA 1978 I). Det er regnet med verdier tilsvarende 2,5 g total-fosfor og 12,0 total-nitrogen pr. person pr. døgn. Men disse verdier vil selvsagt variere alt ut fra de aktuelle forhold som gjør seg gjeldende.

Jordbruk og skogbruk. Opplysninger om jordbruksareal, husdyrhold, siloer og kunstgjødselbruk er hentet fra Østfold Landbruksselskap og de enkelte kommunene. Data fra Statistisk Sentralbyrås Jordbrukstelling 1969 har dessuten vært benyttet.

Nedbørvannet kan ha et relativt høyt innhold av forurensningskomponenter (se tabell 9, avsnitt 4.4). Dette innebærer at tilførsler gjennom nedbørvannet - og ved tørravsetninger - er av betydning. Størrelsen av stofftilførselen med nedbøren er avhengig av bl.a. avstand fra forurensningskilden, nedbørmengde og avstand fra havet (Dovland 1977). Basert på resultater fra forskningsprosjektet SNSF (Sur nedbørs virkning på skog og fisk) er spesifikke tilførselstall for nedbør angitt som 3 kg pr. km<sup>2</sup> for fosforforbindelser, og 420 kg pr. km<sup>2</sup> for nitrogenforbindelser i løpet av en tidsperiode på ett år (NIVA 1978 II). Landarealene som mottar disse tilførselene fra nedbør, har kjemiske og biologiske prosesser i plante- og jordekket hvor stoffene vil inngå. Dette bidraget er derfor med i de spesifikke tilførselstall for jord- og skogbruk. Mens belastningen for nedbør som faller direkte på vannoverflatene, må tas inn i delfeltenes stoffbelastning.

Tilførslene med forurensninger fra virksomheter innen jordbruk og skogbruk kommer både fra punktkilder og diffuse kilder. Hvor stor andel av forurensninger som tilføres vassdraget vil avhenge av en rekke faktorer. Mengden med kunstgjødsel som brukes pr. arealenhet vil f.eks. ha betydning for belastning med fosfor- og nitrogenforbindelser. Når det gjelder husdyrgjødsel og silopressaft, vil utstyr og rutiner for viderebehandling ha stor betydning. Jordbearbeidingsrutiner og arealbruk er dessuten selvstøtt svært avgjørende (Uhlen 1978).

Naturgitte forhold i nedbørfeltet er i stor grad bestemmende for forureningsbidrag fra jordbruksvirksomhet. Omsetning av plantenæringsstoffer, og utvaskning av slike stoffer, vil være influert av temperatur- og nedbørforhold. Jordbunnstype vil virke inn på avrenningsforhold, erosjon, biologiske prosesser i jorda samt fysiske og kjemiske bindings- og forvittringsforløp (Låg 1974). Ved siden av dette er topografien avgjørende for avrenningsmåte, grad og omfang av erosjonsaktivitet.

Undersøkelser som har forsøkt å kvantifisere forureningsbidraget fra jordbruket, har gitt varierende resultater når det gjelder spesifikke tilførselstall. Det kan nevnes et variasjonsområde for fosforforbindelser fra 0 til 310 kg pr. km<sup>2</sup>, og tilsvarende for nitrogenforbindelser fra 350 til 5710 kg pr. km<sup>2</sup>, i løpet av en tidsperiode på ett år (NIVA 1978 II, 1979 I).

Ved beregningene i denne rapport er det lagt til grunn en årlig belastning tilsvarende 200 kg P/km<sup>2</sup> og 3800 kg N/km<sup>2</sup> for jordbruksområder.

Når det gjelder skog- og åsområder vil tilførsler med plantenæringsstoffer i stor utstrekning være bestemt av naturforholdene. Dette gjelder klima, geologi, topografi og vegetasjon. Virksomheter som hogst, grøfting og gjødsling vil påvirke belastningen i vassdraget. Dette medfører at det kan være store variasjoner i ulike deler av nedbørfeltet. Det er angitt spesifikke tilførselstall av størrelsesorden 8 kg pr. km<sup>2</sup> for fosforforbindelser, og 220 kg pr. km<sup>2</sup> for nitrogenforbindelser i løpet av en tidsperiode på ett år (NIVA 1978 II). Disse verdier er benyttet i beregningene som fremlegges.

Resultatene av den teoretiske tilførselsberegning for Haldenvassdraget er gjengitt i de grafiske fremstillinger i fig. 46. Det er fosfor som er benyttet som eksempel. Gjennomgående for vassdraget er fosfor et begrensende stoff for produksjonen i vannmassene (avsnitt 4.5).

På figuren viser kurvene hvordan den akkumulerte belastning gjør seg gjeldende. Søylediagrammet forteller om delbelastningene på de enkelte avsnitt av hovedvassdraget. Et nyansert bilde tegner seg med hensyn til den sammensatte belastningssituasjonen i nedbørfeltet.

Disse beregninger av forurensningstilførsler på teoretisk grunnlag bør vurderes som usikre. De kan imidlertid gi et hensiktsmessig bilde av den samlede belastning som vassdraget mottar fra de ulike forurensningskilder. Den enkelte kildes betydning for tilstanden i vassdraget kan ikke bedømmes ut fra dette grunnlag (Dahl et al. 1980).

#### Aktuell belastning - stofftransport - ut fra målinger i vassdraget.

Med utgangspunkt i det hydrologiske materialet (avsnitt 3.3) og kjennskapet til de vannkjemiske forhold (avsnitt 4.4) er det gjort en bestemmelse av stofftransporten i Haldenvassdraget. Stofftransport er her definert som den mengde stoff som passerer et tverrsnitt av vassdraget i løpet av et avgrenset tidsrom. Stofftransporten på et bestemt tidspunkt er stoffets konsentrasjon multiplisert med den aktuelle vannføring.

Det kan reises spørsmål om hvor pålitelige verdiene som legges frem er for stofftransporten i Haldenvassdraget. Dette vil bl.a. avhenge av hvor nøyaktige de kjemiske analysene av stoffkonsentrasjoner er, og om vannføringsmålingene gjengir vanntransporten på en tilfredsstillende måte. Det kan understrekes at prøvetakingstidspunktene som er valgt ikke ble bestemt ut fra at det skulle gjøres stofftransportberegninger i vassdraget. Ved prøvetakingsopplegget er det derfor ikke direkte tilstrebet nødvendig representativitet. Perioder med spesiell stor eller liten stofftransport kan f.eks. være underrepresentert i tallgrunlaget. Imidlertid er det et observasjonsmateriale over et forholdsvis langt tidsrom som er benyttet (1975-1981), og dette vil utjevne forholdene noe. Når det gjelder beregninger av den aktuelle belastning i vassdraget bør likevel grunnlagsmaterialet fortsatt forbedres. Dette gjelder såvel vannføringsmålinger som kjemiske analyser. Bestemmelse av stofftransport krever egentlig fortløpende registrering både av konsentrasjon og vannføring.



Den grafiske fremstilling fig. 47 viser den årlige transport av fosfor- og nitrogenforbindelser ut fra målte verdier i vassdraget. Datamaterialet for hele perioden 1975 - 1981 er behandlet under ett. Transporten med fosforforbindelser øker nedover i vassdraget; den har et maksimum i vassdragsavsnittet oppstrøms Rødenessjøen og avtar videre sørover i vassdraget (NIVA 1981). Når det gjelder nitrogenforbindelsene, er forløpet et annet. I hele vassdragets lengderetning er det påvist økende transport av nitrogenforbindelser ned til utløpet i fjorden ved Halden. Det er bl.a. innsjøeffekten som er årsak til disse forhold. Fosforforbindelser er i stor utstrekning knyttet til partikler (seston - avsnitt 4.4), og innsjøbassengene vil virke som sedimenteringsområder for partiklene. Nitrogenforbindelsene forekommer i langt større utstrekning som løste stoffer i vannmassene (Skulberg 1980 I) og gjennomløper en annen type stoffomsetning. Men også nitrogenholdig materiale vil i noen grad sedimentere i vassdragets stilleflytende områder. I tabell 25 er det stilt sammen beregnede verdier for den årlige akkumulering av fosfor- og nitrogenforbindelser i hovedvassdragets innsjøer.

De enkelte innsjøene har ulike betingelser for å gi sedimentering. Dette henger bl.a. sammen med bassengutforming, strømforhold og vannmassenes oppholdstider (avsnitt 4.2). Eksempler på variasjoner i sedimenteringsintensitet for fosforforbindelser er vist i fig. 48. Rødenessjøen fremhever seg i denne sammenheng ved siden av Bjørkelangen med høye verdier. Øymarksjøen, Aremarksjøen og Femsjøen viser avtakende verdier, noe som er ventelig ut fra de geografiske forutsetninger.

De høyeste konsentrasjonene av fosfor- og nitrogenkonsentrasjoner er målt i perioder med stigende vannføring (avsnitt 4.4). Dette indikerer at en vesentlig del av stofftilførselen finner sted i forbindelse med stor nedbør eller snøsmelting. Årstidsvariasjoner i stofftransport som er observert understreker dette forhold. I fig. 49 er årstidsvariasjoner i transporten av nitrogenforbindelser i løpet av 1981 fremstilt grafisk for de enkelte stasjoner i vassdraget. Enkelte måneder fremhevet seg med stor intensitet i transport av nitrogenforbindelser (f.eks. april og juni). I juni var nedbørforholdene avgjørende. August og september hadde derimot lave observerte verdier for nitrogentransport.

Et viktig forhold som er blitt avklart, er knyttet til under hvilke hydrologiske forhold de enkelte forurensningspåvirkninger gjør seg mest gjeldende. Ved lave vannføringer er det belastning av husholdningskloakkvann som dominerer i andel av stoffkonsentrasjoner i vannmassene. Ved høy vannføring er det derimot jordbruksavrenning og overvann som gir det største bidraget til vassdraget.

I tabell 26 er den aktuelle belastning med fosfor- og nitrogenforbindelser i Haldenvassdraget fordelt mellom skogbruk, jordbruk og befolkning. En grafisk fremstilling av prosentfordeling av jordbrukets og befolkningens andel i fosforbelastningen i nedbørfeltene er gjengitt i fig. 50. Betydningen av disse bidrag for eutrofieringen av vassdraget tilsvarer ikke deres direkte innbyrdes størrelse. Noen typer kjemiske forbindelser kan f.eks. gi en stor gjødslingseffekt, mens andre kan være mindre tilgjengelige for organismene i vassdraget (avsnitt 6.4).

#### Spesifikke tilførselstall for nedbørfeltet

Haldenvassdragets nedbørfelt er svært variert når det gjelder naturforhold og menneskelig utnyttelse. Dette medfører at tilførslene med stoffer til vassdraget er forskjellige med hensyn til mengde og kjemisk sammensetning i de ulike deler av nedbørfeltet.

Med bakgrunn i de teoretiske tilførselsberegninger og stofftransportbestemmelsene i vassdraget er det mulig å finne verdier for den spesifikke tilførsel med stoffer - angitt som  $\text{kg}/\text{år} \cdot \text{km}^2$  - for nedbørfeltet. I tabell 27 er resultatene av denne databehandling stilt sammen. Det er selvsagt flere usikkerheter knyttet til materialet som er benyttet. Tilførselstallene som er fremkommet bør derfor ikke oppfattes som absolutte verdier, men som illustrerende verdier på størrelse av tilførsler i Haldenvassdraget regionalt. De beskriver nedbørfeltets karakteristiske forhold.

Det kan være av interesse å sammenlikne forholdene i Haldenvassdraget med andre vassdrag. I norsk sammenheng er det gjort særlig inngående undersøkelser i Hølenelva, Akershus (Dahl 1980, Dahl et al. 1980). Hølenvassdraget er et uregulert vassdrag og utgjør et forgrenet system av bekker og mindre elver. I motsetning til Haldenvassdraget har Hølenvassdraget en meget liten andel av innsjøer. Nedbørfeltet, jordbruksaktiviteter og avløpsforhold for befolkningen har i flere forbindelser likhetspunkter med områder av Haldenvassdraget (Dahl et al. l.c.). Resultatene fra undersøkelsene i Haldenvassdraget er i tabell 28 sammenliknet med de som er fremkommet i Hølenvassdraget. Vurdert for hele nedbørfelt er verdiene for de spesifikke tilførselstall høyere for Hølenvassdraget sammenliknet med tilsvarende for Haldenvassdraget. Men når variasjonene innenfor delnedbørfelt tas i betraktning, er det forholdsvis god overensstemmelse mellom undersøkelsesresultatene.

Tabell 25. Årlig akkumulering av fosfor- og nitrogenforbindelser i innsjøene.

INNSJØ	Fosfor tonn P/år	Nitrogen tonn N/år
Bjørkelangen	1,9	10
Øgderen Setten Mjermen	4	26
Rødenessjøen	9	34
Øymarksjøen	4	39
Aremarksjøen Asperen	5	7
Femsjøen	1,2	40
Bunessjøen Store Ertevatn Lille Ertevatn	2	30
SUM	27,1	186

\*Under avklaring

Tabell 26. Aktuell belastning med fosfor- og nitrogenforbindelser i hovedvassdraget fordelt mellom skogbruk, jordbruk og befolkning.

Delnedbørfelt	Nitrogen tonn N/år				Fosfor tonn P/år			
	Skog- bruk	Jord- bruk	Befolk- ning	Sum	Skog- bruk	Jord- bruk	Befolk- ning	Sum
LOKALITET								
Utl. Floen v. Haratun	2.3	8.2	0.1	10.6	0.04	0.19	0.01	0.24
Brobakk	12.4	40.9	8.7	62	0.3	1.4	1.3	3.00
Innl. Bjørkelangen	11	38.5	5.5	55	0.4	1.8	1.1	3.3
Utl. Bjørkelangen v. Fosser	2.7	13.3	1	17	0.2	1.1	0.3	1.55
Hølandselva v. Naddum	5.4	24.5	6.1	36	0.3	2.2	2.2	4.7
Hølandselva v. Ydersnes f. samløp	13.8	50.4	4.8	69	0.8	4.1	1.5	6.4
Hølandselva v. Ydersnes e. samløp								
Hølandselva v. jernbane- bro	96.6	6.7	7.7	111	0.7	0.1	0.3	1.1
Utl. Rødenessjøen v. Ørje	17.8	33.5	2.7	54	0.6	1.7	0.6	2.9
Utl. Øymarksjøen v. Strømsfoss	8.3	21.1	2.6	32	0.4	1.5	0.8	2.7
Utl. Aremarksjøen v. Skotsberg	24.8	40.1	3.1	68	0.6	1.4	0.4	2.38
Utl. Asperen v. Stensbro								
Utl. Femsjøen	3.4	6.9	1.7	13	0.6	1.7	2.7	5.08

Tabell 27. Spesifikke tilførselstall for fosfor- og nitrogenforbindelser.

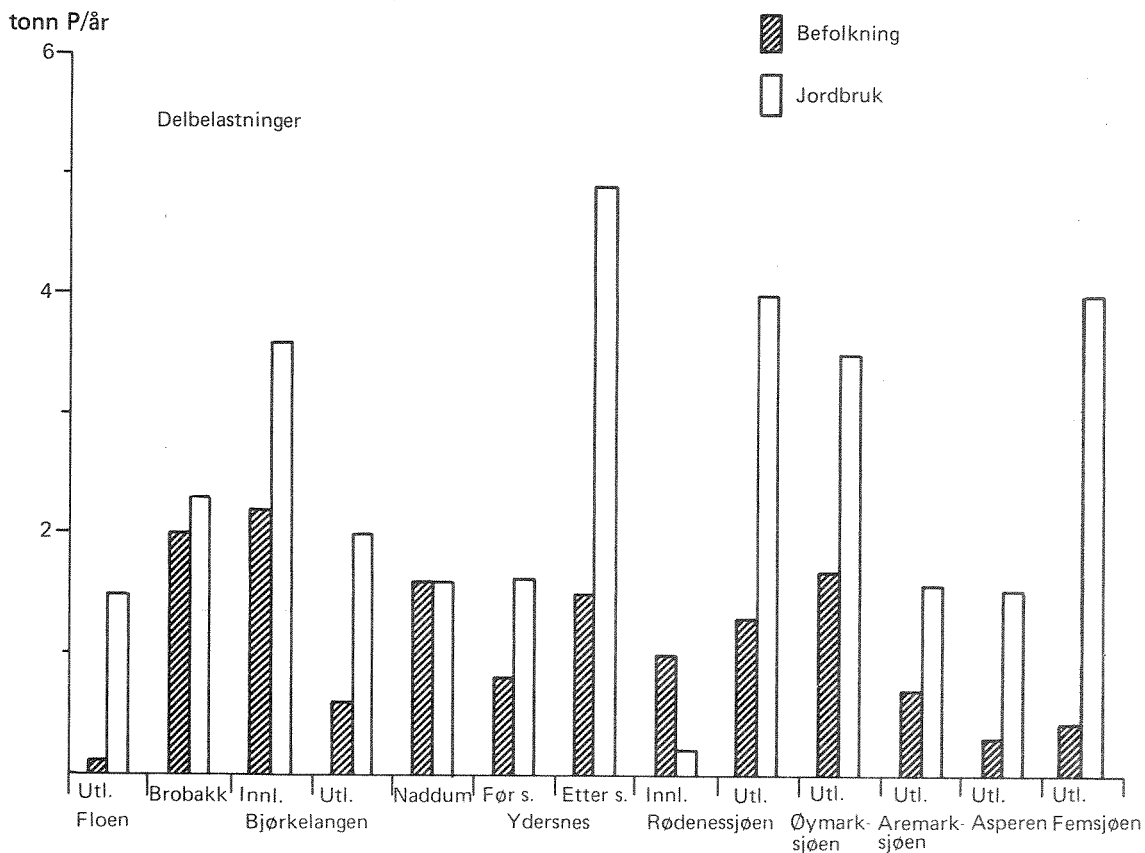
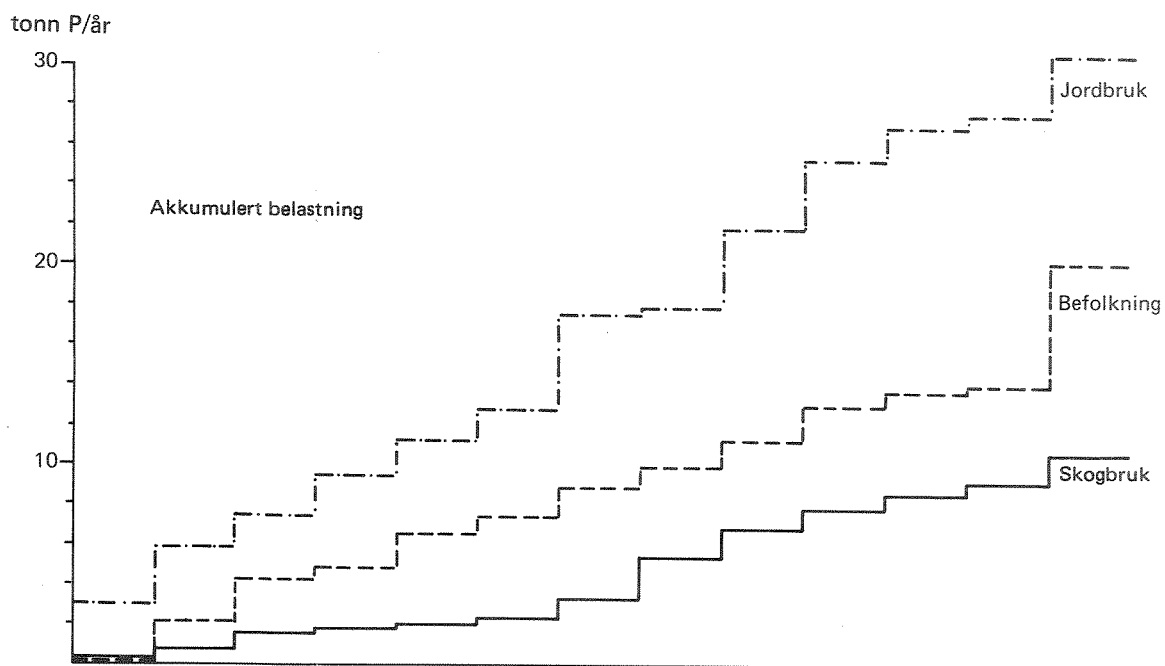
Delnedbørfelt LOKALITET	Fosfor kg P/år.km <sup>2</sup>		Nitrogen kg N/år.km <sup>2</sup>	
	Teoretisk beregnet	Beregnet ut fra stofftransport	Teoretisk beregnet	Beregnet ut fra stofftransport
Utl. Floen v. Haratun	39.0	4.9	774	218
Brobakk	65.3	41.7	907	861
Innl. Bjørkelangen	60.7	30.8	914	514
Utl. Bjørkelangen v/ Fosser	59.8	30.8	990	339
Hølandselva v. Naddum	87.5	117.5	143	900
Hølandselva v. Ydersnes f. samløp	48.2	30.2	809	326
" v. Ydersnes e. samløp				
Hølandselva v. jernbanebro	11.8	3.9	233	397
Utl. Rødenessjøen v. Ørje	30.6	13.2	555	246
" Øymarksjøen v. Strømsfoss	40.9	17.6	667	211
" Aremarksjøen v. Skotsberg	26.4	11.4	491	327
" Asperen v. Stensbro				
" Femsjøen	57.3	24.7	701	63
For hele nedbørfeltet	40.5	20.9	628	337

Tabell 28. Sammenlikning av spesifikk månedstransport av fosfor- og nitrogenforbindelser i Haldenvassdraget og Hølenvassdraget.

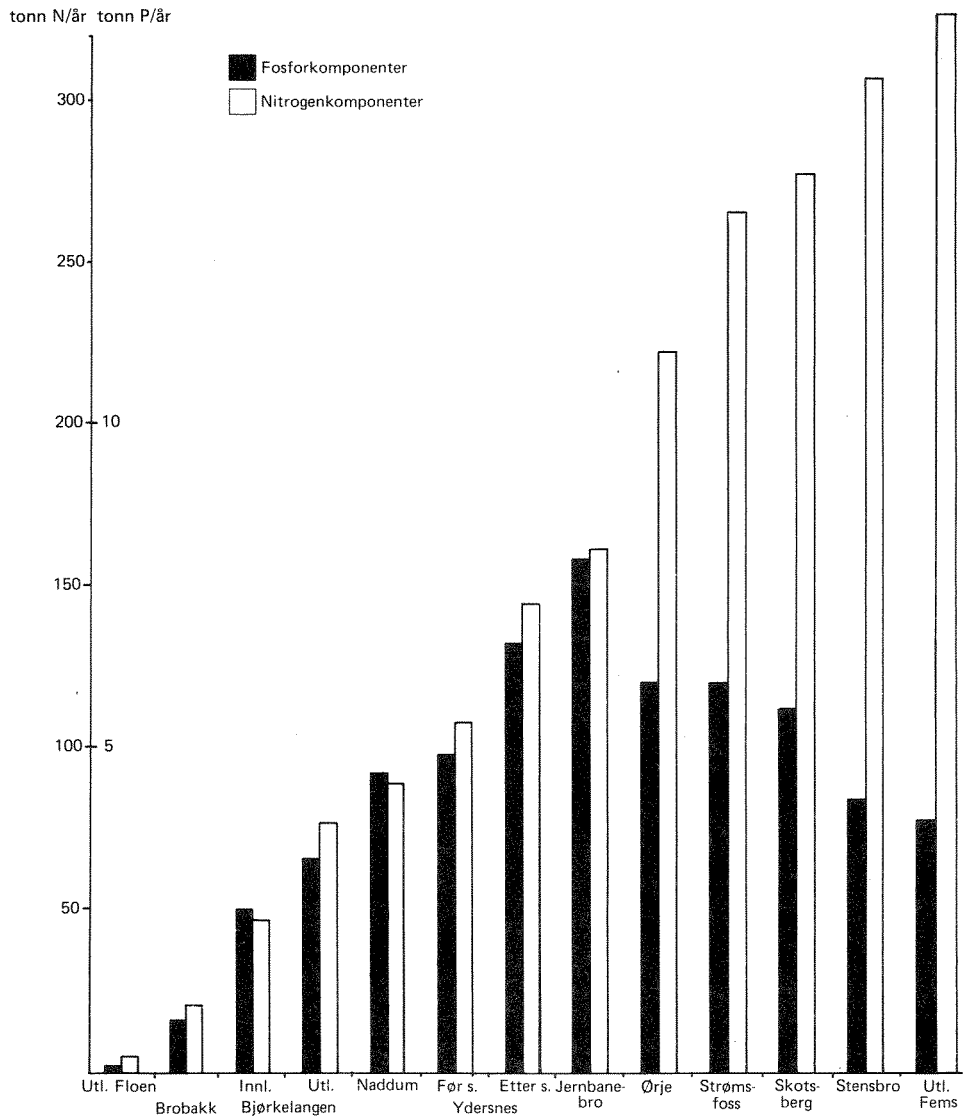
Nedbørfelt/Undersøkellesperiode		Spesifikk transport, kg/km <sup>2</sup> .mnd.	
		Fosfor	Nitrogen
Haldenvassdraget	Totalt nedbørfelt (Tistedalsfoss) 1975 - 1981	0,1 - 4	6 - 85
	Delnedbørfelt 1975 - 1981		
	Naddum	0,4 - 83	33 - 1500
	Innløp Rødenessjøen	0,2 - 7,9	9 - 173
Hølenvassdraget *	Total nedbørfelt (H 8A) 1977 - 1980	0,1 - 66	2 - 750
	1980	0,3 - 66	11 - 750
	Delnedbørfelt, 1980		
	Hogstvedtbekken (H 3)	10 - 140	120 - 990
	Krombekken (Kr 0)	0,3 - 41	6 - 1050
	Krombekken (Kr 1)	0,4 - 37	7 - 850
	Loska (L 3)	0,2 - 56	5 - 610

\*Data stilt til rådighet av Ingvar Dahl (NIVA).

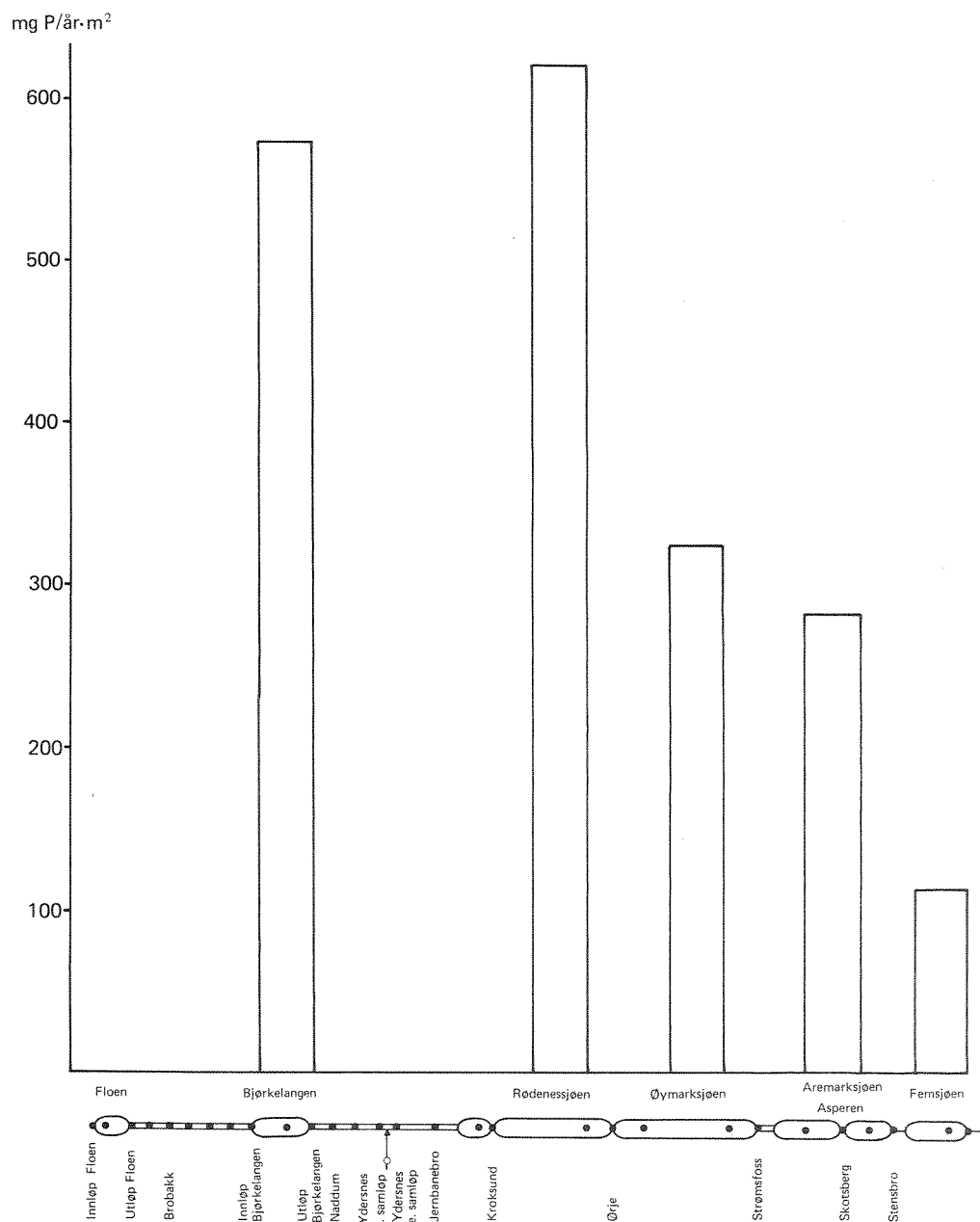
Figur 46. Teoretiske andeler av fosforbelastning i nedbørfeltet.



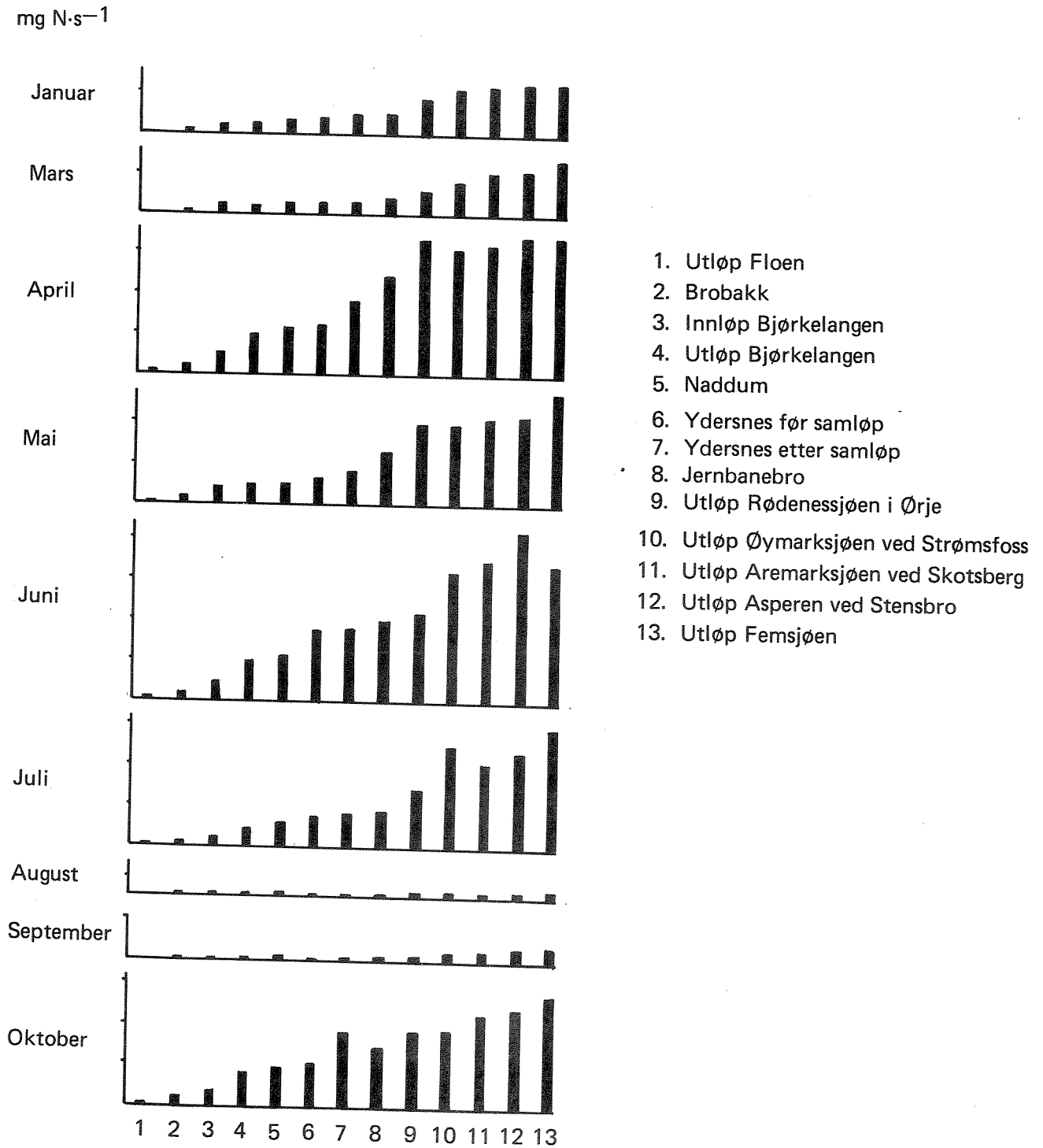
Figur 47. Årlig transport av fosfor- og nitrogenforbindelser.  
Datamaterialet fra perioden 1975-1981 behandlet under ett.



Figur 48. Variasjon i sedimenteringsintensitet av fosforforbindelser.

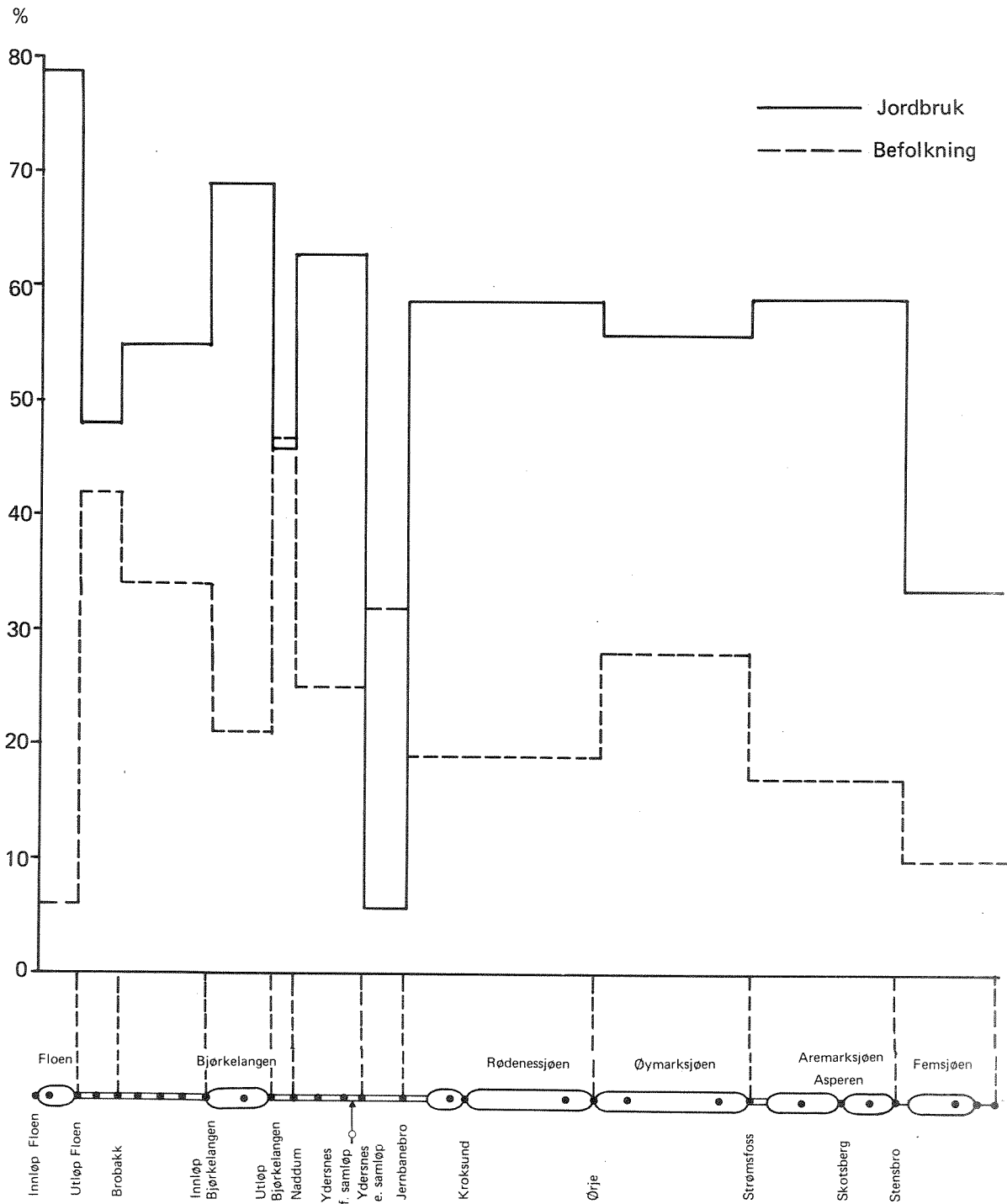


Figur 49. Årstidsvariasjoner i nitrogentransport i Haldenvassdraget. Observasjoner i 1981.

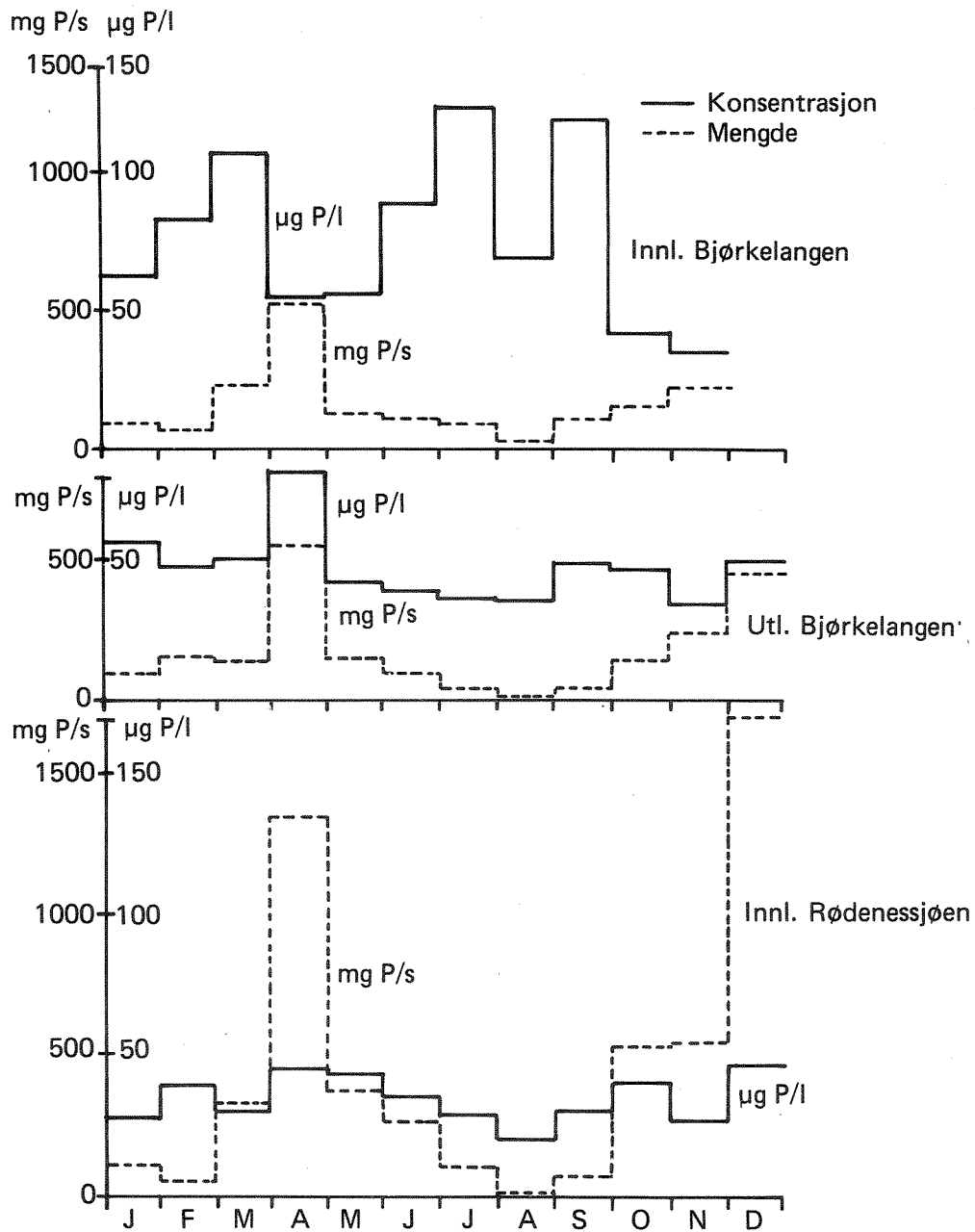




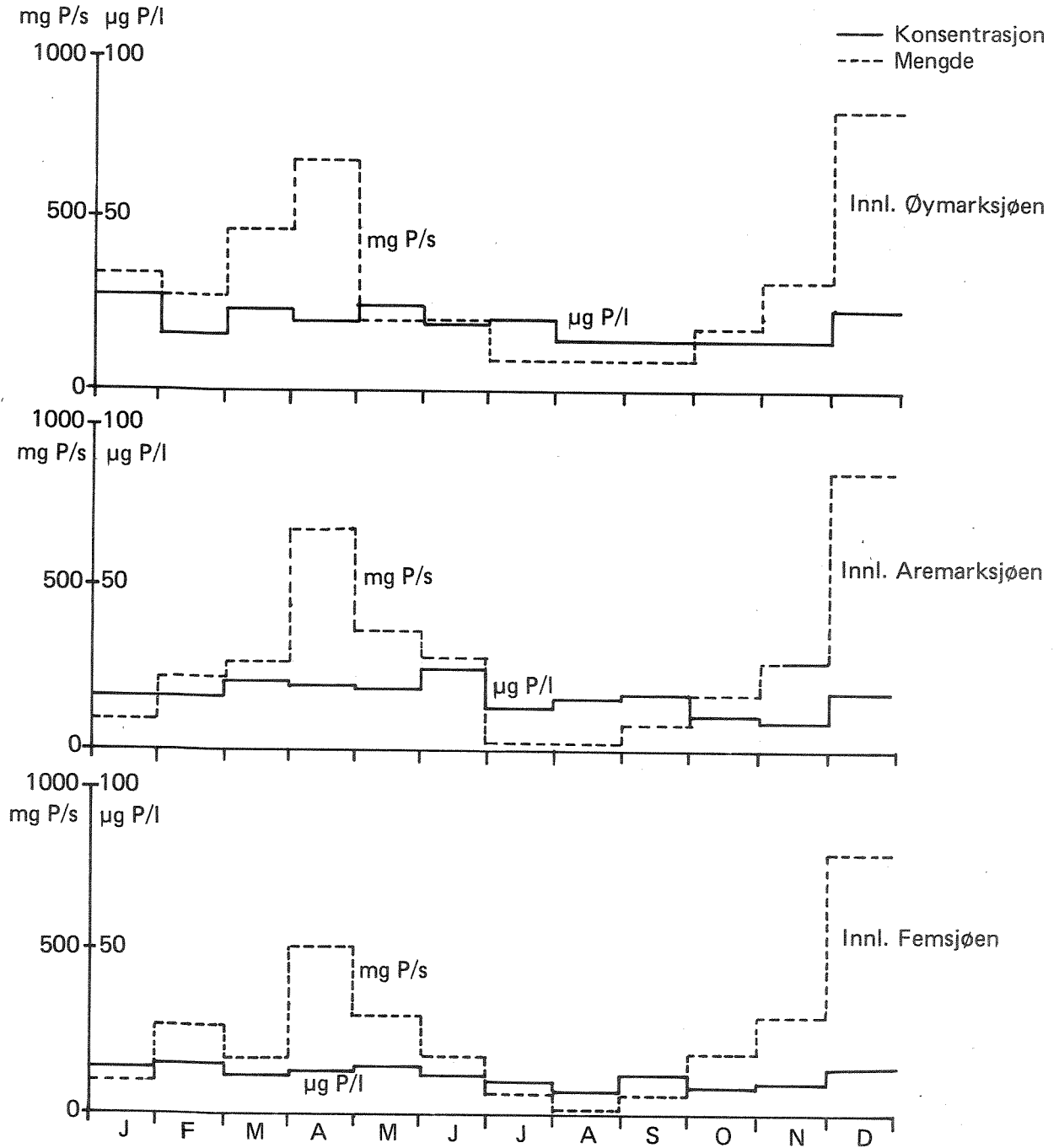
Figur 50. Prosent fordeling av jordbrukets og befolkningens andel av fosfor - belastninger i delnedbørfeltene.



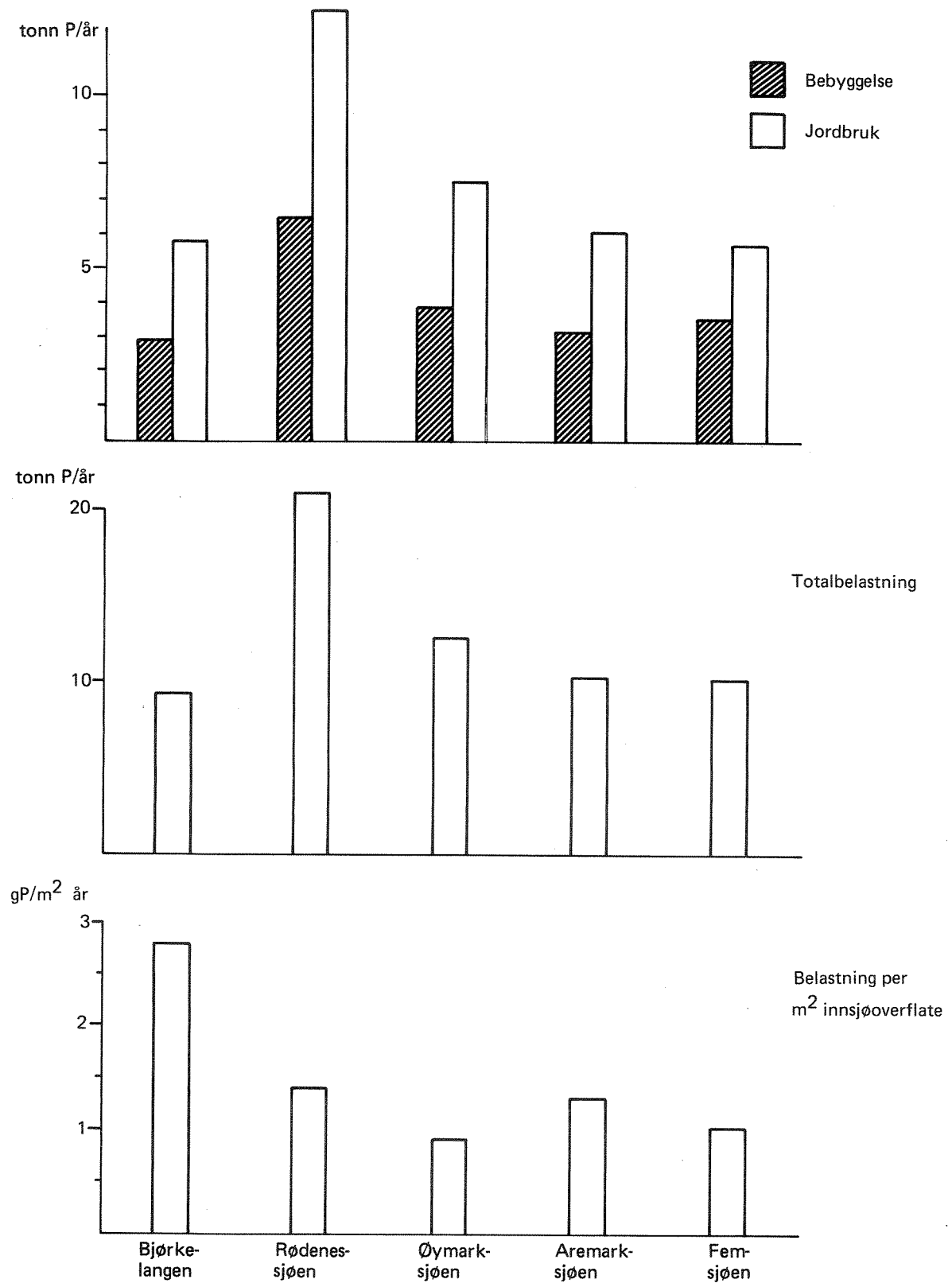
Figur 51. Fosformengde og konsentrasjon - Bjørkelangen, Rødenessjøen.  
Observasjonsperiode 1972-1981.



Figur 52. Fosformengde og konsentrasjon - Øymarksjøen, Aremarksjøen, Femsjøen.  
Observasjonsperiode 1972-1981.



Figur 53. Fosforbelastning til innsjøene i hovedvassdraget.



### 5.3 Innsjøenes belastningsforhold

Den store innsjørikdom i Haldenvassdraget er understreket som noe særpreget (avsnitt 3). Det er også selvvinnlysende at vernet av Haldenvassdraget mot forurensningsvirkninger i stor grad vil dreie seg om å opprettholde eller forbedre vannkvaliteten i innsjøene (avsnitt 6.1). Dette innebærer en nødvendighet av å kjenne til hvordan innsjøene er belastet med forurensninger. Eutrofiering (Likens 1972) er hovedproblemet i denne sammenheng. Siden fosforforbindelser gjennomgående er begrensende stoff i eutrofieringsprosessen (Vollenweider et al. 1980), blir fosfor lagt til grunn for behandling- en i dette avsnitt.

Det er viktig å ha inngående kjennskap både til konsentrasjoner og stoffmengder av fosforforbindelser når betydningen for eutrofiering skal bedømmes. Virkningene avhenger dessuten av hvor og når tilførslene finner sted. Videre er den form stoffene foreligger i av viktighet (f.eks. fosforforbindelsene, tilgjengelighet for algene).

I de grafiske fremstillinger fig. 51-52 er resultatene av bestemmelsene av fosformengder og konsentrasjoner i innløp, henholdsvis utløp av innsjøene i Haldenvassdraget gjengitt. Store variasjoner finner sted både gjennom tiden og regionalt i vassdraget. I visse perioder er både konsentrasjonen og mengden av fosforforbindelser høye (f.eks. utløp Bjørkelangen i april). I andre perioder kan det være høye konsentrasjoner, men forholdsvis små mengder som preger vassdragssituasjonen (f.eks. innløp Bjørkelangen, juli-september). Også av denne fremstilling kan innsjøbassengenes betydning for akkumulering av fosforforbindelser bli forstått. Det kan nevnes at det er formålstjenlig å sette inn eventuelle forurensningsbegrensende tiltak i vassdraget på steder hvor både konsentrasjoner og mengder av stoffet er relativt høye (avsnitt 6.3).

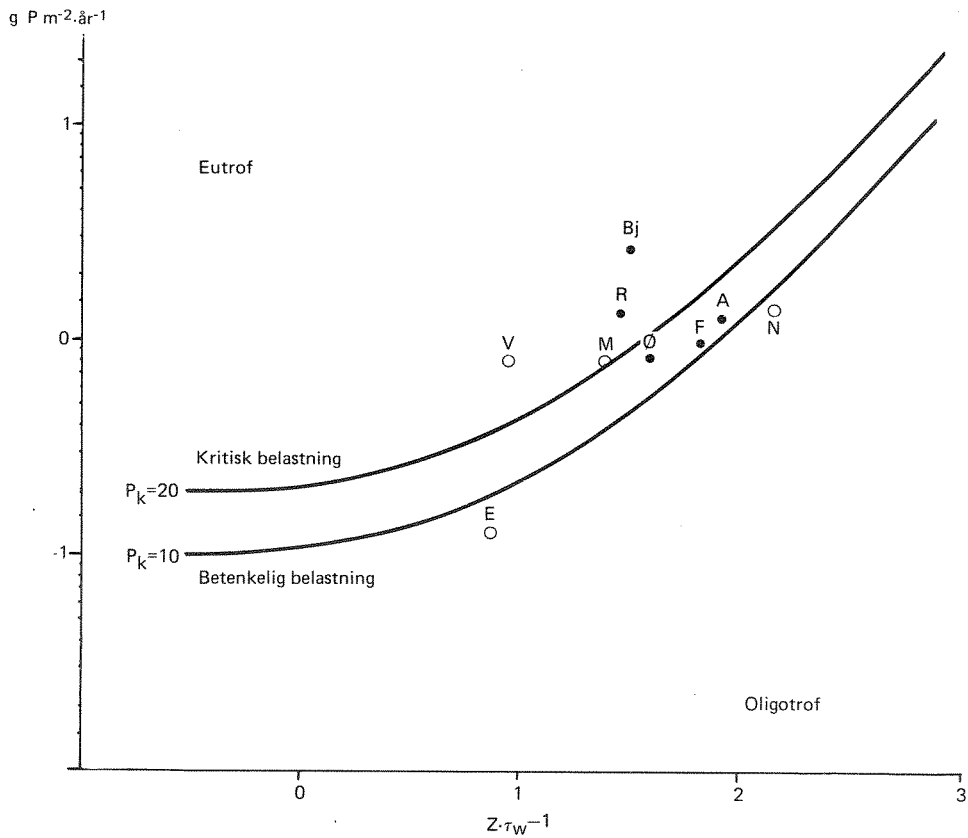
Det er av betydning å kjenne de enkelte innsjøenes belastningsforhold nærmere. I den grafiske fremstilling i fig. 53 er totalbelastning i året med fosfor samt belastningen per  $m^2$  innsjøoverflate vist. Rødenessjøen har størst totalbelastning, mens Bjørkelangen har størst belastning i forhold til innsjøoverflaten. Det er også tegnet et diagram som viser hvordan andelene av belastningen til innsjøene fordeler seg på henholdsvis befolkning og jordbruk. I denne sammenheng fremhever Rødenessjøen seg med størst belastning fra begge kategorier.

En rekke fysiske, kjemiske og biologiske faktorer virker sammen i eutrofieringsprosessen. Imidlertid blir dette kompliserte fenomen ved praktiske vurderinger tildels forenklet til et forhold mellom primærproduksjon og næringsalter. Særlig fosfor blir tillagt en overordnet betydning i denne forbindelse (OECD 1971). Forenklingen gjør det bl.a. mulig å knytte sammen innsjøens trofinivå med faktorer som belastning, dyp og gjennomstrømning. Dette kan illustreres i et Vollenweider-diagram (Vollenweider 1976), en empirisk modell som nå delvis er relativt godt understøttet med observasjonsdata også fra vårt geografiske område. I dette diagram avsettes innsjøenes belastning som  $P/m^2$  overflate/år, mot faktoren  $\bar{z}/T_W$ , der  $\bar{z}$  er midlere dyp (m) og  $T_W$  er vannmassenes oppholdstid (år). Diagrammet har to terskel-linjer, den første angir betenkelige belastninger, og den andre angir kritiske belastninger.

I fig. 54 er inngangsdata for Vollenweider-modellen fra undersøkelsen i Haldenvassdraget benyttet. Til sammenlikning er noen andre kjente norske innsjøer på tilsvarende måte tegnet inn. Diagrammet viser at Bjørkelangen og Rødenessjøen ligger i det eutrofe området, og høyere enn kurven for kritisk belastning. Øymarksjøen, Aremarksjøen og Femsjøen ligger alle i området mellom kritisk og betenkelig belastning. Det kan nevnes at Rødenessjøen ligger vesentlig ugunstigere an sammenliknet med f.eks. Mjøsa i forurensningsbelastning som fremmer den ukontrollerte, skadelige eutrofiutvikling.

Det bør likevel understrekes at det er flere forhold som begrenser brukbarheten av denne enkle betraktning av eutrofieringsnivåets avhengighet av fosforbelastning, midlere dyp og oppholdstid. Men de praktiske erfaringer som foreligger gir ikke desto mindre grunn til å anta at Vollenweider-modellen - så lenge noe bedre ikke foreligger - vil være formålstjenlig til anvendelse i Haldenvassdragets tilfelle. Begrensninger gjør seg imidlertid gjeldende for grunne innsjøer, og når det er en stor indre belastning (f.eks. Bjørkelangen).

Figur 54. Belastningsmodell for innsjøer.  
(Etter Vollenweider 1976).



$P_k$  : Årsmiddelkonsentrasjon av fosforkomponenter i innsjøen  
 $\bar{z}$  : Middeldyp  
 $\tau_w$  : Teoretisk oppholdstid

E : Eikeren  
 N : Norsjø  
 M : Mjøsa  
 B : Bjørkelangen  
 R : Rødenesjøen  
 Ø : Øymarksjøen  
 A : Aremarksjøen  
 F : Femsjøen  
 V : Vansjø

#### 5.4 Foreløpig gjennomførte praktiske tiltak

Et omfattende arbeid er innledet for å verne Haldenvassdraget mot forurensningsvirkninger. Haldenvassdragets Vassdragsforbund har stått for rettleiding og koordinering av denne virksomhet. Det har vært et godt samarbeid mellom kommunene, fylkene Akershus og Østfold og Statens forurensningstilsyn i denne forbindelse.

De enkelte kommunene er kommet godt igang med utbygging av kloakkrenseanlegg.

I Aurskog-Høland ble to kloakkrenseanlegg fullført i 1975; det ene ligger på Aurskog og det andre ved Bjørkelangen. Det er to tilnærmet like mekanisk-kjemiske renseanlegg dimensjonert for 2500 p.e. (personequivivalenter), men hver bare med omlag 1000 p.e. tilknyttet i 1980. For tettstedene Fosser, Momoen og Løken er det under utførelse et felles renseanlegg på Løken. Dette dimensjoneres for 5000 p.e. og skal stå ferdig i 1983. Senere skal det bygges et kloakkrenseanlegg ved Hemnes for 2000 p.e.

I Marker ble det i 1976 satt i drift et biologisk-kjemisk renseanlegg på Ørje. Det er dimensjonert for 1500 p.e., og har pr. i dag 900 p.e. tilknyttet.

Aremark kommune har bygd et biologisk renseanlegg ved Fosby. Det ble fullført i 1973, og er dimensjonert for 350 p.e. Anlegget er nå overbelastet. Det skal erstattes med en dobbelt så stor enhet, samtidig som det eksisterende anlegg flyttes til Bjørkebekk.

I Halden er det gjennomført sanerende tiltak når det gjelder utslipp til Femsjøen. Det er bygd et biologisk-kjemisk renseanlegg (600 p.e.) ved Bunessjøen for institusjonen Østerbo.

De største tettstedene ved vassdraget er dermed forsynt med kloakkrenseanlegg, men det vil ennå gå lang tid før all befolkning er knyttet til disse anleggene. Tabell 29 viser hvordan tilknytningen til de kommunale renseanlegg var i 1980. Dette er teoretiske tall og forutsetter et tett



kloakkledningsnett uten feilkoplinger. Erfaring viser imidlertid at det er mye kloakkvann som ikke når frem til de aktuelle kloakkrenseanlegg i de enkelte områder (lekkasje, overvann).

I tiden fremover vil det bli arbeidet med å øke tilkoplingen til renselanleggene, samt å øke renskapasiteten. Forurensninger fra spredt bebyggelse vil også bli redusert ved diverse tiltak.

Tabell 29. Tilknytning til kommunale kloakkrenseanlegg.

Område	Antall personer i nedbørfeltet			
	Tett-bebyggelse	Spredt bebyggelse	Sum	Tilknyttet kom.renselanl.
Aurskog-Høland	6.000	5.500	11.500	2.100
Marker	1.500	1.700	3.200	1.000
Aremark	600	700	1.300	350
Halden (oppstrøms Femsjøens utløp)	1.000	900	1.900	600
SUM	9.100	8.800	17.900	4.050

På landbrukssiden er det blitt en stadig økende oppmerksomhet på tiltak som kan forhindre vannforurensning. Det er satset på å få håndhevet loven om vern mot vannforurensning (26. juni 1970). Det er utarbeidet forskrifter for hvordan praktiske løsninger kan bli gjort. Disse tar utgangspunkt i bl.a. St.meld. nr. 44, 1975-1976 (Miljøverndepartementet 1975 II). Gjennom opplysningsvirksomhet blir det arbeidet for en mest mulig fornuftig behandling av stoffer som kan utsette vannforekomstene for skadelige påvirkninger (Lyche 1980).

## 6. VERN AV VANNKVALITET OG BIOLOGISKE RESSURSER

### 6.1 Målsetninger og hensyn.

Aurskog-Høland kommune har som et symbol for bygda brukt vassdraget og krepsen som sitt merke. Det ligger i dette en erkjennelse av betydningen som vassdraget og livet i vannet har for menneskene som bor i nedbørfeltet. Og denne betydning er stor og omfattende. Det er alt hva vann innebærer - i natursammenheng og til praktiske anvendelser. Haldenvassdraget har forblitt et vakkert vassdrag tross de stadige omvandlinger teknologiske inngrep har medført. Det har bl.a. fortsatt hovedsakelig forholdsvis reint vann. Vassdraget er som en livsnerve gjennom jordbruks- og skoglandskapet i bygdene det binder sammen. Hva betyr det? Hva er vassdragets reinhet og skjønnhet verdt? Hvilken verdi har det at vassdraget kan brukes til drikkevann for mennesker og dyr? Hva innebærer det at stedegent plante- og dyreliv kan beholde sine livsmuligheter i vassdraget, at fisken er veksterlig og trives? Svarene på disse spørsmål kan være forskjellige, men det vil stå igjen at vassdraget er en livsviktig faktor for befolkningen i nedbørfeltet i natursammenheng, økonomisk og menneskelig. Hvordan vernes vassdraget - og ressursene det rommer - fra å ødelegges for kommende generasjoner? Vil slike nødvendige hensyn komme i motsetning til økonomiske krav? Dette er spørsmål som melder seg når vern av vannkvalitet og biologiske ressurser i Haldenvassdraget skal drøftes.

Det er nødvendig å sette bruken av Haldenvassdraget inn i sin naturlige sammenheng med øvrig ressursutnyttelse i nedbørfeltet. Vannet utgjør naturgrunnlaget for det levendes eksistens. Samfunnet er avhengig av vannressursene, vannforekomstene tjener bestemte funksjoner. Dette blir rettesnor og utgangspunkt for forvaltningen. Noen generelt formulerte mål har betydning både for kortsiktig og langsiktig forvaltning av Haldenvassdraget:

- å opprettholde og verne om betydningen vannforekomstene har som natur
  
- å sikre tilgangen på tilfredsstillende vann til husholdning, jordbruk og industri, og ikke forringe denne tilgang for fremtiden

- å utvikle og nyttiggjøre de ressurser som er knyttet til vannforekomstene
- å ivareta vitenskapelige og kulturelle verdier knyttet til vannforekomstene, og skape harmoni mellom vannforekomstene og samfunnet de skal tjene.

Selv om det ikke foreligger noen direkte samlet skriftlig fremstilling av en målsetting for Haldenvassdraget, er det flere kilder hvor det er materiale til innhold om emnet. En rekke behov og hensyn som står sentralt er bl.a. innebygget i formålsparagrafer til lovverket og i administrative utredninger - f.eks. Lov om vern mot vannforurensning - 26. juni 1970, St.meld. nr. 107, 1974 - 1975. Om arbeidet med en landsplan for bruken av vannressursene (Miljøverndepartementet 1975 I) og St.meld. nr. 44, 1975 - 1976, Tiltak mot forurensninger (Miljøverndepartementet 1975 II).

I de enkelte kommunenes generalplaner (avsnitt 3.5) er Haldenvassdragets betydning og bruk behandlet. Det fremgår at det er en stor avhengighet mellom samfunnsutviklingen og nyttiggjøringen av vannforekomstene i nedbørfeltet. Dette er også understreket i fylkesplanene for Østfold og Akershus. Det heter om fylkesplanene at de skal illustrere hvordan ulike politiske målsetninger kan nås, hvilke tiltak som må gjøres og vise følgene av ulike prioritering av mål og midler. Når det gjelder vannforekomstene er det lagt tilrette for (Akershus fylke, 1977):

- gjennom fylkesplanleggingen søke å finne fram til løsninger som kan sikre en fremtidig tilfredsstillende vannforsyning
- i nødvendig utstrekning ta initiativ til og delta i arbeidet med sikring av vannkilder
- arbeide for å etablere interkommunalt samarbeid (eventuelt utbyggingselskaper) for utbygging av vannverk, renseanlegg og hovedledningsnett
- yte økonomisk støtte til utrednings- og planarbeid for å sette i verk tiltak som nevnt ovenfor,

Målsettingen for Haldenvassdraget er videre presisert med at avløpsforholdene må være slik at vassdraget minst mulig forurenses, og at vannkvaliteten opprettholdes slik at vassdraget kan være egnet som råvannskilde for drikkevannsforsyning.

## 6.2 Vassdraget i resipientsammenheng

### Rød tråd

Resultatene av vassdragsundersøkelsen gir et grunnlag for den fortløpende bedømmelse av resipienttilstanden i Haldenvassdraget og kan danne utgangspunkt for praktiske tiltak som vil verne vassdraget mot en fortsatt skadelig utvikling. Det blir forbindelsen mellom forurensningsbelastning og vannkvalitet - i vid betydning - som da står sentralt i oppmerksomheten. Dette forhold har stor betydning for all fysisk planlegging og hele miljøvernarbeidet i nedbørfeltet. Ut fra kunnskapen om Haldenvassdraget kan de naturgitte muligheter vurderes og krav til belastningsforhold i vassdraget presiseres. Dette stikker ut kurs for praktiske tiltak og vil være bestemmende for arbeidet med vassdraget. Kontroll basert bl.a. på fortsatte målinger og observasjoner i vassdraget gir forutsetning til å følge med i hvordan virkningene av den aktuelle innsats viser resultater med hensyn til forbedring av vannkvalitet. Holdepunkter for utbedringer og nye tiltak fremkommer av dette.

### Status

De utførte undersøkelser har gitt en innsikt og forståelse av forurensningssituasjonen i vassdraget. Resultatene og erfaringene kan sammenfattes i følgende punkter:

- Haldenvassdraget står regionalt vurdert på overgangen fra å være et begrenset påvirket vassdrag til å bli et begynnende problemvassdrag.
- Belastning med gjødselstoffer (fosfor- og nitrogenforbindelser) som fører til masseutvikling av alger og tilgroing med høyere vegetasjon er det mest omfattende forurensningsproblem i vassdraget. Denne eutrofiering innebærer at Haldenvassdraget etterhvert endrer karakter med uheldige konsekvenser for vannkvalitet og biologiske ressurser.
- De foreløpige gjennomførte rensetekniske tiltak har i noen grad bedret forurensningssituasjonen i vassdraget. Dette gjelder lokale forurensningsvirkninger som f.eks. belastning med organisk materiale fra

kloakkvannutslipp og ledsagende uestetiske forhold. Imidlertid viser resultatene av vassdragsundersøkelsen at det bare er en delvis begrensning av eutrofivirkningene som er oppnådd.

- Erosjonsprosesser gjør seg gjeldende i stor utstrekning i områder med dyrket mark. Vassdraget viser tiltakende forurensning med partikulært materiale.
- Vannhygieniske forhold er utilfredsstillende på flere vassdragsavsnitt.
- Utsatte små resipienter (bekker og vannsamlinger) blir sterkt forurenset og gir årsak til uheldig biologisk påvirkning av hovedvassdraget (f.eks. opp-poding med ugressalger). Dette er områder som trenger rask sanering.
- Situasjonen innebærer at alle forurensningsspørsmål i Haldenvassdraget må overveies nøye og tiltak gjennomføres. Dette gjelder f.eks. begrense forurensning fra landbruksvirksomhet, utbedre ledningsnett for kloakkvann og utvide tilknytningen til kloakkrensningeanleggene. Opprustning av kloakkrensningeanleggene som er bygget, samt utbygging av nye kloakkrensningeanlegg er nødvendig.

### Vurdering

Virksomhetene i nedbørfeltet til Haldenvassdraget forårsaker tildels slike forurensninger og medfører slike forstyrrelser i elv-innsjø-økosystemet at det er tvilsomt hvor lenge det varer før skadene på vassdraget er ugjenkallelige. Imidlertid er det ikke bosetting og virksomheter som i og for seg er store i forhold til nedbørfeltet og vassdragets bæreevne. Det er hvordan vassdraget nærmest vilkårlig brukes som resipient som medfører den uheldige situasjon. For å unngå en stadig forverring og varige skader på vassdraget er det nødvendig å finne en overgang til handlingsmåter som kan være akseptable i en økologisk riktig sammenheng.

Vannforekomstene i Haldenvassdragets kulturlandskap kan ikke opprettholdes som lavproduktive. Dette innebærer at elver og innsjøer i slike områder vil ha et behov for aktiv skjøtsel for å kunne tjene samfunnsinteressene på fullverdig måte. Denne skjøtsel bør stå på et biologisk kunnskapsgrunnlag og praktisk erfaring. Det er ønskelig å kunne utnytte aktuelle vannforekomsters produksjonspotensiale bl.a. til nyttig plante- og dyreproduksjon. I denne sammenheng står selvsagt fiskekultur - i vid betydning - sentralt, men også høsting av primærprodusenter er det nærliggende å realisere.

### Påvirkninger av vassdraget

Det er en tydelig utviklingstendens i Haldenvassdragets nedbørfelt at områder med sterkt menneskepåvirket miljø blir stadig mer dominerende. Dette preger i stor grad hvordan belastningen av vassdraget med forurensninger gjør seg gjeldende. Det er bosetting og jordbruksvirksomhet som særlig har konsekvenser (avsnitt 5.2). Men andre virksomheter vil i stigende grad få betydning f.eks. industri og friluftaktiviteter.

Allerede i dag er 51% av nedbørfeltets befolkning bosatt i tettsteder (avsnitt 3.5). Denne utvikling vil forsterkes i tiden fremover, og vil derfor få virkninger på den kommunal-tekniske siden. Dette gjelder bl.a. arbeidsoppgaver som vannforsyning, kloakkløsninger og behandling av avfallsproblemer. For en rekke typer forurensninger vil det være av betydning hvordan forbrukermønsteret endres. Antall produkter stiger, nye stoffer eller erstatningsstoffer kommer og skaper nye behov. Etterspørsel er drivkraft, og forbruket viser stadig stigende tendens, fordi bl.a. det enkelte mennesket gjennom tidsmessige innretninger kan øke sine praktiske muligheter så vel til forbruk som til produksjon. Dette er forhold som henger nøye sammen med ressursforvaltning og ressursforbruk, og dermed med forurensningsproblemet.

Hvordan det lykkes å ta hånd om forurensninger i kloakkvann er av avgjørende betydning for å kunne opprettholde en tilfredsstillende vannkvalitet, og unngå konfliktsituasjoner med vassdragets mange bruksinteresser.

Jordbruket er en betydelig kilde til forurensning i Haldenvassdraget. Forurensningen fra jordbruket er i størrelse tildels sammenliknbar med tilførselen av forurensninger i husholdningskloakkvann, tildels har det et større omfang. Samtidig er denne type forurensning delvis problematisk å kontrollere. Som på Østlandet forøvrig vil utviklingen i nedbørfeltet til Haldenvassdraget gå mot økning av dyrkingsareal og intensivering av driften (Østfold Landbruksselskap 1980). Det er en gunstig forutsetning at i et økologisk perspektiv vil det hovedsakelig være sammenfallende interesser mellom jordbruk og vernet av Haldenvassdraget - vedlikehold av det biologiske produksjonsgrunnlaget.

Flere punktkilder med forurensninger forekommer, bl.a. siloer og gjødselkjellere. Mengden av forurensninger vil være bestemt av de tekniske

anlegg og bruken av dem. Det er utarbeidet offentlige forskrifter for formålet, men det er langt frem til å ha kontroll med disse forurensninger.

Avrenning fra dyrket mark med plantenæringsstoffer og spredning av husdyrgjødsel er alvorlige forurensningsproblemer i Haldenvassdraget (avsnitt 4.4). Både fosfor- og nitrogenholdige stoffer bidrar til eutrofieringen av vassdraget. Det er en betydelig økende bruk av kunstgjødsel i jordbruket. Nitrogenmengden tilført som handelsgjødsel har f.eks. blitt tilnærmet fordoblet omlag hvert femtende år. Det er antydning at det ut fra produksjonsmessige grunner kan være aktuelt å fordoble dagens nitrogenbruk frem til år 2000. Nitrogenutvasking er et stort forurensningsproblem allerede i dag med påvirkninger av grunnvann og overflatevann. Også Iddefjorden og tilgrensende havområder kan bli skadelig influert i denne sammenheng.

Forurensning med fosforforbindelser er i stor grad knyttet til partikkelbelastningen av vannmassene. Vassdragsundersøkelsen har vist at jorderosjon og borttransport av jord til vannforekomstene har et stort omfang i Haldenvassdraget, og er en betydelig forurensningskilde. Ensidig åpen åkerdrift medfører at den dyrkede jorda er mer utsatt for jorderosjon sammenliknet med tidligere. I tillegg til dette kommer nye, tekniske driftsformer og nye dyrkingsområder i vassdragets umiddelbare nærområder som viktige årsaker. Transporten av jord til vassdraget foregår særlig med overflateavrenning i forbindelse med regnskyll, og under snøsmeltingen når overflaten av jordene er tint opp mens det er teleglag i bakken.

I tillegg til at jordpartikler transporteres bort med vannerosjonen, vil sigevann og overflatevann fra dyrket jord inneholde oppløste plantenæringsstoffer, avfallsstoffer og giftstoffer. Bruken av plantevernmidler i jordbruket har ikke blitt belyst ved vassdragsundersøkelsen. Dette bør imidlertid komme i søkelyset i tiden fremover når det gjelder forurensningen av vassdraget. I denne sammenheng står også skogbruket. Sprøytemidler er foreløpig anvendt i begrenset omfang i nedbørfeltets skoger. Skogbrukets forurensningspåvirkning av vassdraget vil neppe forandres i særlig grad i de nærmeste år. Interesse for gjødsling kan imidlertid tilta. Dette kan medføre en økning i utvasking av plantenæringsstoffer, først og fremst i form av nitrat. For vassdraget i sin helhet er kanskje innvirkning fra hogstflater og dreneringsarbeider av størst betydning for hydrologiske forløp og vannkvalitet (avsnitt 3.4).

Foruten den vesentlige betydning Haldenvassdraget har i økonomisk sammenheng, gir vassdraget den stedlige befolkning - og mennesker i geografisk tilgrensende områder - mulighet for friluftsliv og avspenning. Turistutviklingsfasen kan sies nettopp å være innledet i forbindelse med Haldenvassdraget. Dette vil imidlertid i nær fremtid raskt utvikle seg videre. Friluftsliv og reiseliv vil da få større konsekvenser for forurensningssituasjonen. Det melder seg allerede i dag i en viss utstrekning problemer med vannforsyninger, sanitærtekniske løsninger og ordninger for renovasjon. Forsøpling av vassdraget og nærområdet finner sted som følge av veitrafikk og ferdsel med båter i elver og innsjøer. Turisme og ferieaktivitet vil medføre tiltakende forurensningsbelastning og gi nedsatt hygienisk og estetisk standard ved Haldenvassdraget i tiden fremover. Dette forhold trenger betydelig oppmerksomhet for å begrense de uønskede virkninger på hensiktsmessig måte.

Industriutslipp er den viktigste forurensningskilde på landsbasis (Miljøverndepartementet 1975 II). I nedbørfeltet til Haldenvassdraget er imidlertid dette problem foreløpig av begrenset regional betydning. Men i lokale områder er det industri med skadelige utslipp. Problemer med industriutslipp er ikke direkte behandlet i sammenheng med vassdragsundersøkelsen. I årene som kommer, vil industriforurensninger melde seg med større tyngde for Haldenvassdraget. Det bør stilles strenge krav til ny industriering med hensyn til utslipp av forurensende stoffer til vassdraget. Dette vil særlig måtte gjelde stoffer med spesielle egenskaper (giftighet, nedbrytbarhet og muligheter for akkumulering i næringskjeden).

Vannkraftutbygging har hatt en vesentlig betydning for samfunnsutviklingen i nedbørfeltet. Den har bidratt til å øke produksjon og produktivitet i næringslivet (avsnitt 3.5). Virkningene for vassdraget med hensyn til påvirkning av vannkvalitet og innflytelse på organismeliv er foreløpig ikke direkte undersøkt. Den aktuelle vannkraftutbygging (avsnitt 3.4), har utvilsomt delvis hatt uheldige konsekvenser for forurensningssituasjonen i vassdraget.

Reguleringen i Haldenvassdraget slik den i dag praktiseres, virker inn på vassdraget gjennom flere mekanismer. Viktige faktorer er bl.a. vannføring, oppholdstider og vannstandsvekslinger.

I sammenheng med eutrofiutvikling er inngrep i vannføring - og dermed i vannstander og vannmassenes oppholdstider - betydningsfulle for biologiske prosesser som foregår i innsjøene og elveavsnittene.



Også i de aktuelle vassdragsavsnitt som det søkes ny reguleringskonsesjon for (1980), har inngrepene i vannføring hatt konsekvenser for eutrofieringsforløpet. Fra et vassdragssynspunkt er det formålstjenlig med et stort overflateareal i innsjøen, og en forlenget oppholdstid på vannmassene. Gjennom et hensiktsmessig utformet manøvreringsreglement vil de fleste ulemper i forurensningsmessig sammenheng i stor grad kunne begrenses.

Foruten i de aktuelle innsjøer selv, har reguleringene betydning for eutrofiutviklingen på vassdragsavsnittene nedstrøms i vassdraget. Bjørkelangen, Øgderen, Skulerudvatnet, Rødenessjøen og Øymarksjøen hører f.eks. til innsjøene som viser markert eutrofipåvirkning. Ringvirkninger av dette gjør seg gjeldende helt ned til Femsjøen, med konsekvenser for biologiske forhold og vannkvalitet.

Reguleringsinngrep vil kunne få større konsekvenser for vannkvalitet og biologiske forhold i tiden fremover sammenliknet med det de hittil har hatt. Vassdraget er varig vernet mot videre inngrep ved kraftutbygging.

### 6.3 Noen akutte problemer

Arbeidet med Haldenvassdraget har i første rekke vært en tilstandsundersøkelse som har gitt et situasjonsbilde og belyst utviklingstendensen i vassdraget. Det er nå behov for tiltaksundersøkelser som kan gi grunnlag for konsekvensanalyser av konkrete tiltak som angår både kvantitative og kvalitative sider ved vassdraget. I denne forbindelse kan det nevnes enkelte akutte problemer for Haldenvassdraget som vassdragsundersøkelsen har gitt innsikt i.

Utbyggingen av kloakkrenseanlegg har medført større punktbelastninger i visse avsnitt av vassdraget. Mens det tidligere i stor utstrekning ble sluppet kloakkvann til sidevassdrag på en spredt måte over vide områder, er det nå i større utstrekning blitt utslipp konsentrert til bestemte vassdragsavsnitt. Dette innebærer at selvrensingsprosessene tildels blir utnyttet på utilfredsstillende måte. Under de rådende forhold er selvrensingskapasiteten i hovedvassdraget delvis overskredet. Dette kommer til uttrykk med forurensningsvirkninger knyttet til organisk stoff (saprobiering og hygieniske forurensninger). Noen vassdragsavsnitt med en slik belastningsgrad er f.eks. Lokshaug - Bjørkelangen, Fosser - Naddum, Naddum-Ydersnes, utløp Rødenessjøen - Lifjord og lokale deler av Aremarksjøen.

Det gjør seg gjeldende et stadig økende forbruk av oksygenreservene i Bjørkelangen og Skulerudvatnet under stagnasjonsperiodene om sommeren og vinteren (avsnitt 4.3). I sammenheng med eutrofiutviklingen i vassdraget er dette betenkelig. Et spesielt kritisk punkt kommer med dannelsen av råttent bunnvann i innsjøene. Det foreligger erfaringer fra en rekke innsjøer om at forholdene da ligger tilrette for en aktiv frigjøring av fosfor- og nitrogenforbindelser som er lagret i sedimentene. Dette medfører en raskt forverret eutrofiering ("rasante Seenalterung", Ohle 1953) i vannforekomstene.

Bedømt ut fra resultatene av vassdragsundersøkelsen og de foretatte beregninger, er det utvilsomt at Rødenessjøen er i en utsatt posisjon for forurensningsvirkninger. En rekke faktorer er årsaker til dette, bl.a. utskiftningsforhold, belastningsgrad og innsjøprosesser. Rødenessjøens beliggenhet og betydning i elv-innsjøsystemet gir denne innsjøen en nøkkelposisjon i den praktiske forvaltning av vassdraget. Å bringe Rødenessjøen i en akseptabel forfatning blir en prøve på om vernet av Haldenvassdraget egentlig kan lykkes.

Som følge av jorderosjon (avsnitt 6.2) og utslipp av kloakkvannspartikler, finner det sted en betydelig slamforurensning av vassdraget. Dette har et omfang som er kritisk for vassdraget på sikt. Driftsmåter i jordbruket, og kunstgjødsele i seg selv, medfører at erosjon og tap av matjord øker. Det kan være vanskelig å oppnå korttidseffekter når det gjelder begrensninger av slamforurensninger. Men hvis dette ikke blir oppnådd, er det kanskje bare et tidsspørsmål når en nedslamming av vassdraget er kommet så langt at det i praksis ikke lar seg rette opp igjen. Uansett øvrige rensetiltak vil da eutrofieringen helt kunne dominere vassdragets utvikling.

Vassdraget er et sammenhengende biologisk produksjonssystem (avsnitt 4.2). Det er derfor nødvendig å bedømme både næreffekter og fjerneffekter av forurensningsbelastning (Skulberg 1980 III). Rensetekniske tiltak bør bestendig tilpasses resipientssystemet. En ensidig reduksjon av enten fosfor- eller nitrogenforbindelser i et område, kan f.eks. gi årsak til en forurensningsvirkning i et annet område av vassdraget. Det kan gjennom rensetiltaket skapes en uheldig balanse mellom plantenæringsstoffene. Et overskudd med

plantenæringsstoff - biologisk bedømt - kan føres nedover i vannsystemet, og det vil kunne gi grunnlag for ugunstig eutrofiutvikling i vassdragsområder på avstand fra utslippet. Dette er forhold som inntil nå har hatt for liten bevissthet i arbeidet med vern mot vannforurensning. For Haldenvassdraget innebærer dette f.eks. nødvendighet av oppmerksomhet mot hva overskuddet av nitrogenforbindelser (avsnitt 5.2) som føres gjennom vassdragssystemet gir av forurensningsvirkninger i andre resipientområder ("eksport av algevekstpotensial", Skulberg l.c.).

Urbanisering og intensiv jordbruksvirksomhet medfører at små vannsamlinger i nedbørfeltene blir sterkt næringsrike. Dette blir steder hvor blågrønnalger utvikler frodige forekomster. Fra slike reservoarer podes vannsystemene med utgangsbestander av blågrønnalger som av fysiologiske eller økologiske årsaker konkurrerer ut andre alger. Slike lokaliteter bør bli gjenstand for en snarlig opprydding (f.eks. Helgetjernet).

#### 6.4 Hva som bør oppnås

De rens tiltak som foreløpig er gjennomført - og andre forholdsregler - (avsnitt 5.4) har vist at iøyenfallende forurensningsvirkninger kan fjernes. Videre arbeid med forurensningsvirkninger bør konsentreres om å bringe bl.a. eutrofieringen av Haldenvassdraget under kontroll. En allsidig bruk av praktiske tiltak og andre virkemidler kan settes inn i denne sammenheng. Enkelte aktuelle fremgangsmåter og hjelpemidler er f.eks.:

- renseanlegg, redusere stoffbelastning
- erosjonsvern, unngå utvasking av matjord
- resirkulering, nyttiggjøre avfallsstoffer
- vegetasjonsborder, beskytte vannkvalitet
- innsjøsanering, begrense ugressalger

Videre innebærer situasjonen at økologiske sider må prioriteres når utnyttelsesplaner for nedbørfeltet blir laget. Gjennom skjøtsel av de levende ressurser i Haldenvassdraget bør det siktes mot å opprettholde grunnlaget for biologisk produksjon og reint vann (avsnitt 6.1).

For å vise hva som kan oppnås, vil noen forhold knyttet til eutrofibegrensende tiltak bli omtalt. Spørsmål som melder seg, er bl.a. hva skal tiltakene rettes mot, hvor stor reduksjon må til, hvor bør tiltakene settes inn og hvor stor effekt vil tiltakene ha? Det er ikke mulig å besvare spørsmålene så konkret som de er stilt, men tilnærmet kan de bli belyst.

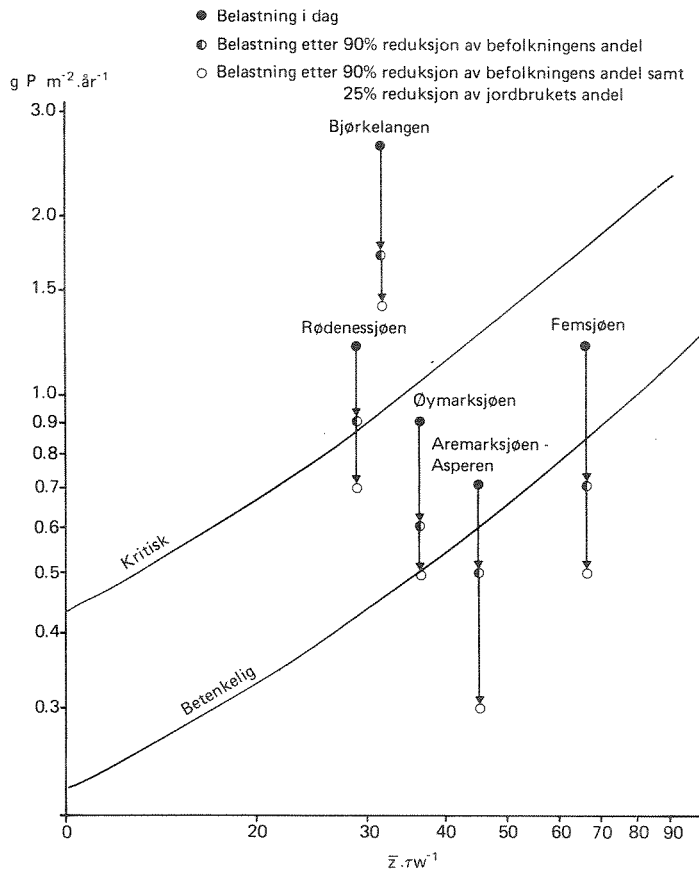
Resultatene av de utførte feltundersøkelser og laboratorieforsøk viser at fosforforbindelser gjennomgående er begrensende plantenæringsstoff for algeproduksjonen i Haldenvassdraget (avsnitt 4.5). Erfaringene fra eutrofiundersøkelser i norske vassdrag understøtter at fosfor er et stoff som praktisk forurensningsvern med fordel rettes mot. Det er først og fremst i innsjøene hvor virkningene av eutrofieringen gjør seg særlig gjeldende med skade for vannkvalitet i vid betydning. En primær oppgave blir derfor å begrense de uønskede eutrofieringsprosessene i innsjøsystemet (f.eks. få utviklingen i Rødenessjøen under kontroll - se avsnitt 6.3). Det kan understrekes at for å oppnå virkninger f.eks. for Femsjøen, vil det være nødvendig å gjøre forurensningsbegrensende tiltak også øverst i vassdraget (f.eks. ved Bjørkelangen) og suksessivt videre nedover hele vassdraget. Et praktisk tiltak i ett vassdragsavsnitt har altså konsekvenser for hele vassdraget nedstrøms. Når det gjelder forurensningsvirkninger, har både konsentrasjoner og mengde av stoffene det dreier seg om betydning. I praktisk sammenheng vil det tilsvarende være formålstjenlig at tiltakene settes inn hvor konsentrasjonen av forurensninger er høye (mulighet til å rense) og hvor mengdene av stoffene samtidig er store (det blir effekt av å redusere belastningen). Vassdragsundersøkelser har gitt kunnskap om hvor dette er tilfelle i resipientsammenheng.

Rensetekniske tiltak vil være de viktigste forholdsregler når det gjelder begrensnig av eutrofiering fra punktutslipp. Det bør imidlertid fortrinnsvis ikke ledes behandlet avløpsvann direkte til resipient fra kloakkrenseanleggene. Aktuelle selvrensingsprosesser utnyttet i tilpassede innretninger bør i stor utstrekning bli forsøkt utviklet som ekstra beskyttelsestiltak mot eutrofiering.

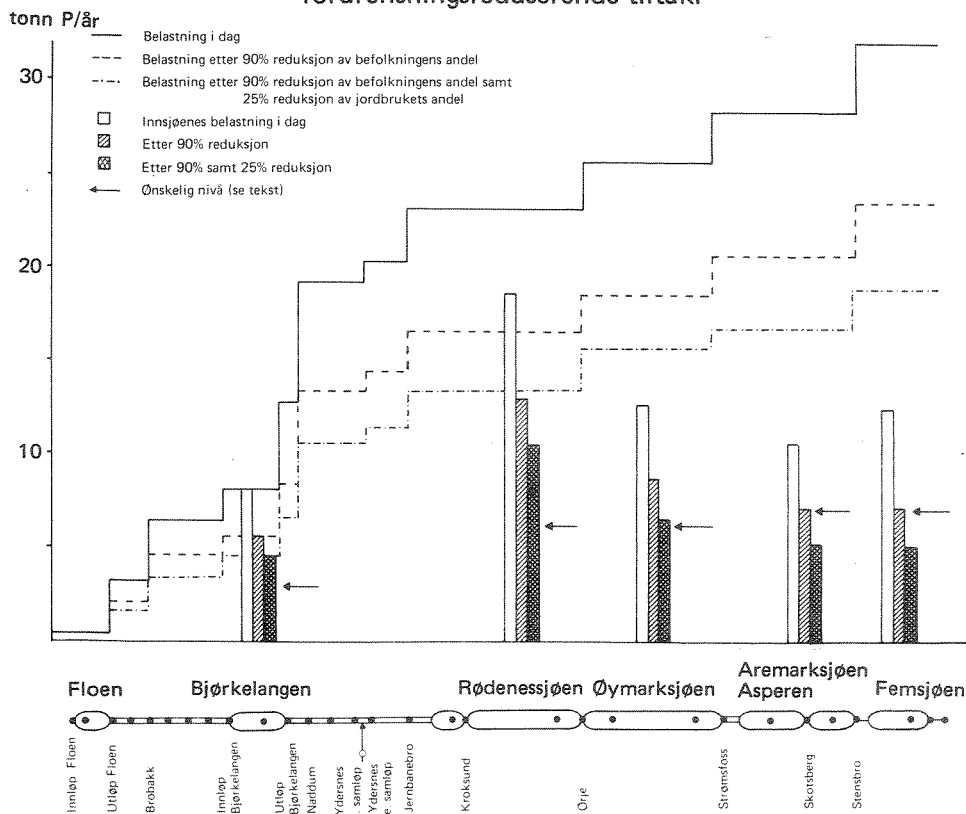
Diffuse forurensningsbidrag med plantenæringsstoffer er vanskelig å begrense. Det er behov for å avklare hvordan vegetasjonssoner langs vassdragene - strandnært på land og i vann - kan være hjelpemiddel til å beskytte mot uønsket eutrofiering av vassdragssystemet fra slike kilder.

I fig. 55 er det fremstilt, som et eksempel, hvordan innsjøenes fosforbelastning - avsnitt 5.3 - kan reduseres for å oppnå endringer i trofinivåer som er ønskelige (Vollenweider 1976). Hvis Rødenessjøen skal bringes fra dagens belastningsnivå og ned til under grensen for kritisk belastning, kan dette f.eks. oppnås ved at 90% av fosforbelastningen med kloakkvann blir tatt bort, samtidig med at 25% av fosforbelastningen fra jordbruksvirksomhet blir holdt tilbake. Dette vil medføre - fig. 56 - at Øymarksjøen, Are-

Figur 55. Innsjøenes fosforbelastning som følge av forurensningsreducerende tiltak (Vollenweider 1976).



Figur 56. Fosforbelastning i hovedvassdraget som følge av forurensningsreducerende tiltak.



marksjøen - Asperen og Femsjøen kommer under grensen for betenkelig belastning med fosforforbindelser. Bjørkelangen vil imidlertid fortsatt ligge i området høyere enn grensen for kritisk belastning. Som følge av vannmassenes spesielle utskiftningsforhold i denne grunne innsjø (avsnitt 4.2) kan det regnes med at vannkvaliteten likevel ikke vil forverres vesentlig fra det den er under de rådende forhold. Men i Bjørkelangens tilfelle kan eventuelt andre virkemidler i tillegg settes inn - biologisk resirkulering, Haugen et al. 1978 - (avsnitt 6.5).

Det bør skilles mellom reduksjon av fosforforbindelser som tiltak med kort-siktig effekt, henholdsvis langsiktig effekt. Noen fosforforbindelser er nærmest øyeblikkelig tilgjengelig for biologisk omsetning. Dette gjelder forbindelser som er løst i vannet (f.eks. ortofosfat, i stor utstrekning fra befolkning) eller forbindelser knyttet til kolloidale partikler i vannmassene (i stor utstrekning fra utvasking av landbruksområder). Andre fosforforbindelser er knyttet til erosjonsmateriale eller organiske partikler, og de medfører bl.a. tilslamming gjennom sedimentering og akkumulering i stilleflytende områder (avsnitt 5.2). I tabell 30 er det stilt sammen noen eksempler på beregningsresultater som viser innvirkning av ulike forureningsreducerende tiltak både når det gjelder belastning på innsjøene og akkumuleringsforhold.

Tabell 30. Regneeksempler på innvirkning av noen forureningsreducerende tiltak.

Fosforbelastning	Bjørkelangen		Rødenessjøen		Øymarksjøen		Åremarksjøen		Femsjøen	
	Belastn. tonn P/år	Akkum. tonn P/år	Belastn. tonn P/år	Akkum. tonn P/år	Belastn. tonn P/år	Akkum. tonn P/år	Belastn. tonn P/år	Akkum. tonn P/år	Belastn. tonn P/år	Akkum. tonn P/år
1.	8,1	1,4	18,6	8,6	12,7	4,5	10,6	3,5	12,2	2,6
2.	5,7	1,1	13,0	6,5	8,6	3,4	7,1	2,6	7,1	2,0
3.	4,5	0,9	10,5	5,6	6,5	2,9	5,2	2,3	5,2	1,7
4.	4,5	0,7	10,9	4,3	8,2	2,3	7,4	2,0	8,3	1,3

1. Forhold i dag.
2. Forhold etter 90% reduksjon av befolkningens andel.
3. Forhold etter 90% reduksjon av befolkningens andel samt 25% reduksjon av jordbrukets andel.
4. Forhold etter 50% reduksjon av befolkningens andel samt 50% reduksjon av jordbrukets andel.

#### 6.5 Biologisk produksjon - høstingsmuligheter.

Løsningen av forurensningsproblemene i Haldenvassdraget bør kobles med utvikling og nyttiggjøring av biologisk produksjon i elver, innsjøer og i tilpassede dyrkningsinnretninger. Ved slik behandling av avfallsproblemet er hensikten å fremme naturlige resirkuleringsprosesser. Dette gjøres ved å utnytte naturens evne til å ta imot og omsette stoffer som ellers kan medføre vannforurensning. Det foreliggende kunnskapsgrunnlaget gjør at det nå er modent for å prøve realisering av slike fremgangsmåter.

Aktuelle lokaliteter i Haldenvassdraget som peker seg ut til forsøksformål i denne sammenheng, er bl.a. Bjørkelangen og Helgetjernet. Bruken av biologiske systemer for resirkuleringsformål er ikke noen snarvei til løsning av forurensningsproblemene knyttet til vann. Det er mange problemer som krever avklaring og mange fremgangsmåter som må utprøves. De aktuelle systemene vil ha begrensninger av ulike karakter og omfang. Utgangspunktet for arbeidet kan være at bestående renseteknologi tilpasses slik at det blir samsvar mellom resipientens selvrensningsevne og tilført næringsbelastning. Samtidig bør det utvikles selvstendige biologiske metoder som kan føre frem til bruk av resipientens organismeliv til bl.a. høstingsmuligheter.

## 7. LITTERATUR

- ABRAHAMSEN, J. (1972): Naturvern og vassdrag.  
Oslo.
- AHL, T. (1979): Natural and human effects on trophic evolution.  
Arch. Hydrobiol. Beih., Ergebn.Limnol. 13, pp. 259-277.
- AKERSHUS FYLKE (1977): Akershus - Fylkesplan.  
Fylkesrådmannen i Akershus, 1/77.
- AREMARK KOMMUNE (1976): Utkast til generalplan for Aremark kommune.  
Aremark, pp. 1-72.
- ASHEIM, V. (1978): Kulturlandskapets historie.  
Oslo.
- AURSKOG-HØLAND KOMMUNE (1973): Generalplan for Aurskog-Høland 1973-1982.  
Bjørkelangen, pp. 1-48.
- BAKKE, H. (1915): Id herred, en grænsebygds historie.  
Fredrikshald.
- BIRKELAND, B.J. (1935): Mittel und extreme der Lufttemperatur.  
Geofysiske Publikasjoner, Vol XIV, No. 1.  
Utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo, pp. 1-155.
- BJØRLYKKE, K.O. (1940): Utsyn over Norges jord og jordsmonn.  
Norges geologiske undersøkelse nr. 156, Oslo, pp. 1-235.
- BRABRAND, Å., FAAFENG, B. og NILSSEN, J.P. (1979):  
Biologisk kontroll av algeoppblomstringer.  
NTNF Utvalg for eutrofieringsforskning, Oslo.
- BREIEN, K. (1933): Vegetasjonen på skjellsandbanker i indre Østfold.  
Nyt Magazin for Naturvidenskaberne, Bind 72, pp. 131-281.
- BRETTUM, P. (1975): En oversikt over forurensningstilstanden i noen større vassdrag.  
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1974, Oslo, pp. 27-35.



- BRETTUM, P. (1980): Planteplankton som indikator på vannkvalitet i norske innsjøer.  
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1979, Oslo, pp. 33-38.
- BRUUN, I. (1949): Nedbøren i Norge 1895-1943.  
Utgitt av Det norske meteorologiske institutt, Oslo, pp. 1-114.
- BRØGGER, W.C. (1901): Om de senglaciale og postglaciale nivåforandringer i Kristianiafeltet.  
Norges Geol. Unders. nr. 31.
- CAIRNS, J. (1980): The recovery process in damaged ecosystems.  
Ann Arbor.
- CLAESSON, A. (1978): Research on recovery of polluted lakes.  
Algal growth potential and the availability of limiting nutrients.  
Acta Universitatis Upsaliensis. 461.
- DAHL, I. og ARNESEN, R.T. (1980): Tilførsler og transport av forurensninger i et uregulert lavlandsvassdrag. Undersøkelser i Hølenvassdraget 1977-1978.  
Vann, vol. 15, nr. 2, pp. 193-206.
- DAHL, I. (1980): Hølenvassdraget. Forurensningstilførsler og stofftransport 1979.  
Norsk institutt for vannforskning. Rapport F-80420, pp. 1-51.
- DOVLAND, H. (1977): Kjemiske hovedkomponenter i nedbør.  
NORDFORSK. Miljøvårdssekretariatet.  
Publikation nr. 2, pp. 117-124
- DUKLÆT, H.S. (1964): Bjørkelangen. En humusrik, kulturpåvirket sjø under den marine grense.  
Manuskript. Universitetet i Oslo.
- EIE, J.A. (1973): Inventering av Hellsjøvatn, Kallaksjøen og Gjølssjøen - tre næringsrike innsjøer i Akershus og Østfold.  
Landsplan for verneverdige områder og forekomster. Miljøvern-departementet.  
Limnologisk rapport nr. 2/73. Oslo.

- ELIASSEN, S.G. (1978): Fra viking til industriarbeider.  
I "Bygd og By i Norge".  
Red. Nils E. Øy, Oslo.
- FAGERNÆS, K.A. (1979): Undersøkelser av orden Desmidiiales (Conjugatophyceae) på myra Langrasta, Indre Østfold.  
Manuskript. Universitetet i Oslo.
- FJERDINGSTAD, E. (1964): Pollution of streams estimated by benthic phytomicroorganisms. A saprobic system based on communities of organisms and ecological factors.  
Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, 49, pp. 63-131.
- FOWDEN, L. (1962): Amino acids and proteins.  
R. Lewin (editor): Physiology and biochemistry of algae.  
New York, pp. 189-209.
- FYLKESUTBYGGINGS- og AVDELINGEN I ØSTFOLD (1973): Haldenvassdraget.  
Samlerapport.  
Moss, 29 pp.
- GJESSING, E. (1976): Physical and chemical characteristics of aquatic humus.  
Ann Arbor.
- GOOD, R.E.; WHIGHAM, D.F. and SIMPSON, R.L. (1978):  
Freshwater wetlands.  
Ecological processes and management potential.  
New York.
- HAGA, A. (1981): Skjøtsel av næringsrike innsjøer fra et ornitologisk synspunkt.  
Fauna, nr. 4, pp. 137-146.
- HALDEN KOMMUNE (1967): Generalplan for Halden.  
Halden, pp. 1-79.
- HALVORSEN, R. (1978): Planteliv.  
I "Bygd og By i Norge".  
Red. Nils E. Øy, Oslo.

- HARDENG, G. (1978): Dyreliv.  
I "Bygd og By i Norge".  
Red. Nils E. Øy, Oslo.
- HARDENG, G. (1981): Naturfaglige og naturvernmessige forhold i  
Haldenvassdraget og tilgrensende områder med norsk del av Store Le.  
Manuskript, under utarbeidelse (Østfold-Natur Nr. 14).
- HASLAM, S.M. (1978): River plants.  
The macrophytic vegetation of watercourses.  
Cambridge.
- HASSELKNIPPE, E. (1972): Project Aqua. Beskyttelse av vannforekomster  
i Norge med naturvitenskapelig interesse.  
Oslo, pp. 1-101.
- HAUGEN, I. og SKULBERG, O.M. (1978): Biologisk resirkulering i vann.  
Bruk av biologiske systemer for resirkulering av plantenærings-  
stoffer i avløpsvann - styrt eutrofiering.  
Norsk institutt for vannforskning, 0-28/76, Blindern.
- HEYERDAHL, A. (1882): Urskogs Beskrivelse.  
Kristiania.
- HOLTAN, H. (1973): Litt om strøm og bølgebevegelser i innsjøer med  
eksempler fra Mjøsa.  
Vann, vol. 8, nr. 1, pp. 60-63.
- HOLTEDAHL, O. (1914): Høland og Setskogen herreder.  
Kristiania.
- HOLTEDAHL, O. (1953): Norges geologi. Bind I og II.  
Norges geologiske undersøkelse nr. 164, Oslo, pp. 1-1118.
- HUITFELDT-KAAS, H. (1918): Ferskvandsfiskenes utbredelse og  
indvandring i Norge med et tillæg om krebsen.  
Kristiania.
- HUTCHINSON, G.E. (1975): A treatise on limnology.  
Volume III. Limnological botany. New York.

- HYNES, H.B.N. (1970): The ecology of running waters.  
Liverpool.
- HØILAND, K. (1981): Froskebitt.  
Norsk natur, nr. 4, pp. 116-117.
- INDUSTRIKOMITEEN (1972): Innstilling om verneplan for vassdrag.  
Innst. S. Nr. 207 (1972-73).  
St. prp. nr. 4, pp. 583-605.
- ISRAELSON, G. (1949): On some attached Zygnetales and their significance in classifying streams.  
Botaniska Notiser, Häfte 4, pp. 313-358.
- JOHANSEN, E. (1954): Langs raet. Streiftog i Østfolds eldste historie.  
Østfoldarv 1951-1953, Sarpsborg, pp. 75-104.
- JOHANSEN, E. (1978): Den lengste historien.  
I "Bygd og By i Norge".  
Red. Nils E. Øy, Oslo.
- JOHANSEN, S. (1978): Vær og klima.  
I "Bygd og By i Norge".  
Red. Nils E. Øy, Oslo.
- KIÆR, A.N. (1885): Smaalenes Amt.  
Norges Land og Folk, statistisk og topografisk beskrevet.  
Kristiania.
- KJENSMO, J. (1966): Electrolytes in Norwegian lakes.  
Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie. Vol. 28, Fasc. 1,  
pp. 29-42.
- KOLKWITZ, R. (1912): Plankton und Seston.  
Berichte Deutscher Bot. Gesellsch. Bd. XXX, pp. 334-346.
- KOLLERUD, O. (1964): Innsjøen Øgderen (Hemnessjøen).  
En grunn, leirfylt sjø i indre Akershus.  
Manuskript. Universitetet i Oslo.

- KOTAI, J. og SKULBERG, O.M. (1976): Haldenvassdraget - Resipientundersøkelse som grunnlag for vassdragsdrift. Norsk institutt for vannforsknings årbok 1975, Oslo, pp. 11-24.
- KOTAI, J., KROGH, T. and SKULBERG, O.M. (1978): The fertility of some Norwegian inland waters assayed by algal cultures. Mitt. Internat. Verein. Limnol., 21, pp. 413-436.
- KROG, O. (1941): Geomorfologisk undersøkelse av Rødenessjøen. Manuskript. Universitetet i Oslo.
- KROG, O. (1944): Rødenessjøens morfologi. Norsk Geografisk Tidsskrift, 1, pp. 44-48.
- KROSBY, E. (1914): Rødenes Herred. Fredriksstad.
- KÄLLQVIST, T. (1973): Algal assay procedure (bottle test) at The Norwegian Institute for Water Research. Nordic symposium on algal assays in water pollution research, Oslo 1972. Proceedings. Helsinki, NORDFORSK; pp. 111-123.
- KÄLLQVIST, T. (1975): Algal growth potential of six Norwegian waters receiving primary, secondary and tertiary sewage effluents. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19, pp. 2070-2081.
- LIKENS, G.E. (1972): Eutrophication and aquatic ecosystems. In American Society of Limnology and Oceanography. Special Symposia, Volume I, pp. 3-13.
- LIKENS, G.E. (1972): Nutrients and eutrophication. The limiting-nutrient controversy. American Society of Limnology and Oceanography. Special Symposia. Volume I, pp. 1-328.
- LILLEVOLD, E. (1961): Aurskog og Blaker. Bydeboknemda for Aurskog og Blaker. Hamar.

- LINDSTRØM, E.-A. og SKULBERG, O.M. (1976): Sestonobservasjoner i sammenheng med praktiske vannundersøkelser; metoder, fremgangsmåter og eksempler på resultater.  
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1975, Oslo, pp. 35-47.
- LINKOLA, K. (1933): Regionale Artenstatistik der Süßwasserflora Finnlands.  
Ann. bot. soc. zool.-bot. fenn. Vanamo, Tom. 3, N:o 5, pp. 3-13.
- LOEHR, R.C., MARTIN, C.S. and RAST, W. (1980):  
Phosphorus management strategies for lakes.  
Ann Arbor.
- LUND, J.W.G. (1970): Primary production.  
Water Treatment and Examination. 19, pp. 332-358.
- LUTHER, H. (1949): Vorschlag zu einer ökologischen Grundeinteilung der Hydrophyten.  
Acta Bot. Fenn. 44, pp. 1-15.
- LYCHE, J. og GJELSTAD, B. (1980): Utmarksnæringer herunder ferskvannsfiske og viltbiologi.  
I "Landbruket i Østfold 1830-1980", Sarpsborg.
- LYCHE, J. (1980): Om vern av jordsmonnet og frihet fra sult og nød.  
I "Landbruket i Østfold 1830-1980", Sarpsborg.
- LAG, J. (1974): Innvirkning av jord og jordsmonn på sammensetning av ferskvann.  
Meddelelser fra Det norske myrselskap, nr. 5, pp. 1-8.
- MACAN, T.T. (1973): Freshwater ecology.  
Liverpool.
- MARKER KOMMUNE (1977): Generalplan 1976-1988.  
A1-D8, Ørje.
- MATHISEN, O.A. (1953): Some investigations on the relict crustaceans in Norway with special reference to *Pontoporeia affinis* Lindstrøm and *Pallasea quadrispinosa* G.O. Sars.  
Nytt mag. Zool. 1, pp. 49-86.

- MILJØVERNDEPARTEMENTET (1975 I): Om arbeidet med en landsplan for bruken av vannressursene.  
St. meld. nr. 107 (1974-75), pp. 1-104, Oslo.
- MILJØVERNDEPARTEMENTET (1975 II): Tiltak mot forurensninger.  
St. meld. nr. 44 (1975-76), pp. 1-138, Oslo.
- MILJØVERNDEPARTEMENTET (1981): Vern av norsk natur.  
St. meld. nr. 68 (1980-81), pp. 1-76, Oslo.
- MUNTHE, C.O. (1906): Fredrikshalds og Fredrikstens historie indtil 1720.  
Kristiania.
- NAUMANN, E. (1932): Grundzüge der regionalen Limnologie.  
Stuttgart.
- NORGES OFFENTLIGE UTREDNINGER (1971): Bruken av Norges naturressurser.  
NOU 1972:1, pp. 1-132, Oslo.
- NORGES OFFENTLIGE UTREDNINGER (1974): Norges ressursituasjon i global sammenheng.  
NOU 1974:55, pp. 1-203, Oslo.
- NORGES VASSDRAGS- OG ELEKTRISITETSVESEN (1958):  
Hydrologiske undersøkelser i Norge. Oslo.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1967): Undersøkelse av Femsjøen og Lille Ertevann som vannkilder for Halden vannverk.  
0-115/64, Blindern.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1969 I): Resipientundersøkelse for Ørje, Marker kommune 1967-1968.  
0-29/67, Blindern.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1969 II): Gjølshjø i Marker, Østfold.  
0-70/66, Blindern.

- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1972): Undersøkelse av Haldenvassdraget. Resultater av vassdragsundersøkelser 1967-1972. 0-219/70, Blindern.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1974): Noen observasjoner fra Bunessjøen, Halden kommune, Østfold. 0-98/73, Blindern.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1975): Rammeopplegg for Haldenvassdraget 1976-1980, Haldenvassdragets vassdragsforbund. 0-219/70, Blindern.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1978 I): Avløpsvannets mengde og sammensetning. 0-73/70, PRA 1.1, Blindern.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1978 II): Tilførsler av organisk stoff, nitrogen og fosfor fra nedbør, skog, snaufjell og jordbruk. A2-32, Blindern.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1979 I): Mjøsprosjektet. 0-69091. Hovedrapport 1971-76. Blindern.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1979 II): Haldenvassdragets Vassdragsforbund. Undersøkelse i Haldenvassdraget. Hoveddata for perioden 1972-1978.  
Forklaring til bruk av datasamlingen, pp. 1-20.  
Resultater fra prøvetaking i perioden 1972-1975, tabeller 1-90. (Del 1).  
Resultater fra prøvetaking i 1976, tabeller 91-190. (Del 2).  
Resultater fra prøvetaking i 1977, tabeller 191-254. (Del 3).  
Resultater fra prøvetaking i 1978, tabeller 255-369. (Del 4).  
Plantep plankton. Resultater fra september-håvtrekk i innsjøene 1961-1976, tabeller 370-375. (Del 5).  
Mikrobiologiske undersøkelser i perioden 1977-1978, pp. 1-24. (Del 6).  
0-70219, Blindern.



- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1979 III): Sanering av Helge-  
tjernet, Haldenvassdraget.  
Blindern.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1980): Haldenvassdraget -  
fra begrenset forurenset vassdrag til et begynnende problem-  
vassdrag.  
0-70219, Blindern.
- NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (1981): Haldenvassdraget -  
Akershus og Østfold, 1980.  
SFT- Overvåking av vannressurser.  
0-8000202, Blindern.
- ODUM, E.P. (1957): Fundamentals of ecology.  
Philadelphia.
- OHLE, W. (1953): Der Vorgang rasanter Seenalterung in Holstein.  
Naturwiss. 40, pp. 153-162.
- OLSEN, O. (1979): Fuglelivet ved Hellesjøvannet 1973-1978.  
"Toppdykkeren", Norsk Ornitologisk Forening.  
Supplement, august, pp. 39-100.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (1971):  
Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and  
flowing waters, with particular reference to nitrogen and  
phosphorous as factors in eutrophication.  
30.9.1970, Paris, pp. 1-159.
- OTNES, J. og RÆSTAD, E. (1978): Hydrologi i praksis.  
Oslo.
- PARMER, V. (1959): Fløting i de sørlige grensetrakter.  
Utgitt av Haldenvassdragets Fløtningsforening ved 100-års  
jubileet 16. april 1959. Halden.
- PAULSEN-NÆSS, T. (1980): Fløtingen i Haldenvassdraget.  
I "Landbruket i Østfold 1830-1980", Sarpsborg.
- ROMSTAD, R. and SKULBERG, O.M. (1972): Some observations on the  
distribution and abundance of blue-green algae of inland waters  
in Southern Norway.  
IBP i Norden, No. 10, pp. 22-37.

- RØRSLETT, B. og SKULBERG, O.M. (1968): Vern av naturlige næringsrike innsjøer i Norge. En foreløpig oversikt over noen eutrofe innsjøer i Sør-Norge, og deres botaniske forhold.  
Norsk institutt for vannforskning, 0-70/66.
- RØRSLETT, B. (1976): Tilgroing med høyere vegetasjon - omfang, hastighet og årsaker.  
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1975, Oslo, pp. 49-56.
- SAMUELSON, G. (1925): Untersuchungen über die höhere Wasserflora von Dalarna.  
Svenska Växtsociologiska Sällskapetets Handlingar IX, Uppsala.
- SAMUELSON, G. (1934): Die Verbreitung der höheren Wasserpflanzen in Nordeuropa.  
Acta Phytogeographica Suecica VI, Uppsala.
- SCHULZ, B. (1962): Wasserlinsen.  
Wittenberg. Lutherstadt.
- SCULTHORPE, C.D. (1971): The biology of aquatic vascular plants.  
London.
- SJÖRS, H., (1956): Nordisk växtgeografi.  
Stockholm.
- SKJESETH, S. (1978): Geologien i Østfold.  
I "Bygd og By i Norge".  
Red. Nils E. Øy, Oslo.
- SKULBERG, O.M. (1959): Biologiske metoder for forurensningsundersøkelser.  
Norsk institutt for vannforskning, Blindern.
- SKULBERG, O.M. (1965): Vannblomstdannende blågrønnalger i Norge og deres betydning ved studiet av vannforekomstenes kulturpåvirkning.  
Nord. Jordbr. Forsk., vol. 47, nr. 3, pp. 180-190.
- SKULBERG, O.M. (1968): Studies on eutrophication of some Norwegian inland waters.  
Mitt.Internat.Verein.Limnol., Vol. 14, pp. 187-200.

- SKULBERG, O.M. (1972): Blågrønnalger i norske vannforekomster, mulige konsekvenser av sunnhetsmessig betydning for mennesker og dyr.  
Tidsskr. norske Lægeforen., vol. 92, nr. 12, pp. 851-854.
- SKULBERG, O.M. (1974 I): Resipientundersøkelser - vassdrag som system.  
Vann, vol. 9, nr. 1, pp. 8-15.
- SKULBERG, O.M. (1974 II): Observasjoner av endringer i organisme-samfunn og biologisk produksjon i forsøksresipienter.  
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1973, Oslo, pp. 53-54.
- SKULBERG, O.M. (1974 III): Begroing i norske vassdrag, virkninger av regulering.  
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1973, Oslo, pp. 27-38.
- SKULBERG, O.M. (1975): Observation and monitoring of water quality by use of experimental biological methods.  
Verh.int.Verein.theor.angew.Limnol., Vol. 19, pp. 2053-2063.
- SKULBERG, O.M. (1977): Bedømmelse av forurensningsvirkninger i vassdrag med eksperimentelle biologiske metoder.  
Miljøkjemi, red.: Alf Bjørseth.  
Universitetsforlaget, Oslo, pp. 120-129.
- SKULBERG, O.M. (1978): En ny lemnide i norsk flora - Svanemat (*Ricciocarpus natans* (L.) Corda) i Gjølsjøen, Haldenvassdraget.  
Blyttia 36, pp. 27-34.
- SKULBERG, O.M. (1980 I): Blue-green algae in Lake Mjøsa and other Norwegian lakes.  
Progress in Water Technology, 12 (2), pp. 121-141.
- SKULBERG, O.M. (1980 II): Noen observasjoner av alger med masseforekomst i vegetasjonsperioden 1979.  
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1979, Oslo, pp. 19-25.
- SKULBERG, O.M. (1980 III): Nitrogen som begrensende faktor for algevekst. Bidrag til en avklaring om nitrogenets rolle i eutrofi-sammenheng.  
NTNFs program for eutrofieringsforskning, Blindern.

- SKULBERG, O.M. (1981): Når innsjøer og elver blir overgjødslet - kulturbetinget eutrofiering av algevekst.  
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1980, Oslo, pp. 23-30.
- SKULBERG, O.M., KOTAI, J. og ØSTENSVIK, Ø. (1978): Haldenvassdraget som resipientssystem.  
Forurensningssituasjonen i 1977 belyst med kjemiske og bakterio-  
logiske undersøkelser.  
Norsk institutt for vannforsknings årbok 1977, Oslo, pp. 53-62.
- SLÁDEČEK, V. (1973): System of water quality from the biological  
point of view.  
Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 7, I-IV, pp. 1-218.
- STATENS INSTITUTT FOR FOLKEHELSE (1976): Kvalitetskrav til vann.  
Sosialdepartementet, 1-2026 Statens trykksakekspedisjon, Oslo,  
pp. 1-52.
- SØNSTERUD, P.E. (1968): Femsjøen. En regulert rademt sjø i  
Haldenvassdraget.  
Manuskript. Universitetet i Oslo.
- TOLLAN, A. (1975): Avrenning fra urbane strøk.  
Vann, vol. 10, nr. 4, pp. 291-296.
- TOLLAN, A. og ASVALL, R.P. (1977): Norges geografi, hydrologi og  
glasiologi.  
Norges Geografi, redaktør J. Gjessing, Oslo, pp. 127-142.
- UHLEN, G. (1978): Nutrient leaching and surface runoff in field  
lysimetres on cultivated soil.  
II. Effects of farm yard manure spread on a frozen ground and  
mixed in the soil on water pollution.  
Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole, vol. 57, nr. 28, pp. 1-23.
- VAN DYNE, G.M. (1969): The ecosystem concept in natural resource  
management. New York.

- VIBE, J. (1897): Akershus Amt, Norges Land og Folk, topografisk-historisk-statistisk beskrivelse. Kristiania.
- VOGT, F. og SOLEM, A. (1966): Norske kraftverker. Bind I og II, Oslo.
- VOLLENWEIDER, R.A. (1976): Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem.Ist.Ital.Idrobiol., 33, pp. 53-83.
- VOLLENWEIDER, R.A., RAST, W. and KEREKES, J. (1980): The phosphorus loading concept and Great Lakes eutrophication. In "Phosphorus Management and Strategies for Lakes", edited by: Loehr, R.C., Martin C.S. and Rast, W., pp. 207-234. Ann Arbor.
- WEBER, C.A. (1907): Aufbau und Vegetation der Moore Norddeutschlands. Bot. Jahrb. 40. Beibl. 90, pp. 19-34.
- WETZEL, R.G. (1975): Limnology. Philadelphia.
- WHITFORD, L.A. and SCHUMACHER, G.J. (1961): Effects of current on mineral uptake and respiration by freshwater algae. Limnology and Oceanography 6, pp. 423-425.
- WILLE, N. (1880): Bidrag til Kundskaben om Norges Ferskvandsalger. I. Smaalenenes Chlorophyllophyceer. Chr. Vidensk. Selsk. Forh., 11, 71 pp.
- WRIGHT, R.F., DALE, T., GJESSING, E.T., HENDREY, G.R., HENRIKSEN, A., JOHANNESSEN, M. and MUNIZ, I.P. (1976): Impact of acid precipitation on freshwater ecosystems in Norway. Water, Air and Soil Pollution 6, pp. 483-499.
- ØKLAND, J. (1979): Kalkinnhold, surhetsgrad (pH) og snegler i norske innsjøer. Fauna 32, pp. 96-111.

ØKLAND, K.A. (1979): Localities with *Asellus aquaticus* (L.) and *Gammarus lacustris* G.O. Sars in Norway, and a revised system of faunistic regions.

SNSF-Prosjektet. Teknisk notat nr. 49, Oslo, pp. 1-64.

ØKLAND, K.A. (1981): Lokalitetsoversikt for funn av småmuslinger (*Sphaeriidae*) i Norge, med data om kalkinnhold og pH.

Manuskript. Universitetet i Oslo.

ØSTENSVIK, Ø. (1979): Desimering av miljøfremmede mikroorganismer i vann.

Vann, vol. 14, nr. 1B, pp. 25-37.

ØYEN, P.A. (1908): Kvartær-studier i den sydøstlige del av vort land. Videnskabs-Selskabets Skrifter. I. Math.-Naturvid. Klasse.

No. 2, pp. 1-126.