

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET

Nils Brink

FÖRSURNING AV GRUNDVATTEN PÅ ÅKER

Rikard Jernlås och Per Klingspor

TCA-UTLAKNING FRÅN ÅKER

Arne Joelsson

YTAVSPOLNING AV FOSFOR FRÅN ÅKERMARK

Arne Gustafson, Sven-Olof Ryding och Barbro Ulén

KONTROLL AV VÄXTNÄRINGSLÄCKAGE FRÅN ÅKER OCH SKOG

Ekohydrologi 8

Uppsala 1981

Avdelningen för vattenvård
Swedish University of Agricultural Sciences
Division of Water Management

ISBN 91-576-0783-4

ISSN 0347-9307

FÖRORD

I detta nummer av Ekohydrologi behandlas försurning av grundvatten, läckage av bekämpningsmedlet TCA, erosion av fosfor och kontroll av växtnäringsläckage.

Försurningsfrågan behandlas utifrån mätserier från ett stationsnät som täcker hela landet. Undersökningarna började 1973. De bekostas av Statens naturvårdsverk (SNV) och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Stationsnätet ingår numera i Programmet för övervakning av miljökvalitet (PMK) inom SNV.

TCA-utlakningen har studerats i ett särskilt upplagt rutförsök på sandjord. SLU står för kostnaderna. Skriften har också publicerats annorstädes.

Transporten av fosfor med ytligt avrinnande vatten från åker har mätts vid två av de ovan nämnda försöksstationerna som drivs av SNV och SLU gemensamt.

Frågan om kontroll av växtnäringsläckage från åker och skog har initierats av SNV. I föreliggande skrift presenteras en förstudie till ett samlat program för en sådan kontroll. Studien har utförts gemensamt av forskare vid SLU och SNV.

1981-02-01

INNEHÅLL

Brink, N. 1981. Försurning av grundvatten på åker. <i>Ekohydrologi nr 8</i> , 3-13.	3
Jernlås, R. & Klingspor, P. 1981. TCA-utlakning från åker. <i>Ogräs och ogräsbekämpning</i> . 22:a svenska ogräskonf. Uppsala 1981, G1-G8. (Äv. engelsk version.) <i>Ekohydrologi nr 8</i> , 15-22.	15
Joelsson, A. 1981. Ytavspolning av fosfor från åkermark. <i>Ekohydrologi nr 8</i> , 23-29.	23
Gustafson, A., Ryding, S.O. & Ulén, B. 1981. Kontroll av växtnäringsläckage från åker och skog. <i>Ekohydrologi nr 8</i> , 31-43.	31

FÖRSURNING AV GRUNDEVATTEN PÅ ÅKER

Acidification of Groundwater on Arable Land

Nils Brink

Abstract. A network of stations for measurement of leakage of plant nutrient from arable land has been built up, starting in 1972. Collected data are here used for a discussion of the acidification problem.

At first the pH rose in both drainage water and groundwater. A maximum of about pH 8 was reached during the agro-hydrological years 1975/76 and 1976/77. A steep decline in pH, of two units or more, occurred throughout the country in the spring or summer 1977. The pH then rose or fluctuated round a constant lower level.

The cause of the rise in pH of the groundwater is that hydrogen ions suppressed base cations from the soil material to the soil moisture. The steep fall in pH is connected with the year of drought in 75/76 when mineralisation products accumulated in the soil and excess water ran off in the following wet year. Thus the weather was adjudged the prime reason for the fall in pH. Acid precipitation was evidently of minor significance.

Other local factors which may have contributed are hydrology, soil type, vegetation cover and fertilization. The hydrology interferes in several ways. The significance of the soil type is unclear, save as regards sandy soils where the groundwater is very sensitive to acidification. The vegetation cover rarely gave distinct impulses. Acidifying fertilizers seem to have contributed to major declines of pH while calcifying substances counteracted them.

The relationships between pH, conductivity and nitrate are discussed.

INLEDNING

Avdelningen för vattenvård vid Sveriges lantbruksuniversitet började 1972 bygga ut ett stationsnät för mätning av växtnäringsläckage från åker. Stationsnätet omfattar nu sexton försöksfält. Fälten och metoder har utförligt beskrivits av Brink, Gustafson & Persson (1978, 1979). Stationernas namn och geografiska läge framgår av fig. 1.

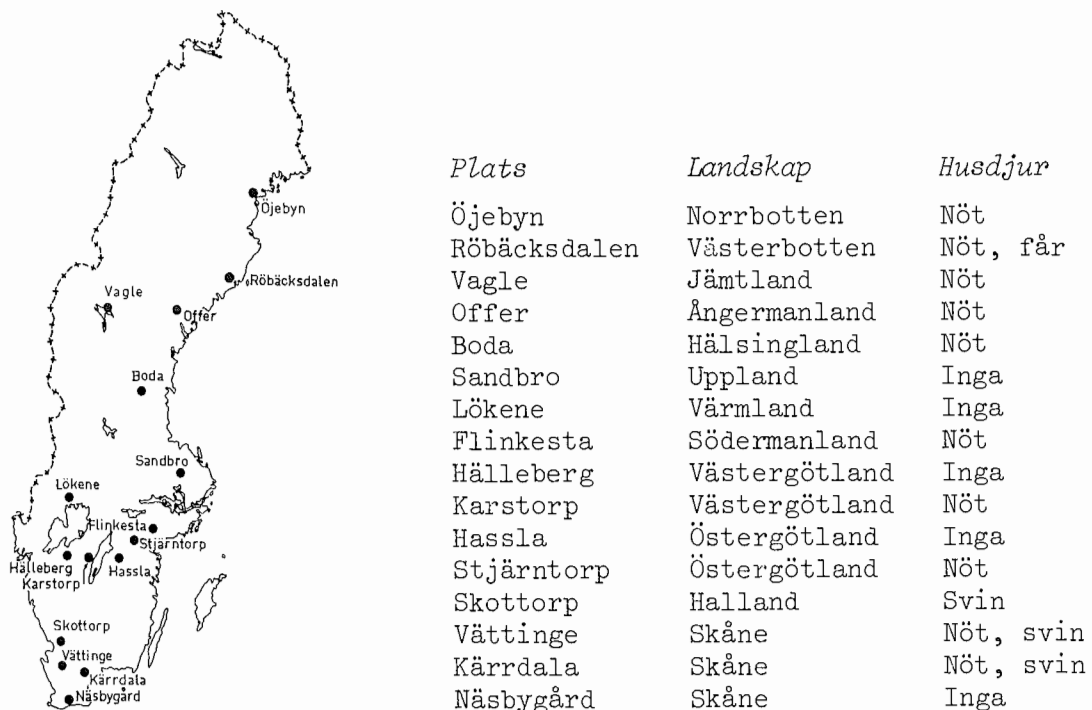


Fig. 1. Karta med försöksfälten jämte gårdarnas namn, lägen och drifts-
inriktningar. Map of the experiment fields and names, locations and
animal husbandry of the farms. Nöt cattle, Svin pigs, Inga No.

Ytligt avrinnande vatten, dräneringsvatten och grundvatten har analyserats på pH, konduktivitet, nitrit, nitrat, ammonium, totalkväve, fosfatfosfor, totalfosfor och kalium. Från 1 juli 1980 mäts även natrium, kalcium, klorid, sulfat och alkalinitet.

Här skall det hittills insamlade datamaterialet nyttjas för en diskussion om försurningsproblemet.

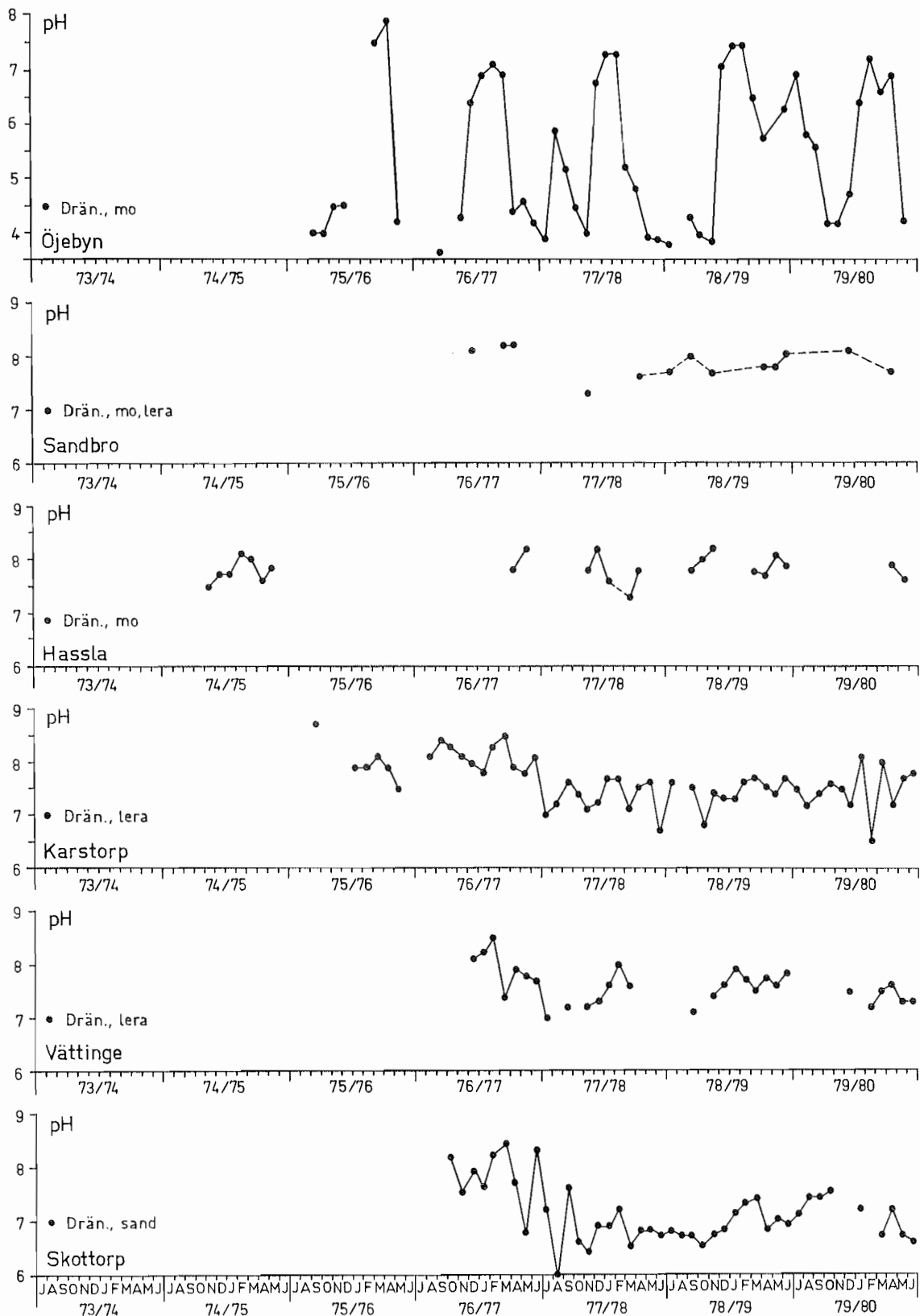


Fig. 2. pH i dräneringsvatten från olika försöksfält. *pH in drainage water from different experimental fields.*

RESULTAT

pH i dräneringsvatten och grundvatten

På grund av alla de faktorer som har betydelse för pH i mark och vattnen varierade värdena som väntat mycket inom och mellan försöksfälten.

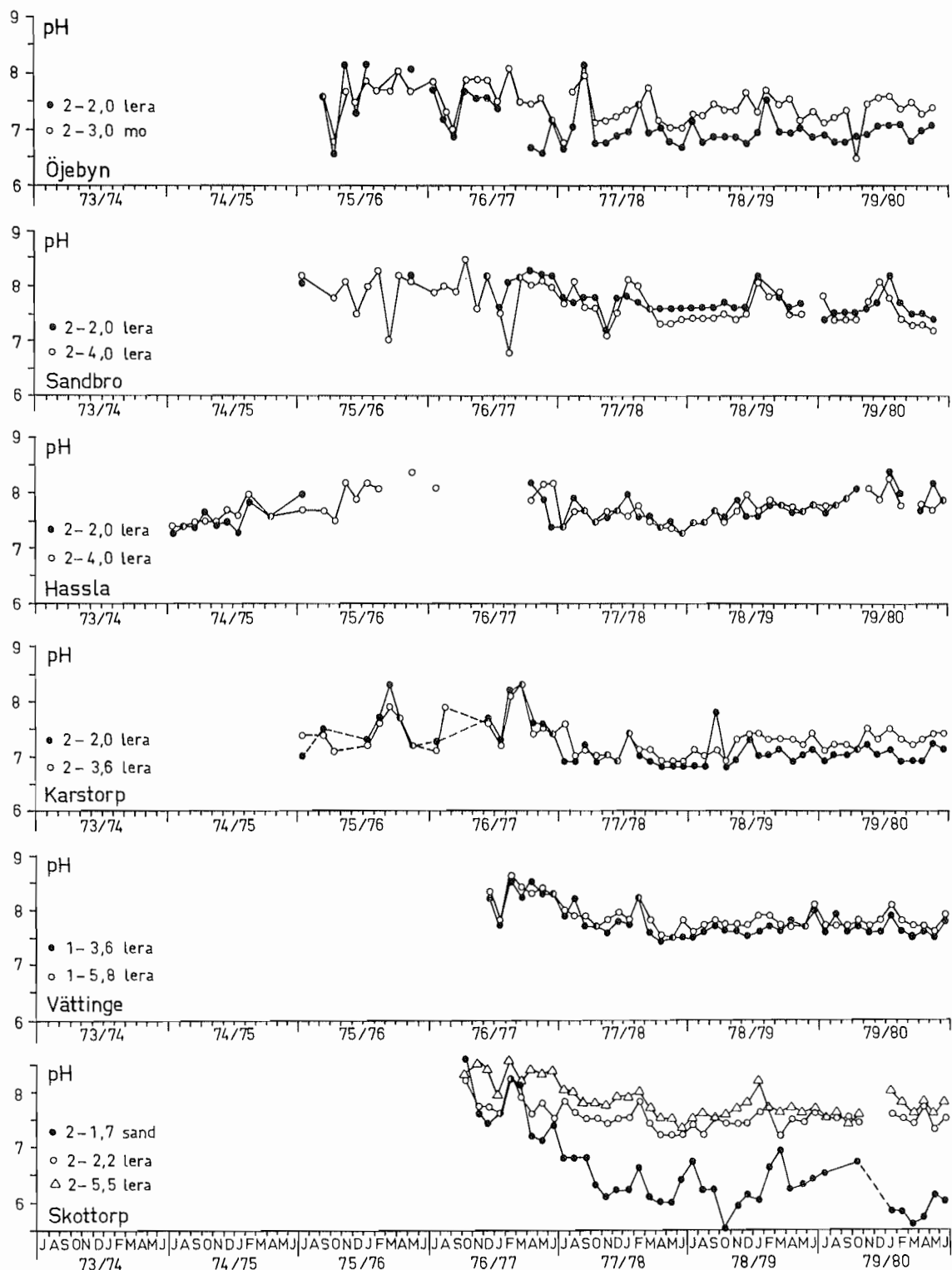


Fig. 3. pH i grundvatten från olika försöksfält. *pH in groundwater from different experimental fields. 2-2.0 etc. means site no. 2, depth 2.0 m.*

Ett gemensamt drag föreligger emellertid, nämligen det att pH från början ökade och nådde maximum under de agrohydrologiska åren 75/76 och 76/77. Detta maximum låg vanligen vid pH 8 (fig. 2-7). På våren eller sommaren 1977 började plötsligt ett pH-fall som kunde uppgå till 2 enheter och mera. Så småningom har värdena åter begynt stiga eller fluktuerat kring en konstant lägre nivå.

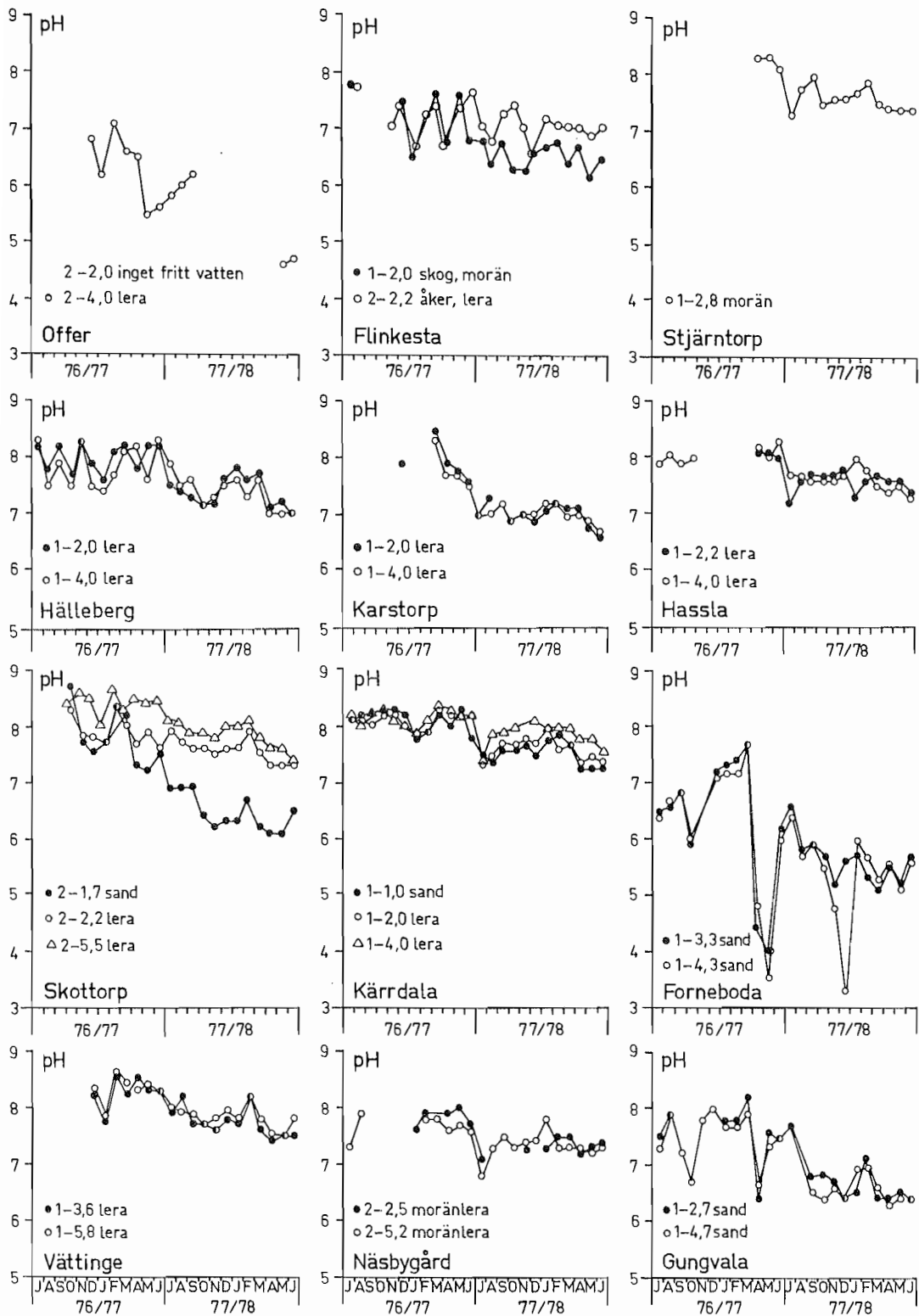


Fig. 4. pH under den kritiska perioden från juli 1976 till juni 1978. pH during the critical period from July 1976 to June 1978.

Samma fenomen har iakttagits vid ungefär samma tidpunkt av Brink, Jansson & Steineck (1980). I ett fall (fig. 4, Forneboda) sjönk pH i grundvattnet från 7,8 till 3,2 på två månader. Här gällde det en sandjord i Blekinge.

Det här beskrivna förloppet är inte alltid så väl uttalat vad det gäller dräneringsvatten. Öjebyn är ett exempel härpå (fig. 2). Där fluktuerade värdena regelbundet mellan 4 och 8 beroende på stark influens från omgivande skog och åsar. Försöksplatsen är ett typiskt utströmningsområde. I grundvattnet framgår förloppet desto klarare. Där dämpas ju svängningarna och där blir det mera sällan avbrott i tillrinningen.

Också i skogsmark var förloppet detsamma. Det framgår av fig. 4 (Flinkesta). Provpåsar 1-2,0 på Flinkesta ligger nämligen i höglänt skog som inte kan nås av vatten från annat håll.

Orsaksanalys

Orsaken till det ovan beskrivna händelseförloppet måste vara en allt överskuggande faktor som lokalt kan ha förstärkts eller försvagats av andra. En sådan överskuggande faktor är den sura nederbörden, en annan väderleken. Lokala faktorer kan vara hydrologi, jordart, växttäckning och gödsling.

Väderleken. Uppgången av pH i början av 70-talet måste bero på att vätejoner förträngt baskatjoner från jordmaterialet till markvätskan. Kulmen nåddes under det torra agrohydrologiska året 75/76 då ingen eller en obetydlig utlakning ägde rum. Härunder anhopades givetvis mineraliseringsprodukter i jorden. Extra mycket av rörliga ämnen bör därför ha utlakats det påföljande våta året. Och till sådana ämnen hör klorid, nitrat och sulfat som kan ha slagit följe med vätejoner och bildat starka syror.

Den sura nederbörden kan å andra sidan knappast ha bidragit i någon större utsträckning till pH-fallet, dels på grund av liten nederbörd året innan, dels på den stora geografiska olikheten i depositionen av överskottssyra (Johansson & Karlgren 1974). Några principiella förändringar härutinnan har inte inträffat under 1970-talet (Granat 1980). Dessa olikheter borde i så fall ha gett utslag både i nord-sydlig och öst-västlig riktning. Några enhetliga tecken härpå finns inte i föreliggande material.

Hydrologien. Försöksfälten i Öjebyn, Stjärntorp och Kärrdala är typiska utströmningsområden med influens utifrån. Detta har uppenbarligen resulterat i relativt måttliga pH-förändringar på längre sikt, också om fluktuationerna kan vara häftiga som i dräneringsvattnet i Öjebyn.

Men de hydrologiska förhållandena griper in också på annat vis. Sålunda är försöksfältet på Offer av naturen så väl dränerat att jorden kan genomluftas till stora djup och pH-sänkande oxidationer komma till stånd. Det är troligen vad som inträffat under de aktuella åren från 75/76 till 77/78 (fig. 4). Det kan tilläggas att värdena då mätningarna 78/79 upphörde fortfarande var låga (pH=4,1-5,7).

Samma förklaring på pH-sänkningen efter torråret 75/76 skulle kunna gälla generellt. Mot en sådan förklaring talar emellertid det faktum att grundvattenytan på de flesta lokalerna med säkerhet stod högt över den nivå där vattenproven togs (fig. 6 och 7).

I tidigare skrifter (Brink *et al.* 1978, Brink, Jansson & Steineck 1980) har det hydrodynamiska trycket antagits kunna påverka pH-situationen genom skjuvning av lättrorliga joner från lerpartiklarnas yttre jonsvärm. Trycket är ju en faktor som fortplantar sig momentant genom jorden. Och en sådan snabbt verkande faktor bör det vara fråga om eftersom pH-förändringarna inträffade samtidigt på alla djupen. Sambandet mellan väderleken och det hydrodynamiska trycket är ju givet.

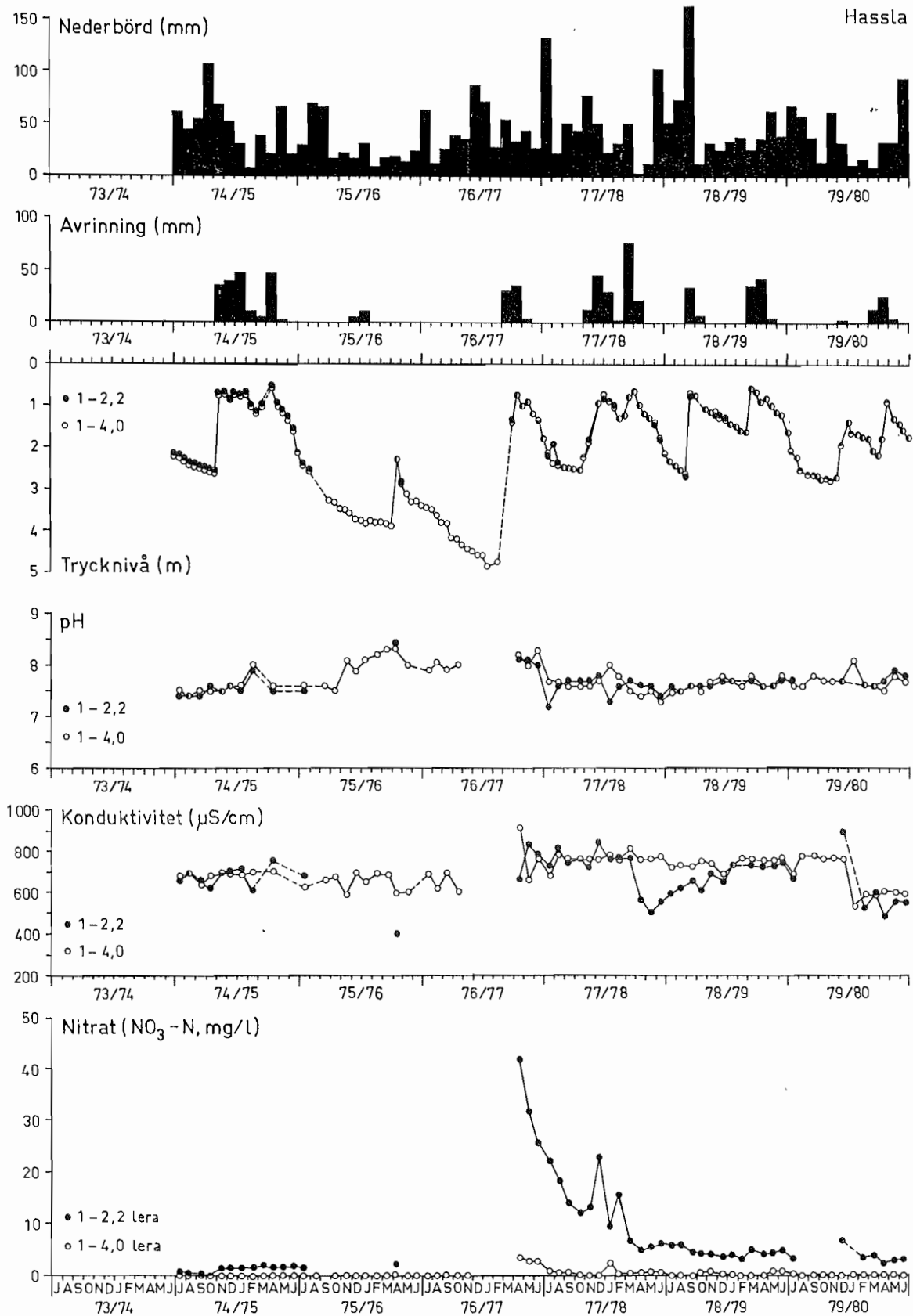


Fig. 5. Nederbörd, avrinning och grundvattentryck jämte pH, konduktivitet och nitrat i grundvattnet vid Hassla. *Precipitation, run-off and groundwater pressure and pH, conductivity and nitrate in the groundwater at Hassla.*

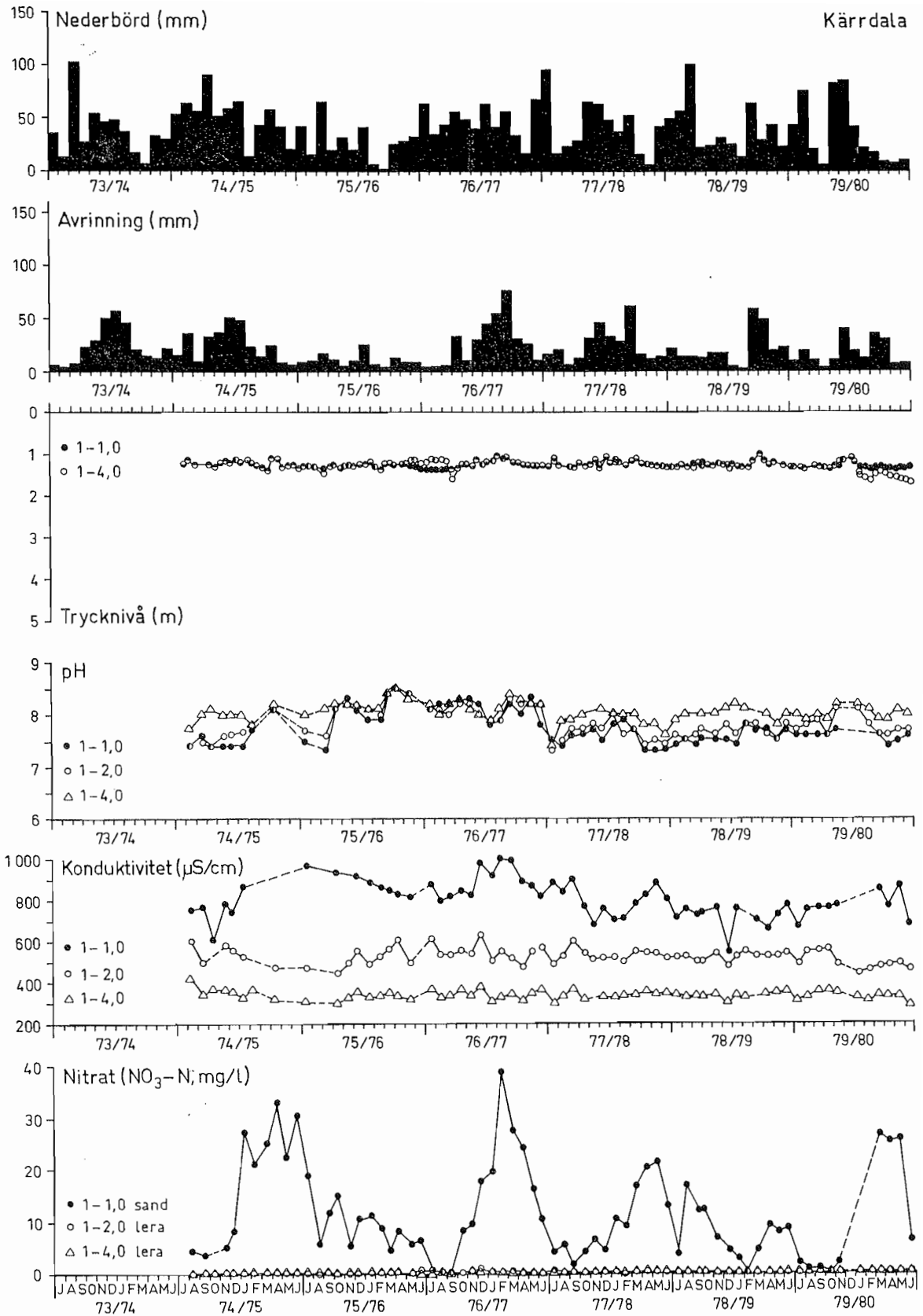


Fig. 6. Nederbörd, avrinning och grundvattentryck jämte pH, konduktivitet och nitrat i grundvattnet vid Kärredala. *Precipitation, run-off and groundwater pressure and pH, conductivity and nitrate in the groundwater at Kärredala.*

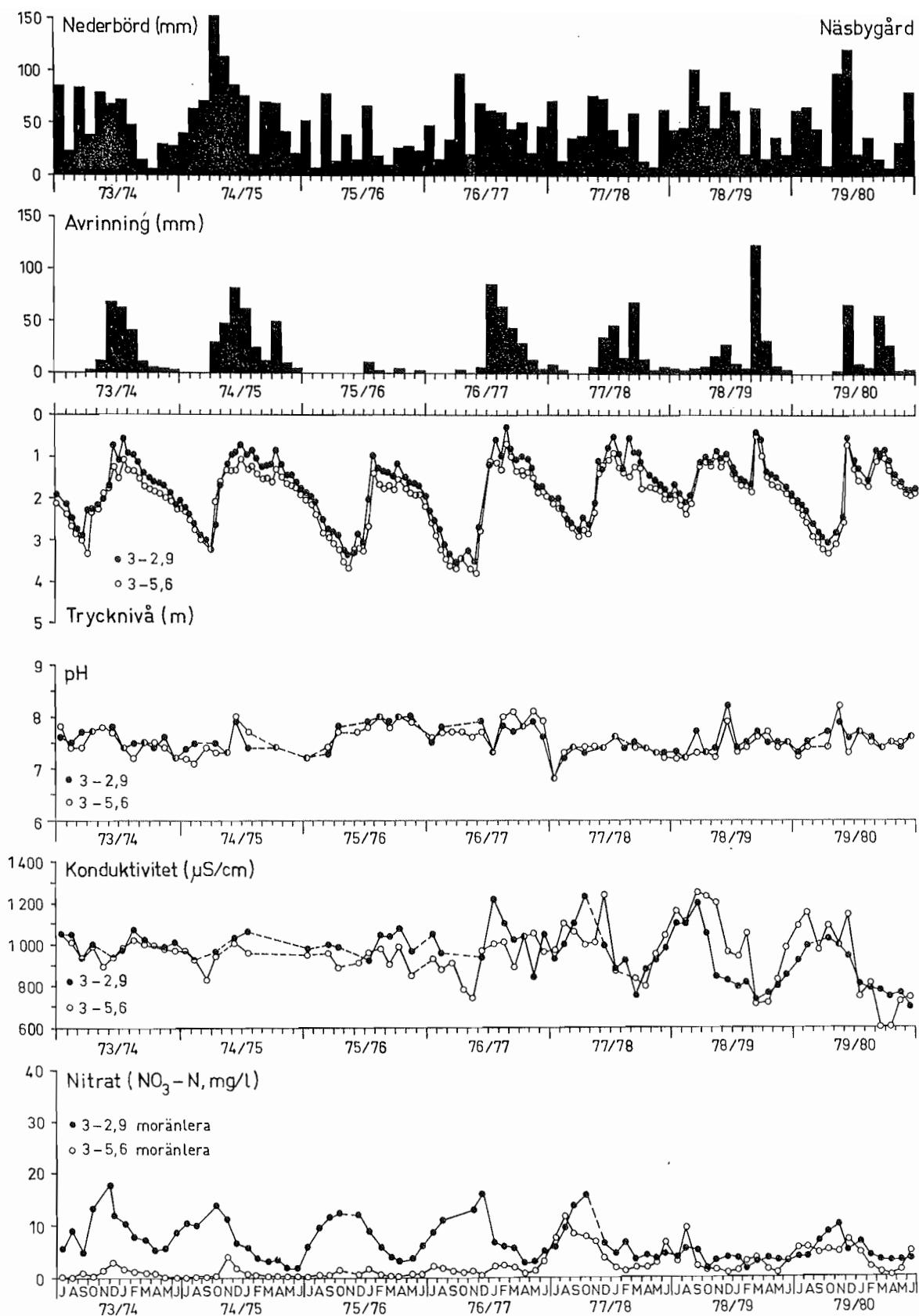


Fig. 7. Nederbörd, avrinning och grundvattentryck jämte pH, konduktivitet och nitrat i grundvattnet vid Näsbygård. *Precipitation, run-off and groundwater pressure and pH, conductivity and nitrate in the groundwater at Näsbygård.*

Jordarten. Mest känslig för försurning är grundvattnet på sandjord. Detta belyses bäst med tidsserien för Skottorp där pH-fallet var mycket större i sanden än i underliggande lera. På jordar med mäktiga sandlager (Forneboda och Gungvala) kom pH-fallet snabbt och kraftigt även på större djup. (Fig. 2-4.)

Kärrdala avvek från detta mönster. Anledningen är att det försöksfältet till skillnad från de andra är ett utströmningsområde med inflytande från den några kilometer bort liggande Nävlingeåsen. (Fig. 6.)

Också på rena lerjordar med lera ända från ytan kunde pH falla hela 2 enheter (Karstorp). Eljest stannade pH-fallet på sådana jordar (Flinkesta, Vättinge) och på moränleror (Näsbygård) vid 1-1,5 enheter. (Fig. 4.)

Detsamma gäller jordar med mo överlagrad leran (Sandbro, Hälleberg, Hassla). Öjebyn och Offer hör också till detta slags jordar men skiljer sig markant med en nedgång av nästan 2,5 pH-enheter. Här liksom på Kärrdala och även på Stjärntorp har de hydrologiska förutsättningarna spelat en avgörande roll. (Fig. 2-4.)

Sammanfattningsvis kan sägas att grundvattnet i sandjord är utpräglat känsligt för försurning. För andra jordtyper är bilden oklar på grund av att andra faktorer griper in på olika sätt.

Växttäcket. Om produktionen av växter och annan organisk substans överstiger nedbrytningen härav får man en vad Odén (1976) kallar biologisk försurning. Sådan försurning är regel både i naturliga och av människan påverkade system.

I föreliggande undersökning har växtföljderna varit högst varierande, från ren stråsådesodling till mycket komplexa med t.ex. inslag av stråsäd, vall, höstrybs och ärter. Inga invändningsfria jämförelser kan göras eftersom andra faktorer varierar samtidigt. Något kan emellertid sägas.

Sålunda blev påfrestningarna på grundvattnet inte alls så stora i Gungvala med långliggande betesvall som i Forneboda med korn (fig. 4). Båda fälten ligger i Karlshamnstrakten på djup sandjord. Utvecklingen i Gungvala var för övrigt nästan lika som i barrskog på morän vid Flinkesta i Södermanland (fig. 4). Det sistnämnda visar att skogsmark inte behöver vara olik odlad mark. I allmänhet låg naturligt nog pH-värdena i grundvattnet på åker högre än i skogen.

Slutsatsen blir att växttäckets mera sällan givit tydliga utslag i de pH-förändringar som ägt rum.

Gödslingen. Samtidigt som användningen av gödselmedel ökat markant de senaste 30 åren i Sverige har bruket härav ändrats från sådana med kalkverkan till sådana med försurande verkan. Tidigare övervägde bruket av kalksalpeter, chilesalpeter, kalkkväve och thomasfosfat, alla med kalkverkan. Numera överväger ammoniumgödselmedel som vid oxidation i marken ger fria vätejoner. (Bernhoff 1979.)

För utvecklingen på våra försöksfält efter genombrottet 1977 har gödselmedlen spelat en viss roll. Två exempel är Hassla och Skottorp för vilka man med säkerhet kan avgöra om kalkverkande eller försurande gödselmedel övervägt. Totalmängderna och total syra- eller basverkan (Ståhlberg 1981) under angiven tidsperiod framgår av tabell 1. Alla där förekommande gödselslag utom kalksalpeter verkar försurande, NP, NPK genom att de innehåller ammoniumnitrat och PK genom sitt innehåll av superfosfat.

Av det sagda framgår sålunda att nästan bara försurande gödselmedel använts på Skottorp. Det kan ha bidragit till den stora pH-sänkningen där. I Hassla däremot har under lång tid använts övervägande kalkverkande gödselmedel. Där blev ju inte heller utslaget 1977 så stort och återhämtningen har gått ganska raskt.

Tabell 1. Art och mängd av och syra-basverkan hos gödselmedlen på två försök. *Type and quantity of fertilizer on two farms with chiefly calcifying or acidifying fertilizer.*

Försök	År	Gödselslag	Mängd (kg/ha)	Syra-basverkan (CaO kg/ha)
Hassla	73-79	Kalksalpeter 15,5%	5 700	460
	73-77	PK 8-10	1 900	-300
	79	NPK 20-5-9	200	- 56
Skottorp	76-78	NPK 11-5-18	1 100	-230
		NPK 20-5-9	500	-140
		NPK 16-5-12	800	-200
		NP 26-6	450	-140
	78	PK 5-16	600	- 60
	79	Kalksalpeter 15,5%	650	50

Relationer till andra ämnen

På grund av att viktiga joner inte bestämts är det inte möjligt att göra en fyllig analys. Likväl skall diskuteras pH:s anknytning till andra faktorer. Valet faller naturligt på konduktiviteten och nitraten som är den dominerande kvävefraktionen. Tre långa observationsserier skall behandlas, nämligen de från Hassla, Kärrdala och Näsbygård.

Konduktiviteten. Samtidigt med pH-raset 1977 förändrades också konduktiviteten. I Hassla ökade den och låg därefter på en nära konstant nivå under kortare eller längre tid beroende på djupet (fig. 6). Ökningen kan förklaras med att vittringsprodukter från det torra året innan nu flödade ut och gjorde sällskap med bl.a. tillskottet av vätejoner. Svackan i det grundare röret i slutet av 77/78 innebär en tillfälligt minskande tillgång på vittringsprodukter. Möjligen är det samma vågdal som två år senare nådde djupet 4 m samtidigt som en ny begynnande brist gav sig tillkänna på 2 m djup.

Sandjorden i Kärrdala reagerar känsligt. Mellan pH och konduktivitet på 1 m djup rådde en rätt god samstämmighet genom att de motvarierade ganska väl. Det är sålunda i sak samma relationer som i leran på Hassla, men här med en skönjbar periodicitet. Periodlängden är i runt tal ett år. I de djupare rören var svängningarna naturligt nog starkt dämpade och inte regelbundet i fas med svängningarna på djupet 1 m. Detta är väl i och för sig naturligt eftersom det är fråga om två vitt skilda akviferer.

På Näsbygård är periodiciteten väl synlig särskilt i slutet. Först låg konduktiviteten i fas med grundvattentrycket men försköts i samband med pH-fallet 1977 så att tryck och konduktivitet motvarierade. Några entydiga samband med pH finns inte. Tydligt är det här fråga om ett ganska väl buffrat system.

Nitraten. Kvävet är på olika sätt involverat i försurningsprocessen (cf. Odén 1976). Få entydiga sammanhang står emellertid att finna i föreliggande material (fig. 5-7). Detta har säkerligen med markens buffrande förmåga att göra. Vad man kan finna är att grundvattenförhållandena som beror direkt av nederbörden har ett starkt inflytande. I Hassla yttrade det sig i kraftigt förhöjda nitratvärden efter torråret 75/76, på Kärrdala som en tydlig periodicitet i samklang med konduktiviteten och motvariation till pH och på Näsbygård likaså som en periodicitet först mot och sedan med konduktiviteten.

Det är egentligen bara på sandjorden i Kärrdala (djupet 1 m) som sambanden mellan pH och nitrat kan spåras. Detta är i sig ganska naturligt på grund av sandens ringa buffrande förmåga. Motvariationen innebär ju att vätejoner och nitratjoner gör sällskap utan några märkvärdiga komplikationer.

SAMMANFATTNING

Ett stationsnät för mätning av växtnäringsläckage från åker har byggts ut med början 1972. Insamlat datamaterial nyttjas här för en diskussion om försurningsproblemet.

Från början steg pH i både dräneringsvatten och grundvatten. Maximum omkring pH 8 nåddes under de agrohydrologiska åren 75/76 och 76/77. Ett kraftigt pH-fall på 2 enheter och mera inträffade på våren eller sommaren 1977 över hela landet. Därefter steg pH eller fluktuerade kring en konstant lägre nivå.

Orsaken till att pH steg i grundvattnet är att vätejoner förträngt baskatjoner från jordmaterialet till markvätskan. Det kraftiga pH-fallet har att göra med det torra året 75/76 då mineraliseringsprodukter anhopades i jorden och extra mycket härav rann ut det påföljande våta året. Väderleken har sålunda bedömts vara den viktigaste orsaken till pH-fallet. Sur nederbörd har synbarligen betytt mindre.

Andra och lokala faktorer som kan ha bidragit är hydrologien, jordarten, växttäckets och gödslingen. Hydrologien griper in på flera sätt. Jordartens betydelse är oklar utom vad det gäller sandjord där grundvattnet är mycket känsligt för försurning. Växttäckets har sällan givit tydliga utslag. Försurande gödselmedel tycks ha bidragit till stora pH-sänkningar och kalkverkande motverkat sådana.

Allmänt kan sägas att den av försurningen orsakade utlakningen av metallkationer inger farhågor på lång sikt.

Relationerna mellan pH, konduktivitet och nitrat diskuteras.

LITTERATUR

- Bernhoff, R. 1979. Acidification and lake liming. *Inf. Cementa AB*, 1-107.
- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1978. Förluster av växtnäring från åker. *Ekohydrologi nr 1*, 1-60.
- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1979. Förluster av kväve, fosfor och kalium från åker. *Ekohydrologi nr 4*, 7-57.
- Brink, N., Jansson, S. L. & Steineck, S. 1980. Utlakning efter spridning av potatisfruktsaft. *Ekohydrologi nr 6*, 21-38.
- Granat, L. 1980. Redovisning av arbetet inom luft- och nederbördskemiska stationsnätet (opubl.). Meteorologiska institutionen, Stockholms universitet.
- Johansson, K. & Karlgren, L. 1974. Tusen sjöar. Rapport från en inventering. *Statens naturvårdsverk Publ. 1974:11*, p. 55.
- Odén, S. 1976. The acidity problem - an outline of concepts. *Wat. Air Soil Poll.*, 6, 137-166.
- Ståhlberg, S. 1981. Metodik för uppskattning av handelsgödselmedlens syra-basverkan. *Statens Lantbrukskem. Lab. Medd. 51*. (Under tryckning.)

TCA-UTLAKNING FRÅN ÅKER

Leaching of TCA from Arable Land

Rikard Jernlås och Per Klingspor

Abstract. The leaching of TCA to 1 m depth on a sandy soil has been investigated by a plot experiment in the south of Sweden. The field is specially drained with a separate drainage system at every plot. The area of each plot is 3000 m². All percolating water is supposed to be collected in the drains as the soil beneath the drains is a impermeable clay. The TCA was applied in 20-60 kg/doses. Two plots with 20 kg/ha TCA-doses were irrigated, one of which was irrigated in excess. The TCA-concentrations found in the drainage water were in the range 0,1-1,3 ppm. The amounts of TCA that were leached through the soil were in the range 0,1-0,5 kg/ha. From the result it is obvious that irrigation in excess slightly enhances leaching of TCA.

INLEDNING

TCA (triklorättiksyra) används till bekämpning av enhjärtbladiga ogräs som t.ex. kvickrot och storven. Den har under många år nyttjats för en jämförelsevis billig kvickrotsbekämpning. Förutom ur rent produktions-ekonomisk synpunkt är TCA intressant ur miljösynpunkt.

Vid användning av bekämpningsmedel är man ofta mån om att största möjliga andel av insatt preparat skall träffa sitt tilltänkta mål och om möjligt kvarstanna där. Nyttjas bladherbicer rinner emellertid en del av bladen ner på marken eller hamnar direkt på jorden.

Används jordherbicer som är tämligen persistenta gäller inte motsvarande fullt ut. Det kan vara fördelaktigt om medlet inte stannar kvar där det först gör verkan utan lakas ut ur grödans rotzon och samtidigt når djupare rotade ogräs (Anonymus 1966). Härigenom kan känsliga grödor odlas kortare tid efter insatt bekämpning än vad annars varit fallet.

När det gäller lättrorliga jordherbicer utgör persistensen ett tve-tydigt begrepp. Eftersom angivna uppgifter om persistens ofta enbart är ett mått på hur lång tid efter appliceringen som skador kan spåras i känsliga grödor kan härur inte dras slutsatsen att medlet är oskadliggjort än mindre nedbrutet. En transport ur rotzonen av t.ex. TCA kan ge en kort persistenstid för växtodlaren trots att nedbrytningstiden för medlet i själva verket förlängs i och med att den biologiska aktiviteten är mindre och därmed nedbrytningen långsammare på större djup (Tors-tensson & Hammarström 1979). Möjligheten för TCA att nå grundvatten innan nedbrytning skett ökar naturligtvis i motsvarande mån.

TCA är en lättrorlig herbicid. Dess höga vattenlöslighet, negativa laddning och blygsamma molekylstorlek gör att adsorptionen blir ringa. Det organiska materialet i marken svarar för det mesta av adsorptionen. Teoretiskt skulle även järn- och aluminiumoxider kunna bidra härtill.

I Sverige har vertikal transport av TCA studerats tidigare (Steckó 1976, Gaber 1974). I dessa undersökningar har TCA-nedlakningen genom markprofilen följts på så sätt att jordprov tagits och analyserats på TCA genom odling av en testväxt. Steckó (O.c.) anger att TCA normalt inte lakas under 70 cm djup vid 25 kg giva. Bevattning kunde inte påvisas ge ett ökat transportdjup. Däremot medförde bevattning en snabbare nedtransport såväl som nedbrytning av TCA. Någon risk för nedlakning av TCA till grundvatten kunde författaren inte se såvida inte grundvat-tenytan stod så högt som 50-70 cm under markytan. Det sistnämnda motsva-rade det största transportdjup som kunnat konstateras vid normal TCA-giva.

Tab. 1 Vattenprovens TCA-halter (ppm). *TCA-concentrations in the watersamples (ppm).*

Tabell 1.

	TCA-giva (kg/ha) <i>TCA-dose</i>						
	0	20	40	60	20	20	20
Bevattning (mm) <i>Irrigation</i>	0	0	0	0	0	2x25	2x50
7 maj	0,22	0,65	0,38	0,74	0,81	0,88	0,89
21 maj	0,10	0,50	0,37	1,27	0,63	0,63	0,55
11 jun	-	-	-	-	-	0,90	0,87
25 jun	-	-	-	-	-	0,25	0,50
2 jul	-	-	-	-	-	-	0,23
30 jul	-	-	-	-	-	-	0,00
7 aug	-	-	-	-	-	(0,4)	(0,4)
14 aug	-	-	-	-	-	-	(0,4)
27 aug	-	-	-	-	0	0,08	0,27

Anmärkning: Prov med besvärande höga bakgrundsstörningar har satts inom parentes.

Note: Samples with high background noise are put in brackets.

MÅL

Målet med undersökningen har varit att bestämma TCA-utlakningens storlek från en sardjord. Dessutom har målet varit att belysa betydelsen för utlakningen av ökad bevattningsintensitet och ökade TCA-givor.

MATERIAL OCH METODER

Försöksfältet som tidigare använts för mätning av växtnäringsläckage efter spridning av stallgödsel har beskrivits av Brink & Joelsson (1978) på följande sätt:

"Försöksfältet tillhör Plönninge lantbruksskola. Det ligger lågt i förhållande till omgivande skog och åker i en dalgång intill Nyårsåsen 10 km NV Halmstad (fig. 1).

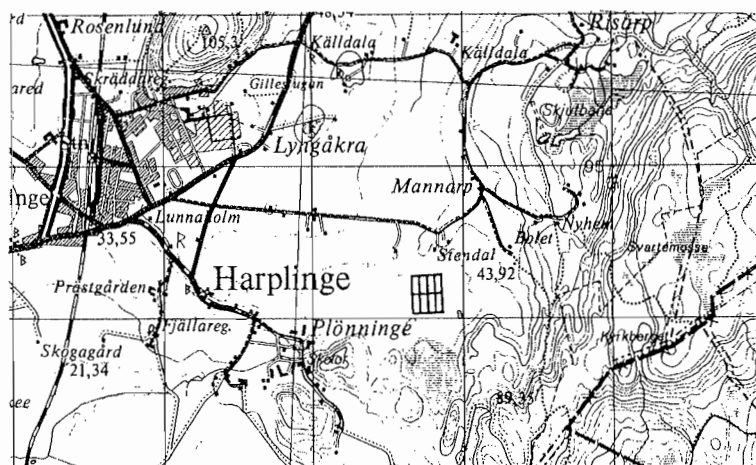


Fig. 1. Försöksfältet med omgivning. *The experiment field and surroundings.*

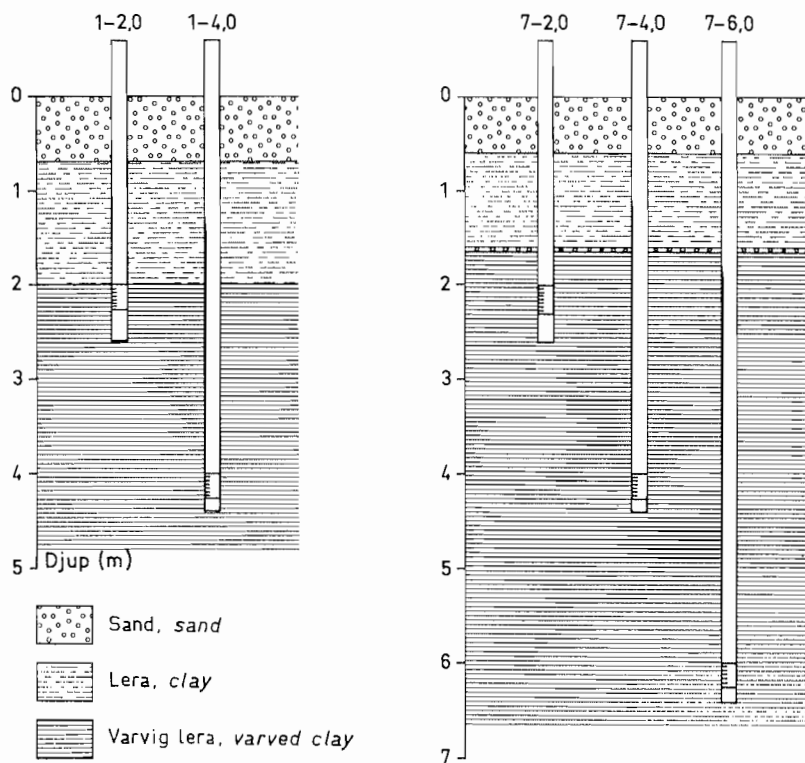
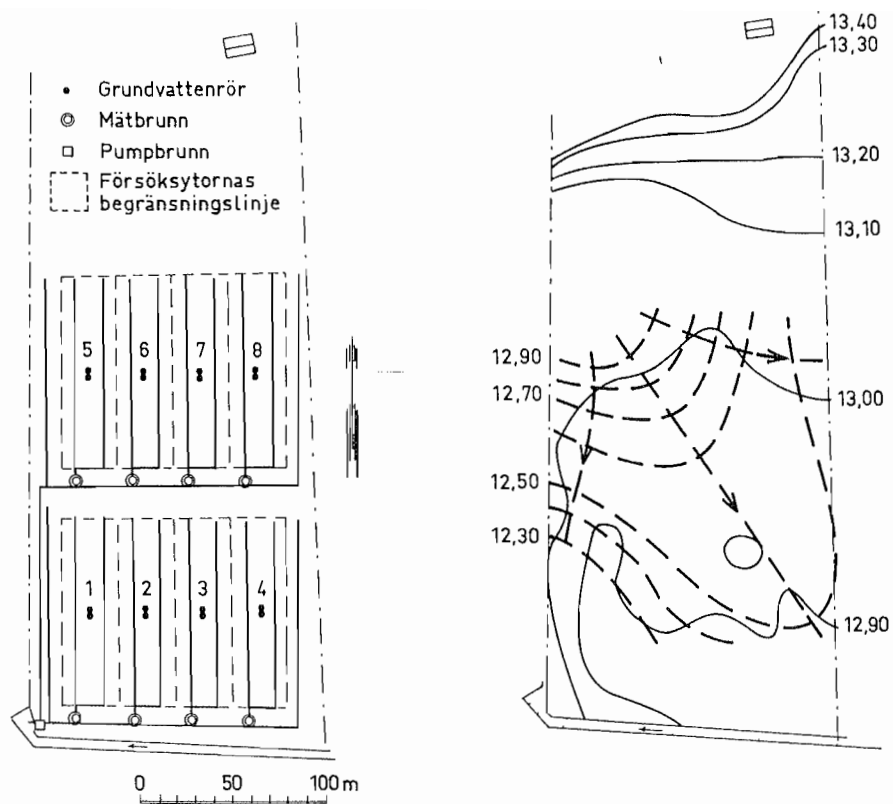


Fig. 2. Över. Försöksfält med försöksrutor, marklutning och grundvatt-
 nets strömningsriktning. Under. Markprofiler på två av försöksrutorna.
 Above. Experiment field with plots, ground slope and flow direction of
 the ground water. Below. Soil profiles for two of the plots.

Fältet som är nästan plant specialdikades 1974 i åtta separata system om 0,3 ha vardera (fig. 2). Det täcks helt av mellansand. Sanden har utsvallat från intilliggande mäktiga randås, som bildats i samband med isens avsmältning. Tidigare har fältet varit täckt av ett tunt lager torv, som dock mineraliserats så att ytjorden idag utgörs av mullhaltig mellansand. Den knappt en meter mäktiga sanden underlagras av glaciallera, som i övergången mellan sand och lera har inslag av grövre sediment, främst mo. Lerans mäktighet uppgår till flera meter, i fältets mitt mer än sex.

Norr om fältet går moränen i dagen och 300 m åt NV finns ett område med organogen jord, som underlagras av ett tunt sandlager.

Det vatten som påträffas i svallsanden härrör med största sannolikhet från nederbörd som fallit på fältet och infiltrerat. Uppehållstiden i sanden för detta vatten bedöms vara kort.

Vattnet i leran rör sig som fig. 2 visar. Strömningsbilden har konstruerats på basis av tryckmätningar. Leran är svårgenomsläpplig och hindrar mer eller mindre ett utbyte mellan grundvattnet i sanden och grundvattnet i moränen under leran."

Ruta 8 är sedan 1979 bortkopplad på grund av att avrinningen därifrån avvek starkt från övriga. En del andra ändringar har också gjorts. Lika så har grundvattenrören avlägsnats från fältet.

Flödesmätningen har som tidigare utförts med vippkärl. Antalet vippningar har registrerats med en mikrodator. Avläsningen av vinghjulsmätare på utloppssidan av försöksfältets dräneringspumpar har gjorts var och varannan vecka.

Provtagning av dräneringsvatten har utförts en gång per vecka. Proven har tagits i glasflaskor. Dessa har förslutits med kork som försetts med aluminiumfolie.

Analysen har skett med en spektrofotometrisk metod enligt Sjöberg & Zetterqvist (1956).

Beräkningar av TCA-transporten ur dräneringssystemen har gjorts med ett koncentrationsmedeltal som erhållits genom vägning av analysvärdena mot provtagningsdagens dygnsflöde. Detta enligt formeln

$$T = \frac{A}{100}(q_1c_1 + q_2c_2 + \dots + q_nc_n)/(q_1 + q_2 + \dots + q_n),$$

där T är transporten i kg/ha, A är avrinningen i mm, n är antalet observationer, c är koncentrationen i mg/l och q är vattenföringen i valfri sort.

Försöksplan

Försöket lades enligt följande plan.

Ruta ...	1	2	3	4	5	6	7
TCA (kg/ha)	0	20	40	60	20	20	20
Bevattning (mm)	0	0	0	0	2x50	2x25	0

Spridningen av TCA skedde 10-11 april 1979 på tjälen. Provtagning för TCA-analys startade 7 maj. En provomgång från 14 maj är förkommen och kan inte redovisas. Sådden ägde rum 14 maj. Grödan var vår-rybs. Flödesregistrering har ej kunnat ske separat för var ruta och vart dygn under maj månad. I stället har medeltal för flera rutor och längre tidsperioder använts under denna tid. Bevattning har skett 9-10 juni och 25-26 juni. Bevattningen har satts in vid 25 mm markvattenunderskott från fältkapacitet. Underskottet som beräknats med ledning av nederbörd och avdunstningen har uppmätts med SMHI:s regnmätare och Anderssons (1969) avdunstningsmätare.

RESULTAT

Försöksresultatet redovisas i fig. 3 och tab. 1. Fig. 3 visar avrinning och TCA-koncentrationen från de olika försöksleden under tidsperioden april-september. I alla obevattnade led har endast två prov med TCA-haltigt vatten tagits. Dessa togs under maj månad. Under juni, juli och nästan hela augusti har ingen avrinning skett i något obevattnat led. I slutet av augusti rann det av en liten vattenmängd. Inga TCA-rester kunde då påvisas.

I alla bevattnade led har TCA-haltigt vatten runnit av vid bevattningstillfällena. Dessutom har i dessa led till skillnad från de obevattnade leden TCA påvisats i dräneringsvattnet även i slutet av augusti.

Resultatet av beräknad TCA-uttransport ur dräneringssystemet är redovisat i fig. 4. De utlakade mängderna är allmänt mycket små. Några reflexioner kring olikheterna skall likväl göras.

TCA har till synes transporterats från ruta 1 som inte fått någon TCA. Rutans placering i fältet gör det troligt att denna mängd kommit från ruta 2. All TCA återfunnen i ruta 1 borde alltså redovisas som tillhörig ruta 2. I figuren har detta återgetts genom att uttransporten från ruta 1 genom streckning adderats till transporten från ruta 2. Resultatet av denna operation överensstämmer mycket väl med den parallell i försöket som ruta 7 utgör. Dock kan man inte utsluta att liknande övergångar även kan ha skett mellan andra rutor i försöket.

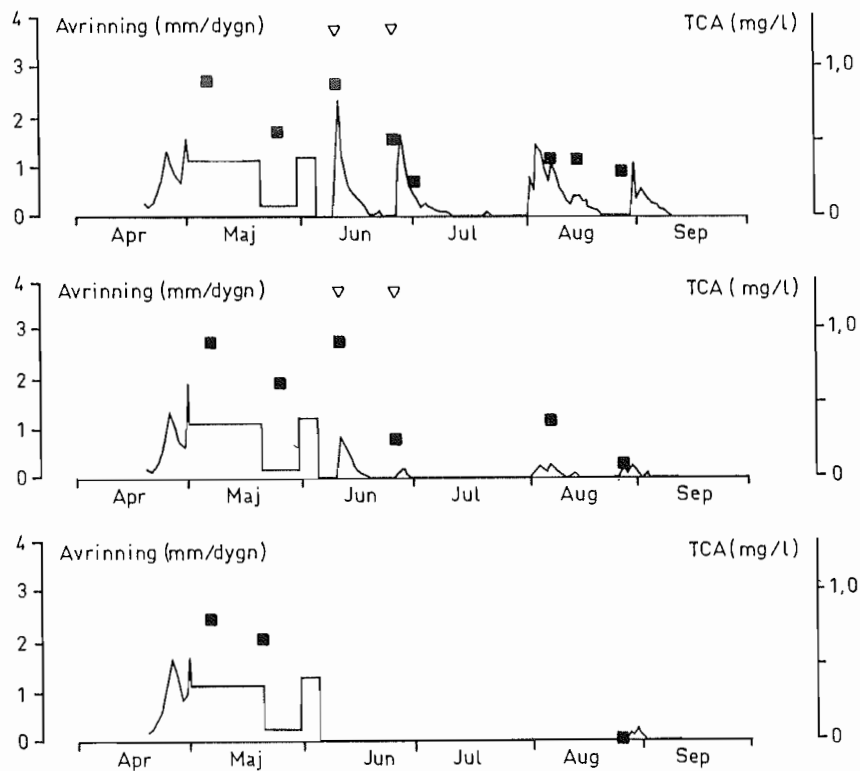


Fig. 3. Avrinning och TCA-koncentrationer i vatten från rutorna 5, 6 och 7. *Flow and TCA-concentrations in water from the plots 5, 6 and 7.* ■ TCA-koncentration; ▽ irrigation.

Effekten av bevattning vid i övrigt samma TCA-giva har uppenbarligen blivit att en ökad utlakning skett endast vid överskottsbevattning. Någon entydig verkan av förhöjda TCA-givor i obevattnade led kan inte utläsas ur materialet. Alla led har en uttransport av samma storlek med undantag för ruta 3 som har ett lägre värde än övriga obevattnade rutor. Troligen har osäkerheten i beräkningen för obevattnade led blivit stor på grund av att endast två analyser utgör underlaget.

DISKUSSION

Av tabell 1 framgår att inget prov för TCA-analys tagits förrän ca en månad efter spridningen. Härigenom har uttransportens första skede inte kunnat följas. Detta hindrar inte att det funna resultatet kan jämföras med resultat från överslagsberäkningar vad det gäller (A) tidpunkten när högsta TCA-koncentration uppträder i dräneringssystemet och (B) storleken av de utlakade mängderna TCA.

(A) Tidpunkten när högsta TCA-koncentration borde uppträda i dräneringssystemet kan skattas med följande antaganden och beräkning:

- vattenhalt vid fältkapaciteten 8 vol-%
- adsorption av TCA är försumbar
- all transport av TCA sker vid fältkapacitet

Lakningsdjupet för högsta TCA-koncentrationen beräknas genom

$$x = V/\theta, \quad (1)$$

där x är lakningsdjupet i m, V är avrunnen vattenvolym per ytenhet i m^3/m^2 och θ är vattenhalten vid fältkapaciteten i m^3/m^3 .

Insättning av avrunna vattenmängder vid provtagningsdatum ger då följande kalkylerade djup för högsta TCA-koncentration.

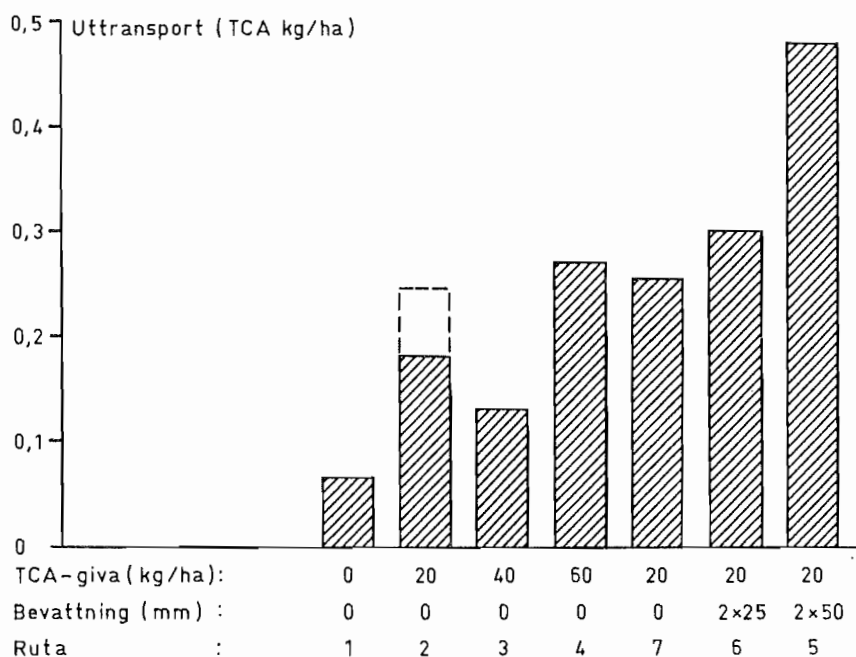


Fig. 4. Uttransport av TCA. *Leaching of TCA*. TCA-giva, TCA-dose. Bevattning, *irrigation*. Ruta, *plot*.

Datum . . .	29 apr	7 maj	21 maj	11 jun
V (m ³ /m ²)	0,012	0,020	0,037	0,048
x (m)	0,15	0,25	0,46	0,525

Eftersom dräneringsledningarna ligger på 0,85-1,0 m djup tyder beräkningarna på att högsta TCA-koncentration i obevattnade led aldrig nått dräneringsdjup innan sommartorkan. Först i mitten av november har avrinningen från dessa led varit så stor att dräneringsdjup kan ha nåtts av den kalkylerade TCA-toppen. Nedbrytningen av TCA bör då ha hunnit bli betydande. Detta förhållande kan inte styrkas med försöksdata eftersom provtagningen avbröts i augusti. Ruta 5, som bevattnades kraftigt, har i början och mitten av augusti ett kalkylerat nedträngningsdjup av TCA-toppen till 0,89 m respektive 1,0 m. Vid denna tidpunkt har också högre TCA-koncentrationer återfunnits i dräneringsvattnet än närmaste tiden före och efter.

(B) Uppgifter från laboratorieförsök om utlakade TCA-mängder som funktion av avrinnande vattenmängd finns redovisade (Leh 1968). Försöken utfördes på 20 cm djupa jordkolonner. En TCA-dos motsvarande 50 kg/ha applicerades och lakades sedan med vatten. Resultatet redovisas som TCA-andel vid olika utlakade vattenvolymer. Följande samband föreligger

$$M_1/M_0 = f(V), \quad (2)$$

där M_0 är tillförd mängd TCA, M_1 är utlakad mängd TCA och $f(V)$ är en funktion av lagningsvolymen V . Eftersom jordkolonnerna var 20 cm och djupet i vårt försök på Plönninge var 100 cm måste följande förenklade antaganden göras för en direkt jämförelse.

Värdet på f är beroende endast av V och sålunda oberoende av M_0 . Följande samband gäller då

$$M_1/M_0 = M_2/M_1 = M_3/M_2 = \dots = f(V) \quad (3)$$

Den beräknade utlakade TCA-mängden vid 1 m djup enligt Lehs data skulle då följa formeln

$$f^5 \cdot M_0 = M_5 \quad (4)$$

Den jord som använts i Lehs försök är en sandjord med 7,0% glödgningsförlust. En jämförelse mellan beräknade utlakningsmängder vid dräneringsdjup enligt data från Lehs försök och vårt ger vid samma lagningsvolymer följande resultat:

V (m ³ /m ²)	Leh's försök		Vårt försök
	M_1/M_0	utlakat (kg/ha)	utlakat (kg/ha)
0,040	0,170	0,003	0,235
0,048	0,283	0,036	0,307
0,056	0,386	0,171	0,376
0,064	0,438	0,229	0,419

En förvånansvärt god överensstämmelse föreligger.

Slutsatsen av det material som redovisats i (A) och (B) blir att resultatet av vårt försök, med givna avrinningsdata, i stort kunnat förutses redan 1968.

LITTERATUR

- Andersson, S. 1969. Markfysikaliska undersökningar i odlad jord. XVIII. *Grundförbättring*, 22, 59-66.
- Anonymus 1966. 2,3,6-TBA acid as herbicide. *Japan Chem. Quarterly* 2:2, 62.
- Brink, N. & Joelsson, A. 1978. Stallgödsel på villovägar. *Ekohydrologi* nr 2, 1-15.
- Gaber, M. 1974. Influence of climatic factors and type of soil on the persistence and distribution of sodium trichloroacetate in the soil. *Lantbrukshögsk. Inst. Växtodling, Rapp. nr 23*, 1-162.
- Leh, H.O. 1968. Untersuchungen über die Vertikale Wanderung von Herbiciden im Boden unter Berücksichtigung der Möglichkeiten einer Grundwasserverunreinigung. *Nachrichtenbl. Deutch. Pflanzenschutzd.*, 20, 99-106.
- Sjöberg, B. & Zetterqvist, E. 1956. Bestämning av triklorättiksyra i jord. *Uddeholms AB. Medd. från forskningslaboratorierna nr 16*, 1-12.
- Steckó, V. 1976. Herbicidens persistens i jord efter olika jordbearbetning. *Lantbrukshögsk. Inst. Växtodling, Rapp. nr 52*, 1-40.
- Torstensson, L. & Hammarström, L. 1979. Nedbrytningskapacitet för TCA i några markprofiler. *Sv. Lantbruksuniv. Inst. Växtodling, Rapp. nr 1*, 1-5.

YTAVSPOLNING AV FOSFOR FRÅN ÅKERMARK

Storm Washing of Phosphorus from Arable Land

Arne Joelsson

Abstract. Under the climatic, geological and topographical conditions in the basin of Lake Mälaren run-off of water from arable land takes place both as surface and drainage water. The amount of surface water depends on precipitation, topography and soil composition.

This investigation was performed on two experimental fields in 1976 and 1977. Run-off and phosphorus in run-off water were measured during the spring term and the transport of phosphorus estimated. There was a positive connection between run-off and phosphorus in the surface water.

The relationship is defined as

$$y = 0,335 (1 - e^{-2,72x}), \quad r = 0,88$$

where y is phosphorus in the surface water ($\text{PO}_4\text{-P}$ $\mu\text{g/l}$) and x is run-off (l/s).

As a mean value the loss of phosphorus ($\text{PO}_4\text{-P}$) per hectare was estimated as 1-3 g per hectare per mm surface run-off water.

It is concluded that

- (1) The loss of phosphorus from arable land may be an important factor in eutrophication of lakes.
- (2) The agricultural practice can probably be improved, thereby reducing water pollution.

INLEDNING

Förlusten av växtnäringsämnen från åkermark har ägnats stor uppmärksamhet under de senaste åren. Idag har vi en ganska god bild när det gäller kväveutlakningens omfattning. Normalt utlakas 10-30 kg nitratkväve per ha och år (Brink, Gustafson & Persson 1978) från åkermark. Variationen beror på jordart, nederbördsförhållanden och jordbruksdrift. Fosforhalten i yt- och dräneringsvatten kan variera inom ett mycket brett koncentrationsområde. Brink *et al.* anger skillnader i årsmedeltal för fosfatkoncentrationen i dräneringsvatten på upp till tio gånger mellan olika år och över ett hundra gånger mellan olika platser och år. De enskilda analysvärdena kan följaktligen sprida ännu mer. Skillnaderna återspeglas också i transportvärdena (0,01-2,20 P kg/(ha·år)). Som genomsnitt för mälaronrådet redovisar Ahl (1973) en förlust på 0,5-0,6 P kg/(ha·år).

I Danmark och Norge pågår sedan flera år omfattande undersökningar angående näringsförluster från åker. Hansen & Pedersen (1975) anger som genomsnittsvärde för fosfor 0,04 kg/(ha·år) och Uhlen (1978) redovisar 0,03-0,34 P kg/(ha·år) beroende på årsmån och gröda. Fosforförluster efter stallgödsling av sluttande fält redovisas också i samma rapport. Över 10% av den på ytan tillförda fosfor transporteras bort med avrinnande ytvatten. Som genomsnitt för odlad mark i Norge anger Holtan (1973) 0,2 P kg/(ha·år). De nämnda undersökningarna visar att förlusterna varierar inom mycket vida gränser. Detta ger också en antydning om att åtgärder för att minska fosforförlusterna bör kunna ge gott resultat.

DENNA UNDERSÖKNING

Föreliggande undersökning behandlar fosforförluster från åker i samband med snösmältning och åtföljande ytavrinning. Undersökningen avser främst att klarlägga sambandet mellan flöde och fosforhalt i det avrinnande vattnet. Fosfor förekommer dels som lösta fosfater och dels mer eller mindre hårt adsorberad till ler- och humuskolloider eller hårt bunden i

svårlösliga apatiter. Vid ytavrinning, särskilt i samband med hög avrinning transporteras kolloidalt material och därtill bundna näringsämnen bort från åkermarken. Fosfatjonen binds på grund av sina kemiska egenskaper hårt till markpartiklarna och transporteras vid yterosion ut i vattensystemen. Dessa erosionsförluster är under våra förhållanden av mindre betydelse för åkermarkens bördighet, men effekterna på vattensystemen är däremot allvarligare. Om ytvattnet ges möjlighet att infiltrera i marken binds en övervägande del av fosfor till markkolloiderna. Samtidigt fångas det suspenderade materialet upp i markens porsystem.

MATERIAL OCH METODER

Försöksfält

Undersökningarna genomfördes på två försöksfält i Mellansverige, som drivs av försöksavdelningen för vattenvård vid Sveriges lantbruksuniversitet och numera även är referensfält för jordbruksmark inom ramen för PMK:s (programmet för övervakning av miljö kvalitet) verksamhet. Under snösmältningsperioden 1976 utfördes undersökningarna på Sandbro och under motsvarande period 1977 vid Flinkesta. Försöksfälten finns beskrivna av Brink *et al.* (1978). Arealerna är 14,0 respektive 6,6 ha.

Geologiskt har fälten ungefär samma genetiska uppbyggnad. Båda fälten domineras av mer eller mindre väl sorterad sedimentär lera. Sedimentens mäktighet avtar med stigande marknivå. I övre delarna av fälten finns inslag av underliggande morän, som på Sandbro är av sandigmoig typ och vid Flinkesta övergår i svallad morän.

Avrinningsmätning

Avrinningen från fälten mättes med ett skibord (enligt Tomson). Vattennivån i utjämningsbassängen registrerades kontinuerligt med en flottörpegel.

Provtagning och analys

Vattenproven togs ut med en automatisk provtagare. Provtagningsfrekvensen var sex prov per dygn. Proven transporterades till laboratoriet inom tre dygn. Varje prov delades upp i två delprov (A och B). Det ena delprovet (A) centrifugerades i 30 min vid en hastighet av minst 3 000 r/min. Båda delproven (A och B) konserverades därefter med 4 ml 1,25 M H₂SO₄ per l.

Analyserna genomfördes i princip enligt svensk standard för vattenundersökningar. Reagensmängder och koncentrationer har anpassats till automatisk analys. Fosfathalten bestämdes i prov A enligt molybdatmetoden (SIS, 028126). Fosfat reagerar härvid med ammoniummolybdat under bildning av fosformolybdensyra, som med askorbinsyra reduceras till en blåfärgad förening i närvaro av antimon. Den blåa färgen mäts fotometriskt vid 880 nm.

I prov B bestämdes totala fosforhalten. Analyserna skedde enligt svensk standard. Organiska och oorganiska fosforföreningar oxideras till ortofosfat med hjälp av kaliumperoxodisulfat i sur miljö och under tryck. Fosfatbestämningen sker därefter enligt ovan.

Vid lågvattenföring analyserades tre av de sex per dygn tagna proven.

Beräkningsmetoder

Transporten av fosfor under perioden beräknades enligt

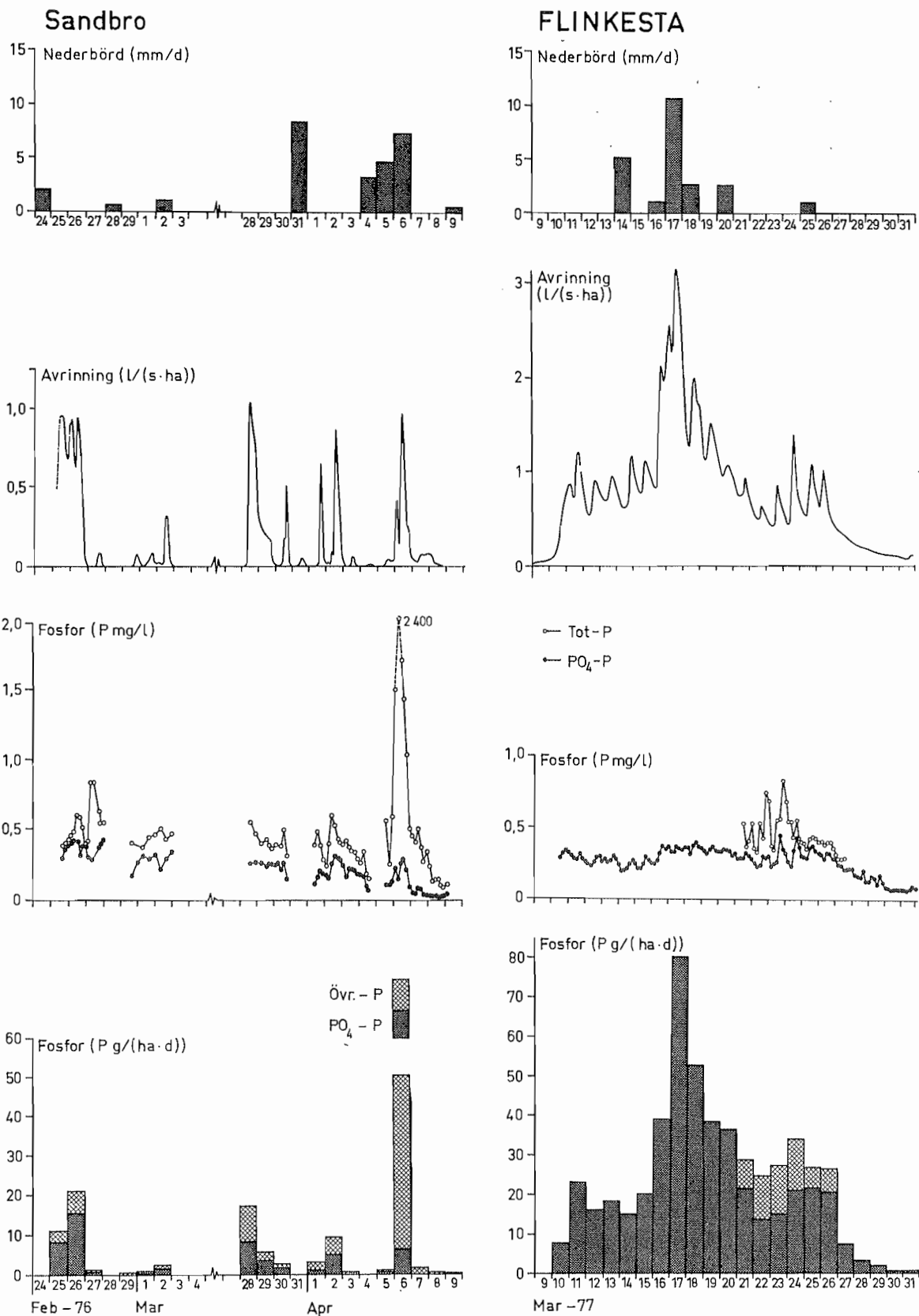


Fig. 1. Nederbörd, avrinning, fosfor i ytvatten och fosfortransport på Sandbro och Flinkesta. *Precipitation, run-off, phosphorus in surface water and transport of phosphorus by surface water.*

$$T = 10^{-2} \left(\alpha_1 \frac{1}{n} \sum_1^n c_i + \alpha_2 \frac{1}{n} \sum_1^n c_j + \dots \right), \quad (1)$$

där T är transporten i kg/ha under perioden, $\alpha_1, \alpha_2 \dots$ är dygnsavrinningen i mm och $c_i, c_j \dots$ koncentrationerna under dygnet i mg/l. För den ena undersökningen (Flinkesta) har ovanstående beräkningsmetod jämförts med

$$T = 10^{-2} \left(\alpha_1 \sum_1^n q_i c_i / \sum_1^n q_i + \alpha_2 \sum_1^n q_j c_j / \sum_1^n q_j + \dots \right), \quad (2)$$

där q_i, q_j är flödena i l/(s·ha) vid provtagningsstillfällena och övriga termer enligt ovan. Metoden bygger alltså på koncentrationsmedeltal som är vägda mot flödet vid provtagningsstillfällena. Den senare metoden gav obetydligt högre värden. De vägda dygnsmedeltalen för fosforhalten var i samtliga fall högre än de enkla aritmetiska medeltalen, i genomsnitt 2%. Beräkningsmetodernas användbarhet har behandlats utförligare i samband med studier av nitrattransporten från åker (Joelsson 1977).

RESULTAT

Nederbörd och avrinning

Nederbörden under försöksperioderna framgår av fig. 1. För Sandbro presenteras SMHI-data från en station som är belägen ca 3 km från försöksfältet. På Flinkesta mättes nederbörden kontinuerligt med hjälp av en registrerande nederbördsjäkmätare. Nederbörden under undersökningsperioden var på Sandbro 29 mm och på Flinkesta 23 mm.

Huvuddelen av nederbörden föll som regn eller snöblandat regn. Nederbördssituationen återspeglas tydligt i avrinningsbilden (fig. 1). Avrinningsintensiteten var som väntat en funktion av temperatur och nederbörd. På Flinkesta var under delperioden 22-27 mars flödesvariationerna främst en funktion av temperaturen med minimivärden under natten och maximivärden under eftermiddagen. Anmärkningsvärt höga flöden registrerades på Flinkesta. Som högst var avrinningen momentant 3 l/(s·ha). Samma dygn rann av 23 mm.

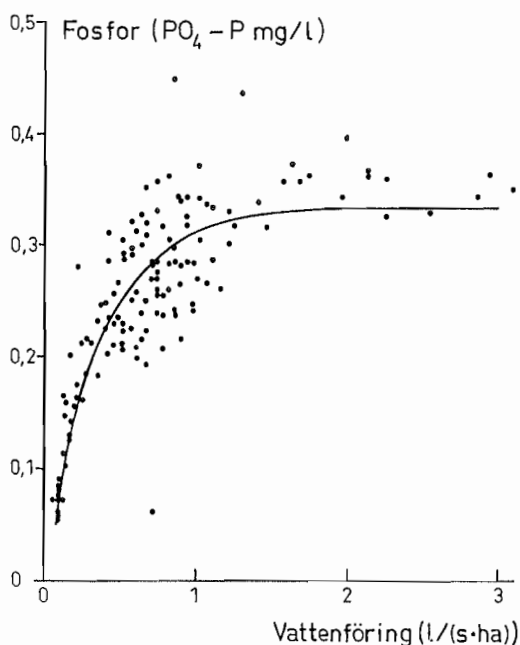


Fig. 2. Fosforhalt som funktion av vattenföring på Flinkesta. Phosphorus in surface water as a function of run-off at Flinkesta.

Fosfor

Fosforhalten (fig. 1) i det avrinnande vattnet får genomgående betecknas som höga. Haltvariationerna var på båda platserna stora. Särskilt totalfosfor varierade inom vida gränser (0,25-2,39 mg/l).

Fosforhalt och avrinning uppvisade ett klart samband. I fig. 2 har fosforhalten redovisats som funktion av vattenföringen. Som framgår av figuren finns ett nästan linjärt samband mellan fosforhalt och vattenföring i intervallet 0-0,5 l/(s·ha). Följande funktion har anpassats

$$y = 0,335 (1 - e^{-2,72x}), \quad r = 0,88, \quad (3)$$

där y är fosfatfosforhalten, x är vattenföringen och r är korrelationskoefficienten.

Transporten av fosfat och totalfosfor återges i fig. 1. Fosfatet utgör huvuddelen på Flinkesta medan övrig fosfor tidvis dominerar på Sandbro. Den förhållandevis stora andelen löst fosfat är något förbryllande. Orsaken kan vara analysmetoden. Reaktionen sker nämligen efter surgöring av provet, vilket kan påverka lösligheten hos den adsorberade fosfor.

Medeltransporten av fosfat och totalfosfor var på Sandbro 1,3 respektive 6,4 g per ha och mm avrinning. På Flinkesta erhöles medeltransportvärdet 3,0 g fosfatfosfor räknat på samma sätt.

Maximala dygnstransporten av fosfat var 80 g/(ha·d). Detta värde kan jämföras med de årstransportvärden som anges för ögödslad skogsmark (30-80 g/(ha·år)).

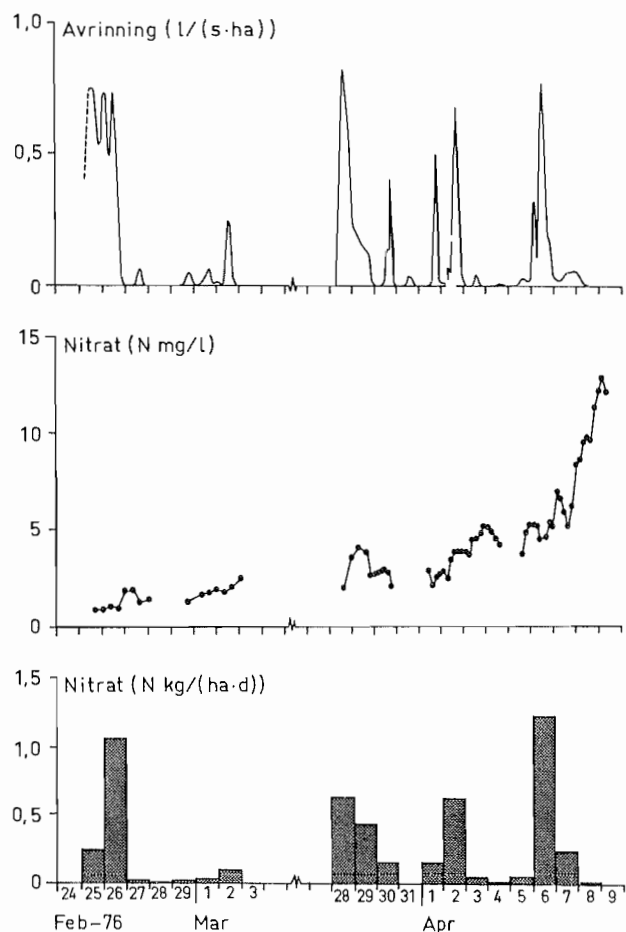


Fig. 3. Avrinning, nitrat i ytvatten och nitrattransport på Sandbro. Run-off, nitrate in surface water and transport of nitrate at Sandbro.

Kväve

Parallellt med fosforbestämningarna har de centrifugerade proven från Sandbro analyserats med avseende på nitrat. Under periodens första del var halterna jämförelsevis låga (under 5 NO₃-N mg/l). Halterna steg emellertid kraftigt i slutet av perioden. Detta skedde samtidigt som nederbördsvattnet till följd av tjällossning började infiltrera i marken. För nitrat finns inget positivt samband mellan vattenföring och halt. Materialet antyder tidvis snarare ett motsatt förhållande. Under slutet av försöksperioden utgjorde det avrinnande vattnet förmodligen en blandning av yt- och dräneringsvatten. Sambanden blir därigenom svåra att analysera. (Fig. 3.)

DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Undersökningen visar betydligt högre fosfortransporter än vad som redovisats i tidigare publicerade arbeten från de nordiska länderna. Det starka sambandet mellan vattenföring och fosforhalt understryker provtagningstidpunktens betydelse vid beräkning av fosforförluster från åker. Särskilt gäller detta vid dagsmeja och avsmältning från fält med betydande ytavrinning. Undersökningen antyder också att andelen ytligt avrinnande vatten är avgörande för årstransportvärdets storlek. På Sandbro är detta särskilt tydligt. Här är också andelen övrig fosfor (adsorberade fosfater, organiskt bunden fosfor m.m.) klart beroende av vattenföringen. Hög avrinning medförde hög halt övrig fosfor. En antydning till sådant samband finns också på Flinkesta. Anmärkningsvärt är att fosforhalterna i ytvattnet är högre från det näst intill plana fältet (Sandbro) än från det betydligt mer kuperade (Flinkesta). Det är alltså inte enbart på brant sluttande fält som stora mängder fosfor transporteras bort med det avrinnande ytvattnet.

Fosfors kemiska och fysikaliska egenskaper ger stöd åt påståendet att det främst är fråga om en partikeltransport och till partiklarna bunden fosfor. Erosionsförlusterna av kolloidalt material och därtill bunden fosfor är främst en funktion av det avrinnande vattnets hastighet på markytan och markens beskaffenhet. Växttäckning, jordart och struktur samt topografi och nederbördsförhållanden är de viktigaste faktorerna.

Föreliggande undersökning utgör ett jämförelsevis begränsat underlag för generella slutsatser. Utan att hårdra materialet kan man dock göra följande konstateranden:

1. Vid ytavrinning från åkermark innehåller vattnet höga halter av lättlösliga fosfater. Förlusterna är av underordnad betydelse för åkermarkens bördighet men kan medföra kraftig igenväxning av sjöar och vattendrag.
2. Vid beräkning av fosfortransporten från åkermark bör de enskilda koncentrationvärdena analyseras mot bakgrund av avrinningssituationen. Enkla medeltalsberäkningar kan ge helt osannolika årstransportvärden.
3. Odlings- och grundförbättringsåtgärder i jordbruket bör anpassas med hänsyn till risken för fosforförluster vid ytavrinning genom att
 - a. åtgärder för att påskynda ytavrinningen från åkermark (ytvattenbrunnar, grusfilter) vidtas först efter bedömning av miljöeffekterna och genom att
 - b. spridning av stallgödsel och handelsgödsel på hösten följs av nedbrukning på fält där ytavrinning kan förekomma.

LITTERATUR

- Ahl, T. 1973. Mälarens belastning och vattenkvalitet. *Scripta Limnologica Upsaliensia* nr 332.
- Brink, N., Gustafson, A. & Persson, G. 1978. Förluster av växtnäring från åker. *Ekohydrologi* nr 1, 1-60.
- Hansen, L. & Pedersen, F. 1975. Draenvandundersøgelse 1971-1974. 1247. Beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Planteavl. *Tidskrift for planteavl*. F9, 670-688.
- Holtan, H. 1973. Mjösaprosjektet. Fremdriftsrapport nr 3 A. Undersøkelser 1972. Resultater og kommentarer. *Rapport från Norsk Institutt for Vannforskning*.
- Joelsson, A. 1977. Metoder för bestämning av nitrattransporten från åkermark. *Vattenvård* nr 19, 1-11.
- Uhlen, G. 1978. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole*. Vol. 57 nr 27, 28, 29.

KONTROLL AV VÄXTNÄRINGSLÄCKAGE FRÅN ÅKER OCH SKOG

Control of Losses of Nutrients from Arable Land and Forest

Arne Gustafson, Sven-Olof Ryding och Barbro Ulén

Abstract. Monitoring programmes for elucidating the effects of pollution discharged into receiving waters are generally not so designed that relevant information can be obtained on load-response relationships. This is mainly due to the lack of information from diverse sources in agricultural and afforested areas. This paper discusses some problems relating to the construction of suitable monitoring programmes based on a study of the water course of River Vadsbroån in central Sweden.

Sampling four times a year conveyed a fairly similar impression of the variation pattern of nitrate compared with the information from monthly sampling. In order to detect the more rapid and sometimes unexpected variations in the patterns of total phosphorus concentrations comparatively frequent sampling is needed.

Areal coefficients from agricultural areas depend on many factors, some created by nature, like soil and variations in climate, some influenced by human activities such as type of crop, fertilizing, harvest and stock-farming.

INLEDNING

Den ökade urbaniseringen och industrialiseringen efter andra världskriget, införandet av vattentoaletter och de fosfatrika tvättmedlen samt otillräcklig avloppsvattenrening utgjorde grunden för en kraftig och omfattande försämring av våra sjöar och vattendrag. Denna försämring blev påtaglig för alla och envar under 1960-talet. Till denna utveckling har också en omläggning av våra odlingssystem inom jordbruket bidragit. Vallodlingen har minskat, stråsädesodlingen har ökat och kreaturslös drift har införts i allt större omfattning. Ett alltmer rationellt skogsbruk har dessutom utvecklats. Samtidigt med detta har användningen av handelsgödsel ökat starkt. För limnologerna stod det klart i ett tidigt skede hur situationen skulle utveckla sig om inte kväve- och fosforflödet minskades. Sedan slutet av 1960-talet har miljardbelopp satsats av stat, kommun och industri för att hejda den accelererade eutrofieringen genom att förbättra avloppsvattenreningen.

All s.k. miljöfarlig verksamhet som kan befaras påverka ett vattenområde i någon omfattning måste ges tillstånd. I detta föreskrivs varje sökande av koncessionsnämnd eller tillsyningsmyndighet att genomföra en egen undersökning i vattenområdet, s.k. recipientkontroll. Detta har lett till att antalet undersökningar med syfte att klarlägga föroreningars omfattning och effekter i vattenmiljön stigit mycket snabbt. Inom statens naturvårdsverk pågår sedan ca ett år en verksamhet med att utarbeta råd och riktlinjer för samordnad recipientkontroll (Ryding 1979). Med detta är avsikten att samlade program för påverkan från jordbruksområden skall framtagas.

Föreliggande arbete är en förstudie till en planerad samlad programskrivning för kontroll i vattenmiljön av påverkan från areella näringar, i första hand jordbruksområden. Presentationen bygger delvis på en jämförande studie i ett område där såväl forskningsinsatser som löpande rutinkontrollverksamhet pågår. Området ligger i Nyköpingsåns avrinningsområde i Vadsbroåns delflodsområde runt sjöarna Vadsbrosjön och Långhalsen. Här utför sedan 1972 Avdelningen för vattenvård vid Sveriges lantbruksuniversitet försök som rör omgivningarnas påverkan på vattenmiljön

Tabell 1. Gröda, gödsel och skörd på Flinkesta. *Crop, fertilizers, manure and yield at Flinkesta.*

År	Gröda	Crop	Handelsgödsel (kg/ha)			Fastgödsel (t/ha)	Skörd (t/ha)
			N	P	K		
1973	Höstvete	Winter wheat	62	0	0	20 ^a	4,3
1974	Vårraps	Summer rape	104	24 ^b	30 ^b	0	2,4
1975	Höstvete	Winter wheat	78	28 ^c	0	0	3,8
1976	Korn	Barley	78	18	0	0	3,1
1977	Havre+insådd	Oats+re-seed	65	15	0	0	3,1
1978	Vall I	Ley I	64+42	28	52	0	normal
1979	Vall II	Ley II	104+42	24	0	0	normal

^a Till tråda juli 72. ^b Behovsgödselat på 1/3 av arealen. ^c Gödselat hösten 74.

med speciellt intresse riktat mot jord- och skogsbrukspåverkan. Inom Nyköpingsåns avrinningsområde drivs också sedan 1972 ett stort samordnat recipientkontrollprogram med ett vattenvårdsförbund som huvudman. Två av provtagningsstationerna ingående i det samordnade programmet ligger i anslutning till ovan nämnda försöksverksamhet. Genom att jämföra information från dessa verksamheter erbjuds vissa möjligheter att belysa frågor om lämplig utformning av undersökningsmetodik i kontrollprogram.

Resultaten diskuteras allmänt runt utformning av kontrollprogram. De ses också ur behovet av kompletterande information om omfattningen av mänsklig aktivitet. Detta för en rättvis bedömning av mätserier.

BAKGRUNDSDATA OCH METODIK

Avdelningens för vattenvård (VV) försöksfält vid Flinkesta (åkermark) och Däntersta (skogsmark) har beskrivits av Brink, Gustafson & Persson (1978), Brink (1979) och Ulén & Brink (1980). Strukturen av Nyköpingsåns kontrollprogram (VVF) återges i rapport från länsstyrelsen i Södermanlands län (1974). Provtagningsstationernas läge framgår av fig. 1.



Fig. 1. Provlokalerens läge. *Locations of sampling places.*

Tabell 2. Nederbörd, avrinning och ämnestransport (kg/(ha·år)) vid Flinkesta. *Precipitation, run-off and transport of nutrients at Flinkesta.*

År	Nederbörd	Avrinning	Kväve (N)				Fosfor (P)		Kalium (K)
			NO ₃	NO ₂	NH ₄	Tot.	PO ₄	Tot.	
73/74	434	170	14	0,00	0,11	17	0,89	2,2	-
74/75	544	292	10	0,01	0,06	15	0,65	1,7	-
75/76	334	34	4,6	0,00	0,03	5,0	0,01	0,03	0,7
76/77	523	291	38	0,02	0,13	40	0,40	1,1	12
77/78	604	396	5,1	0,02	0,14	8,9	0,58	1,1	11
78/79	551	208	5	0,01	0,08	6	0,28	0,5	6,5

Provtagning har skett med följande antal gånger per år:

VV: Hedenlundaån, Däntersta, Vadsbroån	12
VV: Flinkesta	24
VVF: Hedenlundaån	4
VVF: Ålspånga	15

Provtagnings- och analysmetodik har beskrivits av Brink *et al.* 1978. I detta arbete har begreppet *agrohydrologiskt år* införts. Det omfattar tiden 1 juli-30 juni och betecknas t.ex. 73/74.

RESULTAT

Allmänt

Växtnäringsläckaget från åker och skog presenteras inledningsvis. Dessa signalers svar i åsystemet presenteras därefter sett ur tre infallsvinklar:

1. *Frekvensjämförelser i Hedenlundaån.* Vattenvårdens mätserier jämföres med Nyköpingsåns kontrollprogram.
2. *Inverkan av ett skogsområde på vattenförhållandena.* Jämförelse görs mellan kvaliteten på det ytavrinnande vattnet från det definierade skogsområdet vid Däntersta och vattenkvaliteten i angränsande nedströmspunkt i Vadsbroån.
3. *Inverkan av ett jordbruksområde på vattenförhållandena.* Jämförelse görs mellan kvaliteten på det ytavrinnande vattnet från det definierade jordbruksområdet vid Flinkesta och vattenkvaliteten i en angränsande nedströmspunkt i Långhalsens utlopp vid Ålspånga.

Resultatredovisningarna görs från två ur eutrofieringssynpunkt centrala variabler nämligen kväve och fosfor, men också kalium beaktas vid studier av ämnestransporter.

Växtnäringsläckaget vid Flinkesta

Odlingsåtgärder. Växtodlingen på försöksfältet vid Flinkesta har varit allsidig med stråsäd, oljeväxter och vall. Gröda, gödsling och skörd olika år framgår av tabell 1. Valet av gröda är representativt för en kreatursgård. Gödselgivorna där anses måttliga. Stallgödsel har använts endast vid ett tillfälle och då i samband med träda. Avkastningen har varit tillfredsställande.

Nederbörd och avrinning. Årsnederbörden varierade kraftigt under försöksperioden (tabell 2). Detta återspeglades i avrinningen. Det torra året 75/76 blev avrinningen endast 34 mm medan den 77/78 uppgick till 396 mm.

Kvävetransport. Den dominerande kvävefraktionen var nitrat. Nitratläckagets storlek kan bero på flera faktorer såsom avrinningens storlek och typ av gröda. Naturligt gav en liten avrinning som den 75/76 litet läckage. Däremot gav inte höga avrinningar proportionellt större läckage. Mängden tillgängligt utlakningsbart nitrat tycks vara avgörande. Tillgången härav beror delvis på vilken gröda som odlas. Sålunda gav stråsäd och oljeväxter upphov till större nitratförluster än vall. Detta var naturligt då det efter stråsåden och oljeväxterna höstplöjda fältet inte hade något vegetativt täcke som kunde ta upp det efter skörd mineraliserade kvävet. Hösten 1975 såddes höstvetete som sannolikt tog upp en del kväve men utlakningen begränsades detta år främst genom den låga avrinningen. Vid vallodlingen togs däremot mineraliserat kväve om hand långt in på hösten och redan tidigt på våren. Endast små mängder blev kvar som kunde utlakas.

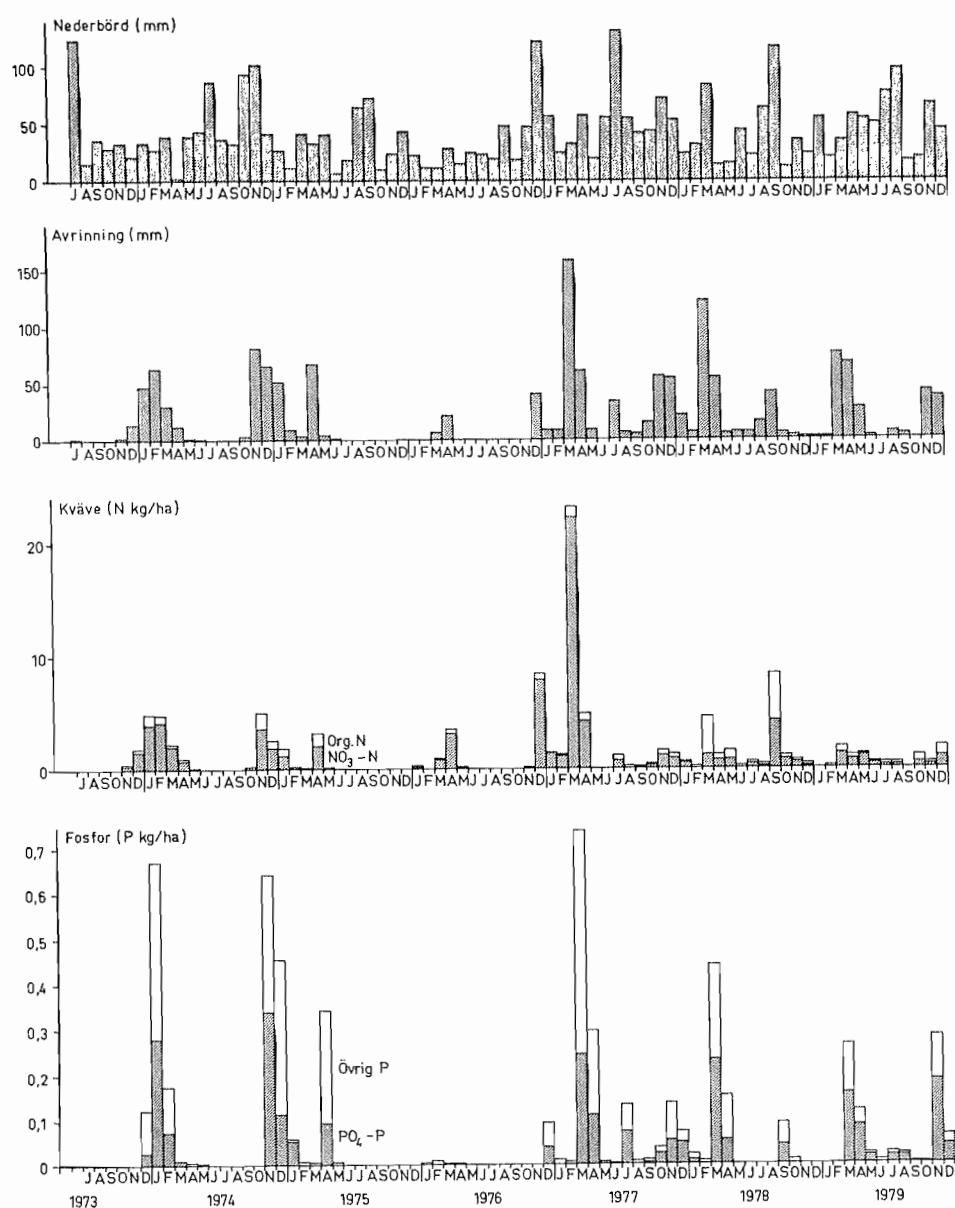


Fig. 2. Flinkesta 1973-1979. Månatlig nederbörd, avrinning samt kväve och fosfortransporter. *Monthly precipitation, run-off and transports of nitrogen and phosphorus.*

Fosfortransport. Fosforutlakningen samvarierade med vattenföringen. Vid höga avrinningar transporterades sannolikt främst partikelbunden fosfor ut som troligtvis till största delen var knuten till oorganiskt material. Fosfortransporten dämpades förutom 75/76 då avrinningen var låg även 78/79. Det sistnämnda kan vara en följd av att marken var grästäckt vilket försvårade erosionen.

Kaliumtransport. Kaliumutlakningen var också liten 75/76. Mest intressant är emellertid minskningen 78/79. Denna kan bero på att vallen tagit hand om mycket kalium. Vall är en kaliumkrävande gröda.

Kväve och fosforutlakningens tidsvariation. Av fig. 2 framgår att kväve och fosfortransportens tidsfördelning var en återspeglning av avrinningens tidsfördelning. Genom de milda vintrarna åren 73/74 och 74/75 blev transporten stor under senhöst (nov-dec) och högvinter (jan-feb). Själva vårflodens betydelse för transporten var liten. Detta mönster ändrades under de efterföljande åren då stora mängder transporterades under vårfloden (mars-april). Speciellt liten blev transporten under högvintern. En relativt kraftig transport förekom dock år 1977 och 1978 på senhösten.

Växtnärläcksaget vid Däntersta

Nederbörd och avrinning. Undersökningar av skogsområdet vid Däntersta kom igång i oktober 1976. Perioden härefter har kännetecknats av relativt normal årsnederbörd. Avrinningen från området (fig. 3) har

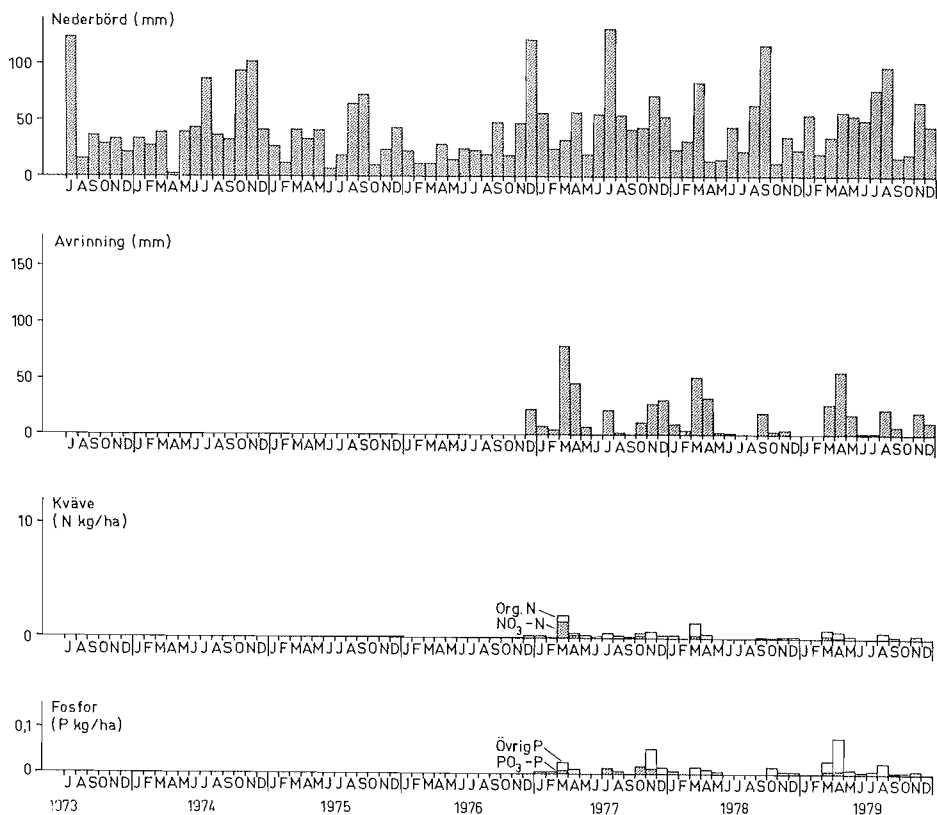


Fig. 3. Däntersta 1973-1979. Månatlig nederbörd, avrinning samt kväve- och fosfortransporter. *Monthly precipitation, run-off and transports of nitrogen and phosphorus.*

följt samma mönster som för Flinkesta men varit mindre, framför allt vid avrinningstopparna. Skogen tycks sålunda verka dämpande på avrinningen liksom området större yta (jämfört med Flinkesta) måste haft betydelse för vattenregimen. Sommarmånader med kraftig nederbörd, omkring 100 mm eller däröver, gav upphov till relativt stor avrinning dessa månader. Övriga sommarmånader var avrinningen ingen eller obetydlig.

Kvävetransport. Förluster av kväve har varit lägre än från Flinkesta, framför allt har nitratförlusterna varit små. Endast under mars 1977 var nitratförlusterna betydande som ett resultat av nitratansamlingen i marken under det föregående torråret.

Fosfortransport. Fosforförlusterna har varit höga för att komma från ett skogsområde (Brink 1979). De har i det stora hela samvarierat med vattenföringen.

Åsignalens utseende beroende av provtagningsfrekvens

Frekvensjämförelsen för Hedenlundaån visas i fig. 4. Sett till variationen av nitratkväve erhöles en god överensstämmelse för den temporära variationen. De högsta halterna inträffade under högvattenperioderna och de lägsta halterna under lågvattenperioderna. Som kontrollprogrammet i Nyköpingsån nu är upplagt mäts dock ej halterna under april då maximihalterna har uppträtt.

Totalfosfor uppvisade inte en lika klar årstidsvariation som nitratkvävet. En relativt god överensstämmelse erhöles även här men med några kraftiga undantag. Dessa inträffade i början av 1978 och slutet av 1979 då den tätare provtagningen fångade in två tillfällen då totalfosforhalten var mycket hög, 3-5 gånger högre än snittvärdet för hela observationsperioden. Dessa två tillfällen inföll under högvattenperioder vilket medför att en stor materialtransport skedde under denna period.

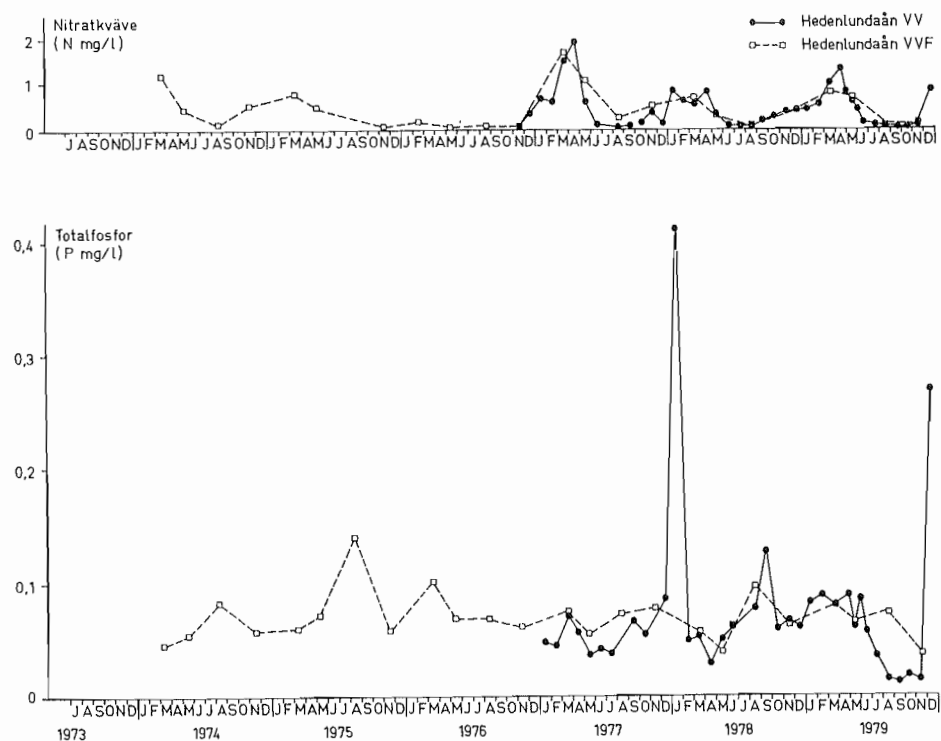


Fig. 4. Hedenlundaån 1973-1979. Nitrat- och totalfosforvariationer. Variations of nitrate and total phosphorus.

Möjlighet att spåra jordbrukspåverkan i åsignalen

Allmänt. I den andra jämförelsen baserad på den detaljerade informationen från försöksfältet i Flinkesta och nedströmpunkten vid Ålspånga kan de största variationerna i mätserierna noteras. Detta gäller såväl kvalitetsmässigt som sett till den temporala variationen.

Nitrat. Med undantag för åren med vallodling har vattnet från Flinkesta under december-maj kännetecknats av höga nitrathalter (fig. 5). Samtliga år, utom torråret 1976 då vårfloden var liten, har höga nitrathalter uppträtt vid Ålspånga under samma period eller något senare. De mycket snabba variationer som uppmättes i Flinkesta följdes emellertid av ett betydligt lugnare förlopp i nedströmpunkten.

Fosfor. Totalfosforhalten i vattnet från Flinkesta varierade ännu mer oregelbundet jämfört med nitratvariationen (fig. 6). Koncentrationsmässigt var värdena från Flinkesta flera gånger större än i nedströmpunkten vid Ålspånga, där variationsförloppet under de första fyra åren av mätserien var förhållandevis jämnt. Under 1978 och 1979 före-

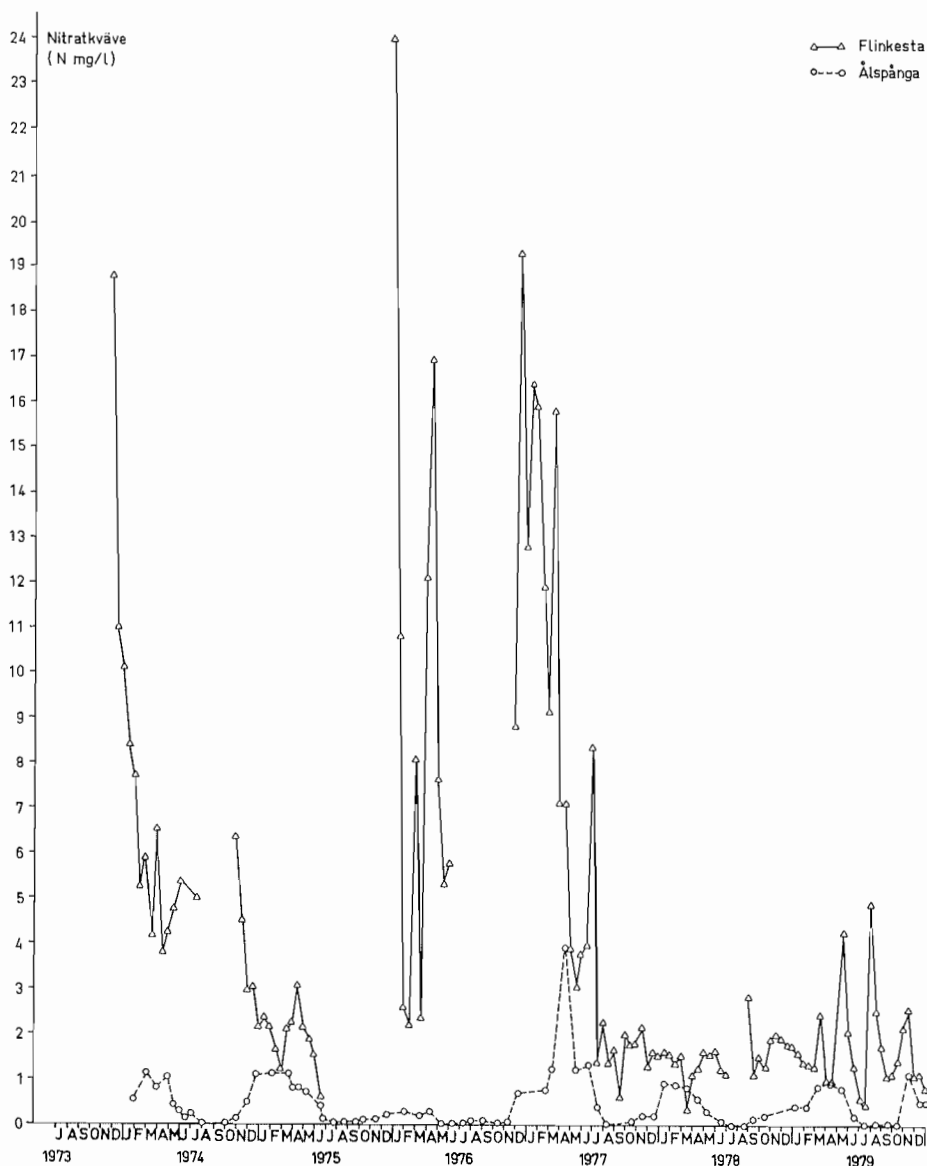


Fig. 5. Nitratvariationer vid Flinkesta och Ålspånga. Variations of nitrate at Flinkesta and Ålspånga.

kom här tre tillfällen med markanta koncentrationsförhöjningar. Dessa sammanföll med tidpunkter med höga värden i vattnet från Flinkesta. Övriga tillfällen med höga toppar i totalfosforkoncentrationen vid Flinkesta kunde däremot inga förhöjningar spåras i nedströmspunkten.

Möjlighet att spåra skogspåverkan i åsignalen

Allmänt. Den information som erhållits av kvaliteten på det avrinnande vattnet från skogsområdet vid Däntersta överensstämmer med vattenkvalitetsvariationen i Vadsbroån som framgår av fig. 7.

Nitrat. Höga nitrathalter inträffade i både Dänterstabäcken och Vadsbroån under högvattenperioder, ofta med en tidsförskjutning så att maximum i Vadsbroån inträffade något senare. Detta är särskilt tydligt under vårmånaderna mars/april 1977 och 1979.

Fosfor. Sett till totalfosforsidan kan ånyo konstateras ett mer oregelbundet tidsförlopp. Den kraftigaste fluktuationen sker i det lilla systemets vattendrag. Toppar i totalfosforhalter i Dänterstabäcken under november 1977 och mars och juli 1979 kan ej spåras i variationsmönstret i Vadsbroån. Fram till november 1977 var överensstämmelsen mellan de båda vattendragen god medan den därefter blev mera oregelbunden.

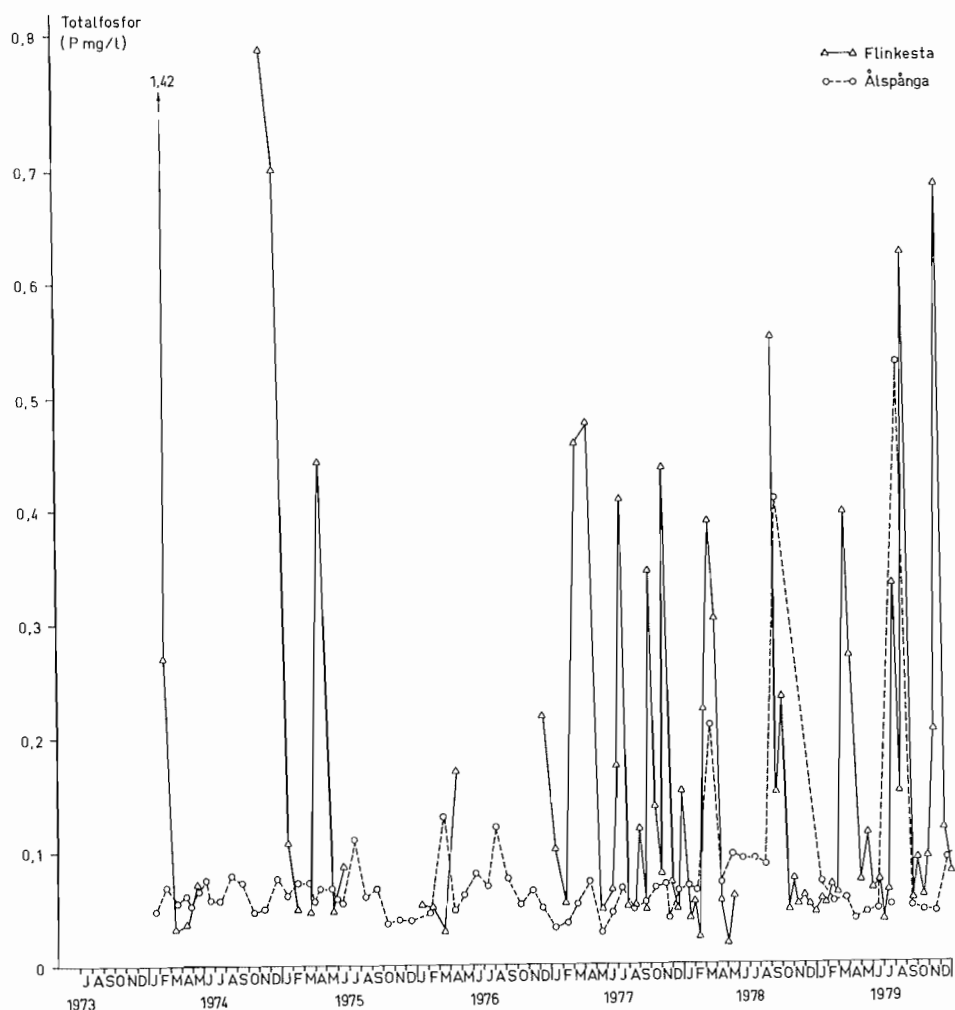


Fig. 6. Totalfosforvariationer vid Flinkesta och Ålspånga. *Variations of total phosphorus at Flinkesta and Ålspånga.*

DISKUSSION

Allmänt

För att rättvist kunna bedöma påverkan på ett vattenområde av utsläpp från olika mänsklig aktivitet behövs en samlad bild av den totala transporten av olika ämnen till sjöar och vattendrag. Härvidlag behövs uppgifter om föroreningstransporter från såväl punktkällor såsom industriella och kommunala avloppsutsläpp som från diffusa källor såsom jord- och skogsbruk. Dagens kontroll av vattenmiljön utgörs huvudsakligen av kontroll av hur olika förorenande punktkällor påverkar recipienter. Föroreningar från de areella näringarna, jord- och skogsbruk, omfattas och prövas ej enligt miljöskyddslagen. Därför har en enhetlig programutformning för kontroll av dessa areella näringar ej framtagits.

Det mål som idag sätts upp för framtida vattendragskontroll innefattar bl.a. att åskådliggöra föroreningstransporter också från diffusa källor såsom jord- och skogsbruk.

Allmänna arealkoefficienter. Ett vanligt sätt att ange växtnäringsförluster från omgivande land är att beräkna ämnestransporterna i arealkoefficienter. Dessa beräknas vanligen med kalenderåret som tidsbas. För transporter från åker- och skogsmarker, varifrån avrinningen ofta är liten eller upphör under sommaren har också begreppet agrohydrologiskt år införts. De flesta år har huvuddelen av transporten skett under våren (jämför fig. 2). Arealkoefficienterna skiljer sig därför i allmänhet inte så mycket åt om man jämför värden baserade på det agrohydrologiska år som har vårperioden gemensamt med det vanliga året. Under 73/74 och framför allt 74/75 skedde emellertid en stor del av växtnäringsförlusterna från åkern redan under november-februari. Kalenderåret skär här tvärs igenom transportperioden och arealkoefficienterna med olika årsbasis varierar i storlek. Vid månadsskiftet juni-juli har transporten från åkern varje år varit i minimum och effekten av höstens och vårens gödslingar har upphört. Vid studium av näringsförluster är därför det agrohydrologiska året en naturlig bas.

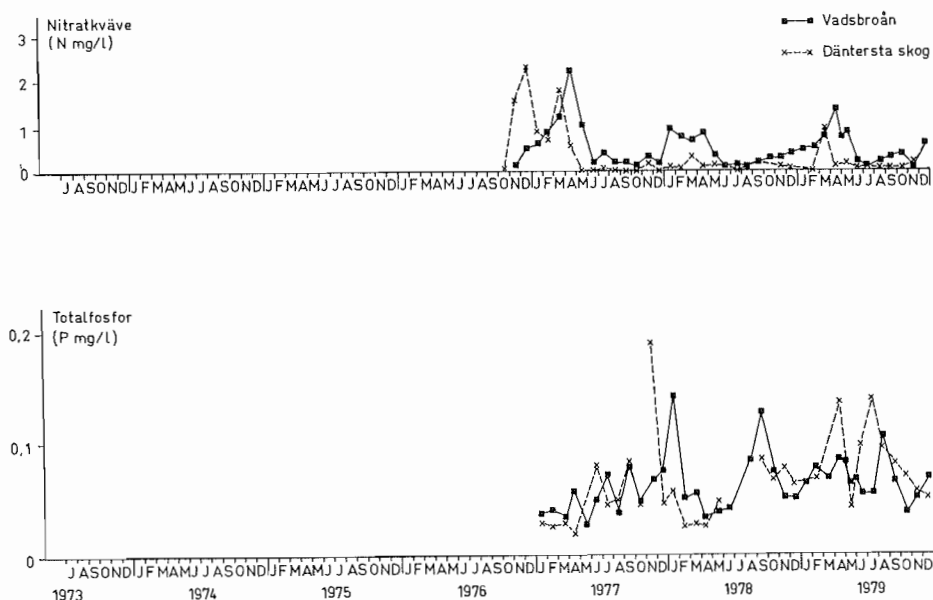


Fig. 7. Nitratkväve- och totalfosforvariationer vid Däntersta och i Vadsbroån. *Variations of nitrate and total phosphorus at Däntersta and Vadsbroån.*

Hydrologisk relevant ämnesbelastning. Vid studium av eutrofiproblem är situationen före och under den tid på våren då produktionen sätter fart den mest intressanta. Uppehållstiden för vattnet i den aktuella recipienten vore då den bästa tidsenheten för beräkning av växtnäringstransporten. Genom att beräkna ämnestransporter relaterade till den aktuella uppehållstiden i en recipient s.k. "hydrologisk relevant ämnesbelastning" har bättre samband mellan näringstillförsel och vattenkvalitet kunnat konstateras (Ryding & Forsberg 1980).

Detaljerade arealkoefficienter. Flertalet studier såväl nationella som internationella har presenterat siffror på allmänna arealkoefficienter från olika typer av områden i åker- och skogsmark (cf. Ahl & Odén 1975, Brink & Gustafson 1970, Dornsbush, Andersen & Haynes 1974, Likens & Bohrman 1974, Uttormark, Chapin & Green 1974).

Det är relativt enkelt att få ett grepp om den totala växtnäringstransporten från ett större avrinningsområde och därur med någon metod skatta bidraget från t.ex. ett jordbruksområde. En sådan jordbruksspecifik arealkoefficient säger emellertid intet om vilken detaljstruktur växtnäringsförlusterna från de enskilda jordbruken har. Resultaten från Flinkesta visade att såväl klimat (avrinningsbild) och gröda hade betydelse för läckagets storlek. Framför allt betydde grödan mycket vilket framgick av kväveförlusterna och i viss mån också av fosfor och kaliumförlusterna. Årsmånen och jordarternas betydelse för växtnäringsförlusterna har belysts av Gustafson & Hansson (1980). Gödslingsintensitetens betydelse har studerats av Brink & Lindén (1980). Omfattningen av djurhållningen kan också påverka läckaget (Wiik & Joelsson 1980). En detaljerad arealkoefficientkatalog bör därför redovisa beroendet av alla dessa faktorer.

Verkan i sjöar och vattendrag

Återspeglning av jordbrukspåverkan i sjöar och vattendrag. Med ökad jordbruksareal i ett nederbördsområde följer i första hand en ökad halt av nitratkväve under högvattenperioden (jfr nitrathalter från Flinkesta med halter från Däntersta (fig. 5 och 7). Nitratkvävehalterna från åkermarken var också tidvis extrema, i förhållande till medelhalterna, mera extrema än fosforhalterna. Fosfors variationsmönster var emellertid mera oregelbundet än kvävet vilket är typiskt för områden påverkade av olika mänskliga aktiviteter (Ryding & Forsberg 1979).

Tidsfördröjning. En viss tidsfördröjning i att spåra enskilda signaler från åker och skog i nedströmspunkter i vattensystemet kunde konstateras. Halterna var naturligtvis också lägre i nedströmspunkten. Omfattningen av denna tidsfördröjning och utsläckning beror på många faktorer i avrinningsområdet som t.ex. klimat, områdets storlek och övriga mänskliga aktiviteter i området. Mest betydelsefulla är troligen de hydrologiska förhållandena varvid magasineringskapaciteten och vattenreglering har ett avgörande inflytande genom att utjämna flödestoppar (Sundborg 1977, Ryding 1980). Även strukturen på avrinningsområdet är antagligen av betydelse. Sålunda kunde ett lugnare flöde konstateras från Däntersta, där skogen har en dämpande förmåga (fig. 3) än från Flinkesta (fig. 2).

Utformning av recipientkontrollprogram

Provtagningsfrekvens. Frekvensjämförelsen i Hedenlundaån (fig. 4) gav vid handen att man, sett till kvävet, med den lägre provtagningsintensiteten nådde klart jämförbara variationsmönster med de som erhöles med

tätare provtagning. Likheter kunde också spåras på fosforsidan, men vid vissa tidpunkter med hög fosforhalt fångades dessa ej in av det lågfrekventa programmet. Detta ger en underskattning av fosfortransporten då dessa tidpunkter med hög fosforhalt inföll då vattenföringen var stor.

I andra undersökningar har man studerat inverkan av olika provtagningsfrekvenser vid beräkningar av ämnestransporten. Rosén (1974) fann sålunda att i Vätterns tillflöden provtagning fyra gånger per år var tillfyllest för beräkning av materialtransporten. Ahl (1979) konstaterade att i Fyrisån och Sävjaån sex gånger per år var ett tillräckligt antal provtillfällen för beräkning av transporten under förutsättning att vattenföringsmätningarna var täta. Ryding (1980 a) fann i ett stort datamaterial att det krävs provtagning varannan månad för att erhålla en precision i beräkning av ämnestransporter som var $\pm 10\%$. Vid bestämning av transporten från åkermark visade Joelsson (1977) att provtagningsfrekvensen ett prov per månad var tillräckligt för att ge ett representativt värde på nitrattransporten. Fosforhalten varierade även i Joelssons undersökning inom vidare gränser än nitratet och tätare provtagning av fosfor borde därför ske. Utländska studier har visat att betydligt tätare intervall krävs ibland i samband med olika matematiska beräkningssätt (Ward, Loftis, Nielsen & Anderson 1979, Verform 1978).

Mål och provtagningsfrekvens. Att alltför noggrant följa alla skeenden och förlopp i ett vattendrag är kostnadsmässigt omöjligt. Målet för ett kontrollprogram bör därför vara

- att försäkra sig om en mätnoggrannhet som möjliggör tillförlitliga beräkningar av materialtransporten
- att erhålla goda medelvärden för längre perioder
- att avkasta tillräckligt med information så att en kompetent person skall kunna tolka en mätserie.

Att uppfylla dessa mål till övervägande del är en fråga om provtagningsfrekvens. Denna bör avpassas så att Extremsituationer kan detekteras och en så god täckning i tiden erhålls att aritmetiska medelvärden verkligen kan sägas återspegla vattenkvalitetsvariationer. Mycket starka samband har konstaterats mellan extrem- och medelhalter för ett flertal vattenkvalitetsparametrar (Ryding 1980 b), relationer som bör kunna bli av stort värde i vattenresursplanering. Det är viktigt att betona att programmen bör ha en uthållighet i tiden och ej bli av så kort varaktighet att storskaliga naturliga fluktuationer ej kan överblickas och därmed äventyra utvärderingen av resultaten. Det bör också framhållas att en bestämd provtagningsfrekvens ej kan vara generell utan måste differentieras för speciella naturgivna förutsättningar såsom efter olika hydrologiska regioner (cf. Gottschalk, Jensen, Lundqvist, Solantie & Tollan 1979) och efter den speciella lokala föroreningsbilden.

Stationstäthet. Att nå mål som skisserats ovan, vilket kräver en förhållandevis hög provtagningsfrekvens låter sig ej göras med det täta stationsnät som många gånger nyttjas i dagens recipientkontroll. En nödvändighet blir därför att glesa ut stationsnätet och nyttja ett mindre antal provtagningslokaler i strategiska punkter som täcker in den samlade miljöpåverkan från större områden. Indelningen kan härvidlag göras rent hydrologiskt i delflodsområden, men också i områden som har viss typ av föroreningsbelastning exempelvis i homogena jordbruksområden. Detta synsätt att förutom en kontroll av punktutsläpp också inhämta information från areella källor måste bli vägledande för uppläggningsprogram av framtida kontrollprogram.

SAMMANFATTNING

Inga enhetliga program för utformning av recipientkontroll i jordbruksområden har hittills framtagits. För att exemplifiera olika problem som har samband med ett sådant program presenteras resultat från en jämförande studie från Vadsbroån i Nyköpingsåns avrinningsområde. Här pågår såväl forskningsinsatser rörande växtnäringsläckage från åker och skog som löpande rutinemässig recipientkontroll.

Växtnäringsläckaget från åkermark har befunnits vara beroende av klimat, gödsling, jordart och odlingsinriktning. Liksom i jordbruksområdet samvarierade ämnestransporten i hög grad med vattenföringen också i ett studerat skogsområde.

I Vadsbroån nåddes vad gäller nitrat jämförbara halter och variationsmönster vare sig provtagning skedde 4 eller 12 gånger per år. Likheter kunde också spåras på fosforsidan men vissa tidpunkter med hög fosforhalt fångades ej in av det lågfrekventa programmet.

Fluktuationer i vattenkvalitet i det ytavrinnande vattnet från jord- respektive skogsområdet kunde spåras med en viss tidsfördröjning i nedströmspunkter i vattensystemet. Omfattningen av denna tidsfördröjning beror på många faktorer i avrinningsområdet som t.ex. klimat, områdets storlek och diverse mänskliga aktiviteter i området.

LITTERATUR

- Ahl, T. 1979. Vattenkvalitetsparametrars variationsmönster - exempel från det svenska basdatanätet. Övervakning av vattenområden, 15:e nordiska symposiet om vattenforskning, *NORDFORSK publ. 1979:2*, 217-228.
- Ahl, T. & Odén, S. 1975. Närsaltskällor en översikt. Eutrofiering, 10:e nordiska symposiet om vattenforskning, *NORDFORSK publ. 1975:1*, 99-133.
- Brink, N. 1979. Växtnäringsförluster från skogsmark. *Ekohydrologi nr 5*, 29-34.
- Brink, N. & Gustafson, A. 1970. Kväve och fosfor från skog, åker och bebyggelse. *Vattenvård nr 1*.
- Brink, N. & Lindén, B. 1980. Vart tar våra gödselmedel vägen? *Ekohydrologi nr 7*, 3-20.
- Brink, N. Gustafson, A. & Persson, G. 1978. Förluster av växtnäring från åker. *Ekohydrologi nr 1*, 1-60.
- Dornbuch, J.N., Andersen, J.R. & Harms, L.L. 1974. Quantification of pollutants in agricultural runoff. *EPA-660/2-74-005*.
- Gottschalk, L., Jensen, J.L., Lundquist, D., Solantie, R. & Tollan, A. 1979. Hydrologic regions in the Nordic countries. *Nordic Hydrology* 10, 273-286.
- Gustafson, A. & Hansson, M. 1980. Växtnäringsförluster i Skåne och Halland. *Ekohydrologi nr 6*, 3-20.
- Joelsson, A. 1977. Metoder att bestämma nitrattransporten från åkermark. *Vattenvård nr 19*.
- Likens, G.E. & Bohrman, F.H. Linkage between terrestrial and aquatic ecosystems. *Bioscience* 24, 447-456.
- Länsstyrelsen i Södermanlands län, 1974. Samordnad recipientkontroll i Nyköpingsån. Planeringsavdelningen, naturvårdsenheten, länsstyrelsen i Södermanlands län, Nr 15.
- Rosén, S. 1974. Vattenföringsbestämning i Vätterns tillflöden. *SNV PM* 489.
- Ryding, S.-O. 1979. Brister i nuvarande kontroll- och övervakningsprogram - möjligheter till utveckling. Övervakning av vattenområden, 15:e nordiska symposiet om vattenforskning, *NORDFORSK publ. 1979:2*, 103-114.

- Ryding, S.-O. 1980a. Optimization of monitoring programmes by means of general correlations between standard water quality variables. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* (Under tryckning)
- Ryding, S.-O. 1980b. Inverkan av klimatfaktorer och magasineringsskapacitet på flödesregimen i ett vattendrag. *Inst. för fys. botanik*, 1980-01-15. (Stencil)
- Ryding, S.-O. & Forsberg, C. 1979. Nitrogen, phosphorus and organic matter in running waters. Studies from six drainage basins. *Vatten* 35, 46-58.
- Ryding, S.-O. & Forsberg, C. 1980. Shortterm loadresponse relationships in shallow, polluted lakes. *Hydrobiology*. (Under tryckning)
- Sundborg, Å. 1977. Älv, kraft, miljö. Vattenkraftsutbyggnadens miljöeffekter.
- Ulén B. & Brink, N. 1980. Omgivningens betydelse för primärproduktionen i Vadsbrosjön. *Ekohydrologi nr 7*, 21-37.
- Uttermark, P.D., Chapin, J.D. & Green, K.M. 1974. Estimating nutrient loadings of lakes from nonpoint sources. *EPA-660/3-74-020*.
- Verworn, H.-R. 1978. Determining nutrient loading from rainfall and runoff in small rivers. *Prog. Wat. Tech.* 10, 607-617.
- Ward, R.C., Loftis, J.C., Nielsen, K.S.S. & Anderson, R.D. 1979. Statistical evaluation of sampling frequencies in monitoring networks. *J.W.P.C.F.* 51, 2292-2300.
- Wiik, L. & Joelsson, A. 1980. Jordbruksdrift och brunnsvattenkvalitet i södra Halland. *SNV PM 1256*.

- | Nr | År | Författare och titel. <i>Author and title.</i> |
|----|------|---|
| 6 | 1980 | Arne Gustafson och Mats Hansson. Växtnäringsförluster i Skåne och Halland. <i>Losses of Nutrients in Skåne and Halland.</i>
Nils Brink, Sven L. Jansson och Staffan Steineck. Utlakning efter spridning av potatisfruktsaft. <i>Leaching after Spreading of Potato Juice.</i>
Nils Brink och Arne Gustafson. Att spå om gödselkväve. <i>Forecasting the Need of Fertilizer Nitrogen.</i>
Arne Gustafson och Börje Lindén. Lantbruksuniversitetet satsar på exaktare kvävegödsling. |
| 7 | 1980 | Nils Brink och Börje Lindén. Vart tar handelsgödselkvävet vägen. <i>Where Does the Commercial Fertilizer Go.</i>
Barbro Ulén och Nils Brink. Omgivningens betydelse för primärproduktionen i Vadsbrosjön. <i>The Importance of the Environment for the Primary Production in Lake Vadsbrosjön.</i>
Arne Gustafson. Jordbruket och grundvattnet.
Nils Brink. Utlakningen av växtnäring från åkermark.
Nils Brink. Vart tar gödseln vägen. |

Denna serie efterträder den åren 1970-1977 utgivna serien Vattenvård. Här publiceras forsknings- och försöksresultat från avdelningen för vattenvård vid institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. Serien Vattenvård redovisas i Ekohydrologi nr 1-6. Tidigare nummer i serien Ekohydrologi redovisas nedan. Alla kan i mån av tillgång anskaffas från avdelningen för vattenvård (adress nedan).

This series is a successor to Vattenvård published in 1970-1977. Here you will find research reports from the Division of Water Management at the Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences. The Vattenvård series is listed in Ekohydrologi 1-6. You will find earlier issues of Ekohydrologi listed below. Issues still in stock can be acquired from the Division of Water Management (address, see below).

Nr	År	Författare och titel. <i>Author and title.</i>
1	1978	Nils Brink, Arne Gustafson och Gösta Persson. Förluster av växtnäring från åker. <i>Losses of nutrients from arable land.</i>
2	1978	Nils Brink och Arne Joelsson. Stallgödsel på villovägar. <i>Manure Gone Astray.</i> Lars Lingsten och Nils Brink. Åkergödslingens inverkan på miljön i en bäck. <i>The Effect of Agricultural Manuring on the Environment in a Brook.</i> Nils Brink. Kväveutlakning från odlingsmark. <i>Nitrogen Leaching from Arable Land.</i>
3	1979	Sven-Åke Heinemo och Nils Brink. Utlakning ur kompost av sopor och slam. <i>Leachate from Compost of Refuse and Sludge.</i> Nils Brink. Self-purification studies of silage juice. Arne Gustafson och Mats Hansson. Växtnäringsläckage på Kristianstads-slätten. <i>Loss of Nutrients on the Kristianstad Plain.</i> Per-Gunnar Sundqvist och Nils Brink. En gödselstad förorenar dricksvatten. <i>Pollution of the Groundwater by a Dung Yard.</i>
4	1979	Nils Brink. Vattnet är det yppersta. Arne Gustafson och Börje Lindén. Kvävebehovet för 1979. Nils Brink, Arne Gustafson och Gösta Persson. Förluster av kväve, fosfor och kalium från åker. <i>Losses of nitrogen, phosphorus and potassium from arable land.</i>
5	1979	Gunnar Fryk och Sven-Åke Heinemo. Självrening av lakvatten från kompost på sand och mo. <i>Self-purification of leachate from compost on sand and fine sand.</i> Nils Brink. Växtnäringsförluster från skogsmark. <i>Losses of Nutrients from Forests.</i> Nils Brink. Utlakning av kväve från agroekosystem. <i>Leaching of Nitrogen from Agro-Ecosystems.</i> Nils Brink. Ytvatten, grundvatten och vattenförsörjningen.

DISTRIBUTION:

Pris: 15:-

Sveriges lantbruksuniversitet
Avdelningen för vattenvård
750 07 UPPSALA, Sweden

tel 018-10 20 00 ankn 2460