

Tilførsler og transport av forurensninger i et uregulert lavlandsvassdrag

Undersøkelser i Hølevassdraget 1977—1978

Av Ingvar Dahl og Rolf Tore Arnesen

Forfatterne er begge cand. real med kjemi hovedfag fra 1964 og er ansatt som forskere ved NIVA.

INNLEDNING

Hølevassdraget er et uregulert vassdrag i søndre Akershus (Follo). En mindre del av nedbørfeltet ligger i Østfold fylke. Resipientforholdene i vassdraget ble første gang undersøkt i 1966 (NIVA 1968). Videre undersøkelser i perioden 1974—77 har vist hvorledes naturgitte forhold og ulike forurensende aktiviteter i nedbørfeltet innvirker på vannkvaliteten (NIVA 1977).

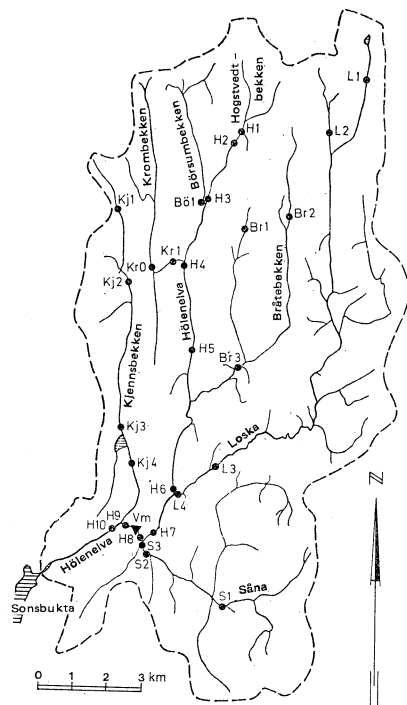
Resultater av tilførselsberegninger og stofftransportmålinger i vassdraget i årene 1977 og 1978 er nylig rapportert (NIVA 1980), og danner grunnlaget for denne artikkelen.

NEDBØRFELT

Naturforhold

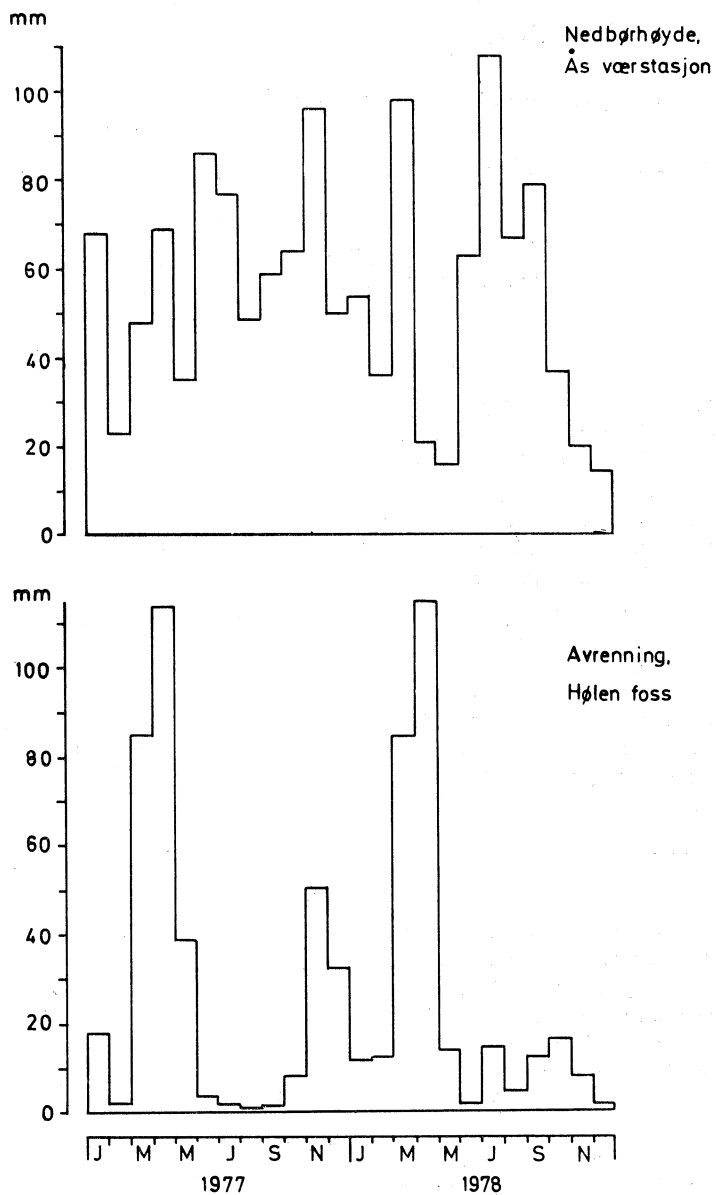
Som det fremgår av figur 1 danner Hølevassdraget et vidt forgrenet system av bekker og mindre elver. Nedbørfeltet er kjennetegnet ved små høydeforskjeller. Hovedløpet har en lengde av ca. 21 km. Mangel på innsjøer gir raske og til dels meget store vannføringsvariasjoner.

Nedbørfeltet ligger i det sørøstnorske grunnfjellområde. Bergartene her er hovedsakelig gneiser og granitter. En stor del



Figur 1.

Hølevassdraget. Nedbørfelt og prøvetakingsstasjoner.



Figur 2. Månedlig nedbørmengde og avrenning, 1977—78.

av de kvartære sedimentene består av marin leire. Størsteparten av områdene med marine avsetninger er dyrket og benyttes til kornproduksjon. Dette fører til betydelig erosjon og leiretransport i vassdraget.

Størrelsen av nedbørfeltet oppstrøms nederste stasjon (H 10) i hovedvassdraget er 138 km². Nedbørfeltets utstrekning ved vannmerke/stofftransportstasjon (Vm i figur 1) er 121 km². Arealfordelingen fremgår av tabell 1. Dyrket mark og tettstedareal dekker omtrent 1/3 av nedbørfeltet, mens resten er skog og «annet» areal (myr, bart fjell m.v.)

Figur 2 viser månedlig nedbørhøyde og avrenning i 1977 og 1978. Begge år var karakterisert ved stor vanntransport ut av nedbørfeltet i mars—april som følge av nedbør og avsmelting. Infiltrasjon i jorden og fordunstning gjorde at nedbøren som falt i sommermånedene gav begrenset avrenning. Unormalt lite nedbør i siste kvartal 1978 førte til at den ordinære høstflommen uteble dette år.

Aktiviteter

Tabell 1 gir en oversikt over jordbruksaktivitetene i nedbørfeltet. Korn dyrking er den dominerende produksjonsformen. Storfeholdet er meget beskjedent, og i samsvar med dette legges det ned lite silofór. Halmluting forekommer overhodet ikke.

Avløpsforholdene for befolkningen fremgår av tabell 2. Det er to større tettsteder i nedbørfeltet. Avløpsvannet fra sentrumsbebyggelsen i Ås, tilsvarende 6700 personekvivalenter, blir renset i et mekanisk-kjemisk anlegg før det slippes ut i vassdraget. Alt avløpsvann fra Vestby sentrum skal etter forutsetningene være ført ut av

feltet til Søndre Follo kloakkverk. Det er imidlertid påvist enkelte punktutslipp i nedre del av sidevassdraget Krombekken.

Bortsett fra bensinstasjoner og forskjellige verksteder er det lite industri i nedbørfeltet. Det foreligger ikke opplysninger om industribedrifter med prosessutslipp til vassdraget. Sigevann fra de to søppelfyllplassene i feltet renner ukontrollert ut i vassdraget.

VANNKVALITET OG VASSDRAGS-TILSTAND

For å belyse den fysisk-kjemiske vannkvaliteten i Hølevassdraget ble det i årene 1974—77 samlet inn prøver fra 10 faste stasjoner i hovedløpet og et vekslende antall i de seks sidevassdragene.

Stasjonsplasseringen ses av figur 1. Prøvene ble dels tatt ved utpreget lav vannføring om sommeren, dels sent på høsten etter flomperioden.

Det er stor forskjell på vannkvaliteten i Hølevassdraget sommer og høst. Denne årstidsvariasjonen er nær knyttet til vannføringen. Høy vannføring gir sterk erosjon samtidig som fortynningen øker. Mengden av suspendert materiale i vannet er derfor størst i flomperioder, mens de høyeste konsentrasjonene av elektrolutter (salter) opptrer ved lav vannføring. Det er i første rekke utvasking fra marine avsetninger i nedbørfeltet som gir vannet et høyt saltinnhold. Foruten at vannkvaliteten varierer med årstiden, er det betydelige ulikheter mellom de enkelte deler av vassdraget. Dette har hovedsakelig sammenheng med forskjellige forurensende aktiviteter i nedbørfeltet, særlig utslipp av kommunalt avløpsvann og avrenning fra jordbruksområdene.

Den øvre del av hovedløpet er meget sterkt påvirket av utslippet fra Hogstvedt

Tabell 1. Arealfordeling og jordbruksaktiviteter

Tettstedsareal km ² %		Arealfordeling			Husdyrhold				Nedlagt silofør ant. pr. km ²				
		Dyrket mark km ² %	Skog o.a. areal km ² %	Storfe ant. pr. km ²	Griser ant. pr. km ²	Fjørfe ant. pr. km ²							
2,1	1,7	38,2	31,6	80,7	66,7	440	3,6	1620	13,4	29000	240	860	7,1

Tabell 2. Avløpsforhold og renseanlegg

Befolkning totalt p.e. pr. km ²	Tilknyttet renseanlegg		Ikke tilknyttet renseanlegg						
	Mekanisk-kjemisk p.e. %	Biologisk p.e. %	Tettbebyggelse p.e. %	Spredt bebyggelse p.e. %					
9550	79	6700	70,1	550	5,8	550	5,8	1750	18,3

kloakkrenseanlegg (stasjon H 2, se figur 1). På et over 7 km langt avsnitt nedstrøms rensesanlegget har bekken et markert kloakkvannpreg. Her er primærbelastningen med organisk stoff så stor at vannet om sommeren viser oksygenmangel og sviktende selvrensingsevne (NIVA 1977). Lenger nede i vassdraget fører selvrensing og fortykning til en viss bedring av vannkvaliteten. Vannets innhold av næringsstoffer er imidlertid meget høyt. Dette gir opphav til betydelig sekundær belastning av vassdraget med organisk materiale. Produksjonsforholdene er dominert av høyere vegetasjon, som forårsaker kraftig tilgroing i grunne partier av elva.

FORURENSNINGSTILFØRSLER

Generelt

Teoretisk beregning av forurensningstilførsler til et vassdrag forutsetter sammenheng mellom naturforhold/aktiviteter i nedbørfeltet, produksjon av forurensende stoffer og transport av disse frem til vassdraget. Beregningene tar utgangspunkt i visse erfaringstall for forurensningsproduksjon (befolkning, husdyr, industri) og arealavrenning (dyrket mark, skog, tettsteder), og må anses som forholdsvis usikre.

Til tross for usikkerheten kan tilførselsberegningene gi et tilnærmet riktig bilde av totalbelastningen i vassdraget og den relative størrelse av bidrag fra ulike forurensningskilder. På den annen side vil virkningene i resipienten avhenge av hvor tilførslene finner sted, fordelingen over tid og om næringsstoffene foreligger i en form som er tilgjengelig for alger og vannplanter.

Beregning av fosfor- og nitrogentilførsler til Hølenvassdraget er basert på registreringer av naturgrunnlag og aktiviteter

i nedbørfeltet. For øvrig bygger beregningene på de forutsetninger og spesifikke tilførselstall som tradisjonelt har vært anvendt, komplettert med nyere forskningsresultater for avrenning fra jordbruksområder. Tilførslene av organisk stoff er ikke forsøkt kvantifisert, da det mangler grunnlagsmateriale for beregning av bidragene fra dyrket mark og skog.

Jordbruk

Forurensningene fra jordbruket stammer dels fra punktkilder, dels fra diffuse kilder — hovedsakelig dyrket mark. Bidraget fra sistnevnte omfatter både tilførsler på grunn av «naturlig» bakgrunnsavrenning og slike som skyldes oppdyrking og gjødsling av arealene. De viktigste punktkildene er gjødsellagre (kjellere, binger), melkerom og surførsiloer.

Dyrket mark

Tilførslene fra dyrket mark avhenger bl.a. av topografi, jordsmonn, arealutnyttelse, gjødsling og klima. Nedbørens mengde, intensitet og sesongvariasjon har stor betydning for avrenningen. Innen samme område vil derfor tilførslene variere betydelig over året, som regel også fra ett år til et annet.

Institutt for hydroteknikk, Norges landbrukshøgskole (NLH), har siden 1969 målt stofftransport i en rekke nedbørfelt med vekslende innslag av jordbruksaktiviteter (Lundekvam 1976). På grunnlag av målingene er det utført beregninger av fosfor- og nitrogentilførsler fra jordbruket i enkelte fylker og kommuner (Lundekvam 1977, NIVA 1978). En sammenligning med tilsvarende beregninger i «Landsplan for bruken av vannressursene» (Mikkelsen og medarbeidere 1974) viser at tilførslene av fosfor fra dyrket mark har

vært betydelig undervurdert. Også nitrogentilførslene er for lavt anslått i de fleste regioner.

Et av de jordbruksområder hvor NLH har foretatt undersøkelser ligger i Rakkestad i Østfold. For året 1976 foreligger stofftransportdata fra målinger i fem nedbørfelt. På basis av disse er det beregnet spesifikke tilførsler av fosfor, nitrogen og kalium fra jordbruksarealene (Lundekvam 1979). Netttilførslene fra dyrket mark kan beregnes ved å trekke bidragene fra befolkningen og punktkildene i jordbruket fra totaltilførslene. Ved å anta at tilførslene i et bestemt år er proporsjonale med avrenningen kan det korrigeres for avvikende avrenning i undersøkelsesåret (NIVA 1980). Dette gir følgende tilførselsverdier:

Fosfor (P) — 110 kg/km² · år
 Nitrogen (N) — 5700 kg/km² · år

Verdiene representerer tilførsler i et «normalår», forårsaket av bakgrunnsavrenning, oppdyrking og gjødsling. Atmosfæriske tilførsler via nedbør og tørravsetninger er også inkludert.

Det er kort avstand (4—5 mil) mellom Rakkestadområdet og Hølevassdraget. Klima, arealbruk og jordart viser stor grad av overensstemmelse. Som utgangspunkt for beregning av tilførsler fra dyrket mark til Hølevassdraget er det derfor valgt å benytte arealkoeffisientene ovenfor. Midlere årsnedbør for vassdraget kan settes til 785 mm (Ås værstasjon). Avrenningen i vassdraget i treårsperioden 1977—79 var $51 \pm 2\%$ av nedbørmengden vedkommende år. På dette grunnlag er avrenningen i et normalår anslått til 400 mm. Forholdet mellom avrenningen i

1977 (357 mm), respektive 1978 (305 mm), og «normalavrenningen» er brukt som korreksjonsfaktor ved tilførselsberegningene.

Gjødsellagre og melkerom

Forurensningstilførsler til vassdrag som følge av lekkasjer fra gjødsellagre og utslipp fra melkerom undersøkes for tiden ved NLH. I en foreløpig rapport (Lundekvam 1979) er det redegjort for resultater av stofftransportmålinger i melkeromavløp og drencsystem rundt driftsbygninger.

Mengden av fosfor og nitrogen i husdyrgjødsel kan beregnes ut fra kjente produksjonstall pr. dyreenhet og år. I forhold til den totale produksjon antas at 1% av fosforet og 4% av nitrogenet tilføres vassdrag via drencvann fra gjødsellagre (Lundekvam 1979). Dette gir følgende spesifikke belastningsverdier:

		<i>Storfé</i>	<i>Gris</i>
Fosfor	(P), kg/år	0,17	0,025
Nitrogen	(N), kg/år	3,4	0,42

Utslipp fra melkerom har først og fremst innvirkning på fosfortilførslene, mens nitrogenbidraget er svært beskjedent. Mesteparten av fosforet kommer fra rengjøring av utstyr. Bruk av fosfatfattede vaskemidler vil derfor redusere fosformengdene vesentlig. Det er her benyttet følgende gjennomsnittlige tilførselstall (Lundekvam 1979):

Fosfor (P) — 0,35 kg/melkeku · år
 Nitrogen (N) — 0,38/kgmelkeku · år

Siloanlegg

Silopressaft inneholder betydelige mengder næringsstoffer og lett nedbrytbart organisk materiale. I «Landsplanen» (Mik-

kelsen og medarbeidere 1974) er gjennomsnittlige stoffmengder i pressaft fra ferdig silofôr oppgitt til:

Fosfor (P) — 0,096 kg/m³ silomasse
Nitrogen (N) — 0,336 kg/m³ silomasse

Ved tilførselsberegningene er det regnet med at 30% av pressaften blir tilført vassdraget (NIVA 1978).

Skog og annet areal

De naturgitte forhold som har størst innvirkning på tilførslene fra skog er topografi, jordbunn, vegetasjon og klima — spesielt nedbørforholdene. Variasjonen i tilførsler som funksjon av moderne driftsmetoder i skogbruket (grøfthing, gjødsling, flatehogst) er lite klarlagt.

Ved tilførselsberegningene er det anvendt arealkoeffisienter fra svenske undersøkelser (Brink og Gustafson 1970):

Fosfor (P) — 6,5 kg/km² · år
Nitrogen (N) — 220 kg/km² · år

Det er korrigert for forskjellene i avrenning mellom de to aktuelle år og et «normalår» etter den fremgangsmåte som er benyttet for dyrket mark.

Tettstedareal

Størrelsen av forurensningstilførslene ved overflateavrenning fra tettbebyggelse avhenger av mange faktorer, bl.a. avløps-systemets utforming og spesielt andelen tette flater. Som beregningsgrunnlag er det benyttet spesifikke transportverdier funnet ved målinger i tre felt med separatsystem og gjennomsnittlig 31% tette flater (Lindholm 1977):

Fosfor (P) — 100 kg/km² · år
Nitrogen (N) — 700 kg/km² · år

Befolkning

Forurensningene fra befolkningen kan beregnes med utgangspunkt i alminnelig aksepterte belastningstall:

Fosfor (P) — 2,5 g/person · døgn
Nitrogen (N) — 12 g/person · døgn

Hvor stor del av de produserte mengder som tilføres vassdraget avhenger bl.a. av bosettingsmønster, sanitærteknisk standard, rensetiltak og effekten av disse, samt kvaliteten av ledningsnettet. Avstanden fra utslippssted til målestasjon er bestemmende for i hvilken grad selvrensing i resipienten vil innvirke på resultatene.

Områder med renseanlegg

Hele 70% av befolkningen er tilknyttet Hogstvedt kloakkrenseanlegg (tabell 2). Dette er et eldre mekanisk anlegg, supplert med kjemisk felling. Resultater av kvartalsvise kontrollanalyser i årene 1977—79 viser gjennomsnittlig 70% renseseffekt med hensyn på fosfor. Forsøk på å beregne netto tilførsingsgrad, dvs. den prosentvise andel av avløpsvannet fra tilknyttet befolkning som når frem til anlegget, gav svært varierende verdier. Den gjennomsnittlige tilførsingsgrad er imidlertid anslått til 60%. Avløpsvann som går tapt via ledningsnettet er antatt å havne i resipienten. Dette betyr at bare 42% av den produserte fosformengde i Hogstvedt rensedistrikt blir fjernet. Tilsvarende verdi for nitrogen er satt til 10% (analyseresultater foreligger ikke).

I nedbørfeltet finnes fem mindre, biologiske aktivslamanlegg med tilsammen 550 p.e. Driftsresultater for de enkelte anlegg er ikke kjent. Totalt er det regnet at 20% av fosforet og 15% av nitrogenet blir fjernet i anleggene.

Områder uten renseanlegg

Ca. 550 personer i tettbygde områder uten renseanlegg har direkte utslipp til vassdraget, til dels via slamavskiller (septiktank) og/eller offentlig avløpsnett. Ved beregning av den samlede belastning fra befolkning i tettbygde strøk er det antatt at de produserte mengder blir tilført vassdraget i sin helhet.

I hvilken grad forurensningene fra områder med spredt bosetting (ca. 1750 p.e.) når frem til vassdraget, beror bl.a. på hvor mange som har vannklosett, mulighetene for infiltrasjon av avløpsvannet i grunnen og avstanden til resipienten. Det er ikke foretatt noen registrering av sandfilter- og infiltrasjonsanlegg i nedbørfelket. På bakgrunn av lokale forhold, spesielt de korte avstander til nærmeste resipient, er teoretisk beregnede tilførsler fra be-

folkning i spredt bebyggelse redusert skjønnsmessig med 30%.

Søppelfyllplasser og industri

Forurensningsbidragene fra fyllplasser, bensinstasjoner og verksteder lar seg ikke anslå, men betyr antagelig lite sammenlignet med øvrige fosfor- og nitrogentilførsler til vassdraget. De er derfor ikke tatt hensyn til ved beregningene.

Totale tilførsler

De totale tilførsler av fosfor og nitrogen til Hølenvassdraget i 1977 og 1978 — beregnet på teoretisk grunnlag — fremgår av tabell 3. Bidragene fra hver enkelt kilde er her avrundet og summert. Tabellen gir også prosentvis fordeling av tilførslene på de ulike kilder.

Tabell 3. Beregnete totaltilførsler av fosfor og nitrogen til Hølenvassdraget i 1977 og 1978

Kilde	Fosfor (P)				Nitrogen (N)			
	1977		1978		1977		1978	
	tonn	%	tonn	%	tonn	%	tonn	%
Jordbruk								
Dyrket mark ^{x)}	3,7	36	3,2	33	194	78	165	75
Punktkilder	0,3	3	0,3	3	2,5	1	2,5	1
Skog o.a. areal	0,5	5	0,4	4	16	6	14	6
Tettstedareal	0,2	2	0,2	2	1,5	1	1,5	1
Befolkning	5,6	54	5,6	58	36	14	36	17
Sum	10,3	100	9,7	100	250	100	219	100

x) Omfatter bakgrunnsavrenning samt oppdyrking og gjødsling av arealene

Beregningene tyder på at 35—40% av tilført fosfor stammer fra jordbruksaktiviteter, mens 50—60% skyldes utslipp fra befolkningen. For nitrogen synes hele 75—80% å komme fra jordbruket mot ca. 15% fra befolkningen. Av jordbrukets bidrag ser det ut til at mer enn 90% fosfor og praktisk talt alt nitrogen skyldes avrenning fra dyrket mark.

Tilførselsberegninger må generelt regnes som relativt usikre. For Hølenvassdraget er de største usikkerhetsmomentene knyttet til avrenning fra jordbruksarealene, renseeffekt/tilføringsgrad ved Hogstvedt kloakkrenseanlegg og tilførsler fra spredt bebyggelse. Prosenttallene ovenfor må derfor ikke oppfattes som absolutte verdier. De bør likevel kunne illustrere størrelsen av bidragene fra de to dominerende kilder, jordbruket og befolkningen.

Den forurensningsmessige betydning av kildene har ikke direkte sammenheng med deres innbyrdes størrelse. For eksempel er det alminnelig antatt at «vaskemiddel-fosfat» fra kommunalt avløpsvann har større gjødslingseffekt i resipienten enn partikkelbundet fosfor tilført ved erosjon av åpne åkerarealer. Overflateavrenning fra dyrket mark foregår hovedsakelig i flomperiodene vår og høst, slik at en betydelig del av næringsstoffene blir transportert gjennom og ut av vassdraget i løpet av kort tid.

STOFFTRANSPORT

Generelt

Innsamling og bearbeidelse av data fra et vassdrag bør planlegges og gjennomføres med bestemte mål for øye. Beskrivelse av vannkvalitet krever ett opplegg, transportberegninger et annet, mens etablering av prognosemodeller for vannkvalitet og transport kanskje krever en tredje

type undersøkelsesprogram.

En slik innretning mot avgrensede mål var bare delvis gjort i den første tiden datainnsamlingen i Hølenvassdraget foregikk. Etter hvert ble imidlertid prøvetakingsprogrammet mer målrettet, slik at man i 1978 primært tok sikte på å gi et pålitelig bilde av transport av næringsstoffer og organisk materiale i vassdraget.

Ideelt sett krever måling av stofftransport at konsentrasjon og vannføring registreres kontinuerlig. En kontinuerlig overvåking av konsentrasjonene er ikke praktisk mulig. Det er derfor nødvendig å velge tilnæringsmetoder for å finne stofftransporten i et gitt tidsrom. I det følgende er det vist hvordan observasjonene fra Hølenvassdraget ble bearbeidet for å få mest mulig korrekt informasjon om stofftransporten.

Metodikk

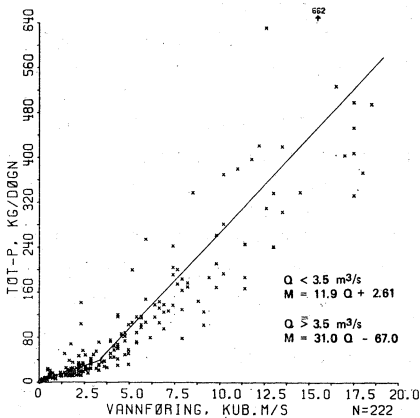
Det ble tidlig klart at stofftransporten i Hølenvassdraget i stor grad foregår under relativt korte perioder — «episoder» — med særlig høy vannføring (NIVA 1977). Med dette som utgangspunkt ble det satt i drift en limnigraf ved målestasjonen. Ved å overvåke vannføringen kontinuerlig var det mulig å ta prøver nettopp under de episoder som hadde størst betydning. I løpet av perioden 1977—78 ble det samlet inn tilsammen 222 prøver fra denne stasjonen, fordelt med omtrent samme antall på hvert av årene.

Ved bearbeidelse av data for beregning av stofftransport, ble materialet fra 1977 og 1978 først behandlet hver for seg. De forskjellige regresjonsligninger for de to årene viste seg imidlertid å være så like, at alle formler for stofftransport er utviklet på grunnlag av det samlede datamateriale fra begge år.

Innledningsvis ble det undersøkt om det fantes en enkel relasjon mellom konsentrasjonen av en bestemt parameter og vannføringen. For totalfosfor, kalium og totalt organisk karbon viser korrelasjonskoeffisientene at det er en signifikant lineær sammenheng mellom konsentrasjon og vannføring. Konsentrasjonen av totalt organisk karbon og totalfosfor øker ved høy og stigende vannføring. Kurven for kalium viser et typisk fortynningsmønster, der konsentrasjonen avtar med vannføringen. Totalnitrogen viser ingen signifikant lineær samvariasjon med vannføringen.

Mens vannføringen i Hølenvassdraget varierte med en faktor på nærmere 1000 (0,02—18,5 m³/s) i de tilfeller hvor det ble tatt prøver, varierte konsentrasjonene av de aktuelle stoffer med en faktor på bare 5—10. Det er derfor rimelig å vente at det er en klar lineær sammenheng mellom momentane transportverdier og vannføring.

STOFFTRANSPORT HØLENELVA DØGNTRANSPORT AV TOTALFOSFOR



Figur 3.

Figur 3 viser transport av totalfosfor som funksjon av vannføringen. Det fremgår allerede av figuren at det er mulig å legge en rett linje som representerer verdiene relativt godt. For å gjøre beskrivelsen noe mer nyansert er det valgt å dele materialet i to, og beregne én funksjon for lave vannføringer og en annen for høye. Dette hindrer urimelige verdier ved særlig lave vannføringer.

Beregning av de lineære uttrykkene er gjort med vanlig regresjonsanalyse. Det betydelige antall observasjoner og de meget høye korrelasjonskoeffisienter som er oppnådd, tyder på at det er relativt stor sannsynlighet for at regresjonsligningene vil gi pålitelige transportverdier i perioder hvor bare vannføringen er registrert.

Det er i stor utstrekning benyttet EDB til sammenstilling, behandling og presentasjon av data.

Transportberegninger

Med utgangspunkt i den lineære sammenhengen mellom vannføring og stofftransport er daglige, månedlige og årlige transportverdier for 1977 og 1978 beregnet. Regresjonsligningene for totalfosfor fremgår av figur 3.

Transportberegningene er utført etter følgende retningslinjer:

- Det beregnes daglig transport som summeres til månedlige og årlige verdier.
- Det må foreligge minst én vannføringsverdi for alle årets dager. For de dager hvor det finnes konsentrasjonsdata beregnes transport som produkt av konsentrasjon og vannføring.
- Hvis konsentrasjonen er bestemt én gang i døgnet benyttes denne verdien for beregning av døgntransport. Når

det foreligger flere konsentrasjonsdata i et døgn, inndeles dette tilsvarende, og døgntransporten fremkommer ved summering av de beregnede «deltransporter».

- For dager uten konsentrasjonsdata beregnes transporten ved hjelp av regresjonsligningene.

EDB-programmet TRANSPORT leser konsentrasjons- og vannføringsdata fra filer på NIVAs NORD-10 maskin. Koeffisienter, kostantledd og grenser for de forskjellige ligningers gyldighetsområde angis under kjøring av programmet. Maskinen utfører alle beregninger og skriver ut daglige transportverdier, månedssum og totalsum for året.

Tabell 4.

Månedlig transport av totalfosfor, totalnitrogen, kalium og totalt organisk karbon i Hølenvassdraget i 1977 og 1978.

Mnd	Fosfor (P) tonn		Nitrogen (N) tonn		Kalium (K) tonn		Karbon (C) tonn	
	1977	1978	1977	1978	1977	1978	1977	1978
Jan	0,4	0,3	13	10	8	6	23	16
Feb	0,1	0,3	2	9	1	5	3	12
Mar	2,2	1,8	58	56	32	30	109	92
Apr	3,7	3,4	77	67	41	46	159	150
Mai	0,9	0,3	25	10	14	6	51	17
Jun	0,1	0,1	3	2	2	1	5	3
Jul	0,1	0,5	1	11	1	6	2	22
Aug	0,1	0,2	1	4	1	3	1	6
Sep	0,1	0,3	2	10	1	6	2	17
Okt	0,2	0,6	6	14	4	9	10	27
Nov	1,2	0,3	44	6	21	4	84	10
Des	0,8	0,1	24	2	12	1	39	3
Året	9,9	8,2	256	201	138	123	488	375

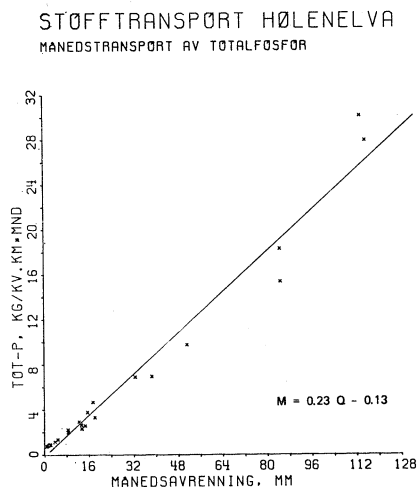
Tabell 4 gir en samlet oversikt over månedstransport av totalfosfor, totalnitrogen, kalium og totalt organisk karbon i

hvert av årene. Omkring 2/3 av årstransporten foregikk under vårflommene (mars—mai). I 1977 falt rundt 25% av

transporten på månedene oktober—desember mot bare ca. 10% i 1978, da avrenningen om høsten var uvanlig liten.

Transport-avrenningskurver

I figur 4 er månedlig fosfortransport, uttrykt som kg pr. km², avsatt mot månedsavrenningen i mm. Det ses av figuren at verdiene med små avvik ligger samlet om en rett linje. Det er en viss mulighet for at beregningsmåten for døgntransport medvirker til en slik rettilinjet sammenheng. Antallet reelle målinger som beregningene bygger på er imidlertid så stort at denne usikkerheten har liten praktisk betydning. Tilsvarende diagrammer er blitt brukt til å illustrere stofftransporten i den svenske elva Fyrisån (Ahl 1979).



Figur 4.

En rekke faktorer innvirker på sammenhengen mellom stofftransport og avrenning, f.eks. klima, topografi, arealfordeling, bosettingsmønster og aktiviteter i ned-

børfeltet. Figur 4 representerer situasjonen i Hølenvassdraget som den var i 1977—78. Endring av forholdene, f.eks. ved gjennomføring av forurensningsbegrensende tiltak eller etablering av nye utslipp, vil sannsynligvis gi kurven en annen helning (vinkelkoeffisient).

Transport-avrenningskurvene for et vassdrag kan derfor antagelig benyttes som en overvåkingsparameter. Det kreves imidlertid et relativt stort datamateriale til å fastlegge forløpet av kurvene. For å kunne utnytte den informasjon som kurvene gir, er det nødvendig med kvantitative opplysninger om forurensningsproduksjon i nedbørfeltet og tilførsler til vassdraget.

AVSLUTNING

Sammenligning mellom tilførsler og transport

I tabell 5 er teoretisk beregnede tilførsler av fosfor og nitrogen til Hølenvassdraget i 1977 og 1978 (tabell 3) sammenstilt med beregnet årstransport (tabell 4). Verdiene er angitt i tonn og kg/km². Tatt i betraktning de mange usikre faktorer som foreligger, spesielt ved beregning av tilførslene, må overensstemmelsen mellom tilførsels- og transportverdier sies å være meget god.

Tilførslene fra landområder vil veksle betydelig fra år til annet, beroende på klimatiske forskjeller. Tilførselsberegninger basert på bruk av arealkoeffisienter kan derfor bare gi tilnærmet riktige resultater, idet koeffisientene gjelder for et «normalt» år med «normale» temperatur- og nedbørforhold.

Avvikende årsavrenning kan trekkes inn i beregningene ved å benytte en enkel korreksjonsfaktor, som i denne artikkelen. Mesteparten av tilførslene skjer imidlertid

Tabell 5. Sammenligning mellom beregnede tilførsler og transport av fosfor og nitrogen i Hølenvassdraget i 1977 og 1978

År	Avrenning mm	Fosfor (P)				Nitrogen (N)			
		Tilførsler		Transport		Tilførsler		Transport	
		tonn	kg/km ²	tonn	kg/km ²	tonn	kg/km ²	tonn	kg/km ²
1977	357	10,3	85	9,9	82	250	2060	256	2110
1978	305	9,7	80	8,2	68	219	1810	201	1660

i snesmeltingsperioder eller under episoder med stor nedbørmengde og -intensitet. Dette gir kraftig erosjon og fører til flom og økende transport av partikulært materiale i vassdraget. Slike situasjonsbestemte tilførsler vil ikke bli fanget opp ved anvendelse av avrenningskorrigerede arealkoeffisienter på årsbasis.

Det er derimot grunn til å tro at man ved denne beregningsmåten undervurderer tilførslene i år hvor vanntransporten er preget av flom. Omvendt vil tilførslene bli overvurdert dersom de typiske flomsituasjonene uteblir. Det siste var tilfelle i Hølenvassdraget høsten 1978 og forklarer sannsynligvis hvorfor beregnede tilførsler ligger en del høyere enn målt stofftransport dette år.

De største konsentrasjonene av totalfosfor og totalt organisk karbon i vassdraget forekommer ved høy og stigende vannføring (NIVA 1977). Ved transportberegningene er det ikke tatt hensyn til slike forhold, men benyttet felles regresjonsligninger (figur 3) for stigende og avtagende vannføring. Det antas likevel at dette gir langt sikrere transportverdier på måneds- og årsbasis enn mer konvensjonelle metoder.

Videre arbeid

Som tidligere nevnt beror den foreureningsmessige virkning av tilførslene bl.a. på stoffenes tilstandsform. Ved de kjemiske analysene er det derfor siden 1979 skilt mellom oppløste og partikulære fraksjoner av fosfor, nitrogen og organisk materiale. En rapport om undersøkelsene dette år er under utarbeidelse.

Fra 1980 er NIVAs forskningsrettede undersøkelser i Hølenvassdraget kombinert med et opplegg for overvåking av vassdraget. Hovedformålet med overvåkingen er å registrere virkninger av de foreureningsbegrensende tiltak på kommunalsektoren som planlegges gjennomført i 1981.

Under den forskningsmessige del av prosjektet vil det bli forsøkt å gi en kvantitativ beskrivelse av konsentrasjonsforholdene i vassdraget som funksjon av vannføringen. Det er videre ønskelig å forbedre grunnlaget for beregning av foreureningsstilførsler, først og fremst gjennom mer detaljert informasjon om de enkelte kilder og transportveier i nedbørfeltet.

LITTERATUR

- Abl, T.*, 1979: Vattenkvalitetsparametrars variationsmönster — exempel från det svenska basdatanätet. NORDFORSK, Miljövärdsssekreteriet. Publikation 1979: 2, pp. 217—228.
- Brink, N. & Gustafson, A.*, 1970: Kväve och fosfor från skog, åker och bebyggelse. Lantbrukshögskolan, Institutionen för markvetenskap. Vattenvård no. 1, 11 pp.
- Lindholm, O.*, 1977: Forurensninger i overvann. PRA brukerrapport 7, 27 pp.
- Lundekvam, H.*, 1976: Den kjemiske kvalitet av avløpsvann fra landbruksområder med vekt på å belyse de regionale forskjeller. Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd. Sluttrapport nr. 235, pp. 63—84.
- Lundekvam, H.*, 1977: Kjemisk kvalitet i avrenningsvatn frå jordbruksområde i Norge. NORDFORSK, Miljøvärdsssekreteriatet. Publikasjon 1977: 2, pp. 207—220.
- Lundekvam, H.*, 1979: Prosjekt Husdyrgjødsel og avlaup frå driftsbygningar (førebels rapport). Norges landbrukshøgskole, Institutt for hydroteknikk. Stensiltrykk nr. 8/79, 63 pp.
- Mikkelsen, K., Ekern, A., Borgan, S. & Rognerud, B.*, 1974: Landsplan for bruken av vannressursene. Arbeidsrapport nr. 6. Norsk jordbruk og vannressursene. Del I. Vannforurensninger fra jordbruket, regional fordeling og utvikling. Miljøvern-departementet, b + 82 pp.
- Norsk institutt for vannforskning*, 1968: Resipientundersøkelser i Søndre Follo. Hølenelv-, Hobølelv- og Årungenelvvassdragene. O-107/64, 56 pp.
- Norsk institutt for vannforskning*, 1977: Vannkvalitet og stofftransport i et forurenset vassdrag. Undersøkelser i Hølenvassdraget juni 1974—juni 1977. XK-14, A2—32, 128 pp.
- Norsk institutt for vannforskning*, 1978: Tilførsler av organisk stoff, nitrogen og fosfor fra nedbør, skog, snaufjell og jordbruk. A2-32, 51 pp.
- Norsk institutt for vannforskning*, 1980: Hølenvassdraget. Forurensningstilførsler og stofftransport 1977—1978. A2-32, D1—03, 60 pp.