

Sur nedbør — sur jord — surt vann

Av Arne O. Stuanes

Arne O. Stuanes er forsker ved Norsk institutt for skogforskning.

*Innlegg holdt på kollokvium
Norsk Vannforening 20. oktober 1980.*

Innledning

Sammen med opphavsmaterialet, topografien, organismene og tiden er klimaet bestemmende for i hvilken retning dannelsen av et jordsmonn skal gå. Samspeilet mellom disse faktorene har ført til at vi her i landet overveiende har fått sure jordsmonn. Sur nedbør kan virke inn på jordsmonndannelsen ved at nedbøren har fått en annen kjemisk sammensetning, mens de to andre klimafaktorene, nedbørmengden og temperaturen, er uforandret.

Utvasking

Utvaskingen fra jord bestemmes i stor grad av nedbørmengden, vegetasjonen og mengden av mobile anioner i jorda (Nye & Greenland 1960, Cole & Gessel 1965). I tillegg kommer virkninger av faktorer som temperatur, jordas innhold av ombyttbare kationer, infiltrasjonshastighet osv.

Plantenes næringsopptak fører til redusert utvasking av næringsstoffer. Dette er spesielt tilfelle for næringsstoffer i minimum, f.eks. nitrogen. I diskusjoner om utvasking er ofte kationer og anioner behandlet hver for seg, selv om de må vaskes ut i ekvivalente mengder for å opprettholde elektrisk nøytralitet. Cole et al. (1975) satte opp følgende betingelser

for å få utvasking av plantenæringsstoffer fra jord:

1. Det må finnes utbyttbare elementer
2. Det må være tilstede H^+ samt mobile anion.

Bikarbonat regnes for å være det dominerende mobile anion i lite sure jordsmonn i varme og tempererte strøk og også dypere i profiler fra kjøligere områder. Nødvendige betingelser er tilstrekkelig høyt CO_2 -trykk og pH høyere enn 4,5. Organiske syrer er generelt aktive i den kjøligere del av de tempererte områdene og i arktisk og alpin jord. Sulfat har betydning i enkelte jordsmonntyper og der den atmosfæriske avsetning er stor.

I motsetning til bikarbonat, vil ioner som sulfat og fosfat, kunne få en sterk nedsatt mobilitet på grunn av adsorpsjon.

lonebytte

I en sur jord er det overvekt av sure komponenter adsorbent til jordpartikkelenes negative overskuddsladninger i motsetning til i en nøytral jord.

I jorda vil det tilstrebes en likevekt mellom de utbyttbare ionene i den faste fasen og ionene i væskefasen. Hvilke ioner som byttes ut, vil avhenge av sammensetningen i begge fasene. Endringer i nedbørkvaliteten vil derfor også virke inn på begge fasene.

Oppmerksomheten har blitt rettet mot utvaskingen av Na, K, Mg, og Ca ved at disse kan byttes ut med H⁺ fra nedbøren og føre til et surere og mindre næringsrikt jordsmonn.

Ser vi på sammensetningen av de utbyttable ionene i en sur og en nøytral jord, er det rimelig at «basekationene» ikke lar seg bytte ut like lett i de to jordtypene. H⁺-ionets evne til å bytte ut «ba-

sekationer» er av Wiklander & Anderson (1972) uttrykt som forholdet $\frac{\Delta M}{\Delta H}$ hvor ΔM står for summen av Na, K, Mg og Ca.

Forholdet $\frac{\Delta M}{\Delta H}$ er 1 i nøytral jord, mens det er <1 i sur jord. Wiklander (1980) har satt opp den forsurende effekten av nedbøren på jord og vann som vist i tabell 1.

Tabell 1. Forsurende effekt av nedbøren på jord og vann (Wiklander 1980).

Jord pH	$\frac{\Delta M}{\Delta H}$	Effekt på	
		Jord	Vann
8	1	Ingen — liten	Ingen
7	1	Buffering	Ingen
6	1	Buffering	Ingen
5	<1	Sterk	Liten
4	<1	Middels — liten	Økende
3	<<1	Svært liten	Økende

Ut fra Wiklanders betraktninger skal vi vente størst effekt av sur nedbør på midtels sur jord, mens effekten på sigevannet er størst for svært sur jord. Imidlertid gir disse jordsmonn allerede svært sur avrenning på grunn av den syreproduksjonen som har gitt opphavet til disse jordsmonntypene.

Nå må vi ikke glemme at nedbøren også inneholder «basekationer» slik at en utbytting mellom disse og H⁺(Al) på jordpartiklene kan finne sted, noe som fører til økt basemetning i jorda og en surere avrenning. Denne effekten er størst i svært sur jord (Wiklander 1975).

Rosenqvist (1977) har i sin argumentasjon i tillegg til ionebyttereaksjoner diskutert betydningen av naturlig produksjon

av syrer, forvitring, redoks, osv. for surheten i vann og vassdrag.

Beregnet effekt av økt sulfatinhold i nedbøren

Tar vi utgangspunkt i den antatte endringen i nedbørens sulfatinhold, kan den tilsvarende pH-senkningen i nedbørfeltene beregnes. Slike beregninger er basert på bestemte forutsetninger og er selvfølgelig usikre, men vi mener likevel de kan gi begrep om størrelsesorden. Abrahamson & Stuanes (manuskript) forutsatte at 1) sulfatinholdet i avrenningen var lik sulfatinholdet i nedbøren, og 2) at sulfatinholdet i avrenningen var lik null. Dette gav med et antatt førindustrielt sulfatin-

hold i nedbøren på $6 \mu\text{el}^{-1}$, en endring av størrelsesorden på henholdsvis 0,3 og 0,5 pH-enheter for et minifelt og en bekk i Nissedalsheiene. Seip (1980) som utførte samme type beregning med litt andre forutsetninger, angir endringer i størrelsesorden på minst 0,5 og muligens opp til 1 pH-enhet, altså f.eks. fra 5,5 til mellom 5 og 4,5.

Ekspirimeter og undersøkelser

På bakgrunn av disse teorier har vi utført noen eksperimenter. Vår hypotese var at redusert innhold av mobile anioner i nedbøren ville føre til mindre utvasking og høyere pH i avrenningen fra sur jord hvor de dominerende kationer er H^+ og Al (Abrahamsen & Stuanes 1980).

For å undersøke om hypotesen var riktig, tok vi uforstyrret jord fra Nissedalsheiene som ble brukt i et lysimeterforsøk. Vegetasjonen var dominert av henholdsvis røsslyng og blåtopp. pH i jorda fra blåtopp var rundt 4,5 og fra røsslyng rundt 4,0. Lysimeterne ble vannet med «normal» nedbør, pH 5,3, og «sur» nedbør, pH 4,3. Bortsett fra H^+ , NH_4 , NO_3 og SO_4 var elektrolyttinnholdet det samme. Det første året ble årsnedbøren på 1350 mm tilført med like mengder hver uke, mens tilførselen det andre året fulgte den naturlige ukesvise fordeling både med hensyn på mengde og pH.

Få uker etter begynt vanning var forskjellen i sulfatkonsentrasjonen i avløpet lik forskjellen mellom «regnkvalitetene» ($22 \mu\text{M}$). Denne forskjellen ble opprettholdt det første året. Imidlertid ble avrenningsforløpet mer variabelt i perioden med episodisk tilførsel. Spesielt gav frost og tørkeperioder utslag. Avrenningen fra røsslynglysimerne hadde en pH på mellom 4,5 og 3,6. Blåtopplysimerne gav en mindre sur avrenning, pH varierte mellom

5,5 og 4,4. Forskjellen i «nedbørkvalitet» gav en forskjell i avrenningen som vanligvis var mindre enn 0,1 pH-enhet, men noen ganger omkring 0,2 pH-enheter.

På tross av betydelige forskjeller i SO_4 -utvasking mellom behandlingene var mengden $\text{H}^+ + \text{Al}$ i avrenningen ikke særlig påvirket av surheten i nedbøren i blåtopplysimerne. Kationene som ble påvirket av behandlingen og forårsaket buftringen av sigevannet var K, Mg, NH_4 og i mindre grad Ca. Imidlertid ble innholdet av $\text{H}^+ + \text{Al}$ i avrenningen fra røsslynglysimerne påvirket av surheten i nedbøren. Regresjonen mellom $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ og SO_4 -i avrenningen fra disse lysimerne viser at en reduksjon i sulfatutvasking på $54 \mu\text{el}^{-1}$ (nåværende sulfatinnhold minus førindustrielt sulfatinnhold i nedbøren) ville gi en reduksjon av $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ i avrenningen på 21 til $29 \mu\text{el}^{-1}$. Aluminium er regnet som treverdige, noe som utvilsomt ikke er riktig. En lavere valens ville gitt mindre endring (Abrahamsen & Stuanes 1980). Dette viser at selv om mobil-anion-teorien utvilsomt er riktig, er det som skjer i jord alt for komplekst til å la seg forklare bare ut fra en teori. Innvendingen mot disse lysimeterforsøkene er kanteffekter, kunstig miljø, kunstig vanning og nedbør med kvalitet som for Birkenes. I tillegg har det blitt reist innvending mot å bruke jord som var blitt utsatt for sur nedbør i lang tid. Det ble derfor utført samme type forsøk med lignende jord fra Todalen på Nordmøre hvor nedbøren ikke er sur. Resultatene fra disse forsøkene er ikke bearbeidet ennå, men de foreløpige resultatene går i samme retning som for lysimerne fra Nissedal.

Høsten 1977 ble det anlagt såkalte minifelt i Nissedalsheiene for å studere avrenningen fra mer veldefinerte områder under høstepisodene og snøsmeltingen

(Seip et al. 1979 a, 1980 a). Disse feltene er fra 30 til 264 m² store med en andel av bart fjell på 46 til 74%. Vi skal se nærmere på felt 6 som er 98 m² med 61% bart fjell og 8,5% åpent vann nær utløpet. pH i nedbøren i den første høstepisoden som ble studert, varierte fra 4,2 til 5,1 mens pH i avrenningen varierte fra 4,2 til 4,4. Det var god korrelasjon mellom jord-pH og pH i avrenningen (Seip et al. 1979 a).

For å se effekten av større pH-variasjoner i tilført «nedbør», utførte Seip et al. (1979 b) et vanningsforsøk i et tilgrensende felt med to avløp. pH i tilført «nedbør» var 5,1 og 3,8, mens pH i avrenningen fra utløp 1 varierte fra 4,1 til 4,5 og i utløp 2 fra 4,0 til 4,3. Det ble vannet med intensitet 10 mm pr. time, men tilført mengde pr. time tilsvarte 5 mm. Høsten 1980 ble felt 6 som tidligere er omtalt, tilført «nedbør» med pH rundt 5. «Nedbøren» ble tilført med en intensitet på 5 mm pr. time i 5 dager pr. uke i 3 1/2 uke. Det ble totalt tilført 610 mm og avrenningen var 500 mm. pH i avrenningen varierte mellom 4,3 og 4,6 uten klar sammenheng med nedbørkvaliteten (Christophersen, Stuanes & Wright, under bearbeiding). Lysimetre med uforstyrret podsoljordsmonn tilført grunnvann forsuret med H₂SO₄ og som var i drift 1974-78, viser heller ingen store effekter på sigevannet for tilførte løsninger med pH

over 3. Bare omtrent 2% av tilført H⁺ for pH²-behandlingen ble funnet igjen i avrenningen (Abrahamsen 1980).

Også snøsmeltingsundersøkelser i minifeltene har vist at effekten av jord og vegetasjon er betydelig også under denne fasen (Seip et al. 1980 a). Etter forslag fra Rosenqvist ble snøen i et minifelt tilsatt NaOH ekvivalent med H⁺-innholdet i snøen. Det var liten forskjell i pH i avrenningen i 1978 uten NaOH og i 1979 med NaOH (Seip et al. 1980 b).

Konklusjon

Et nedbørfelt består av en mosaikk av vegetasjons- og jordtyper, og vi vet ikke hvordan de enkelte deler påvirker vannkvaliteten. Det er imidlertid enighet blant jordforskere om at de største effekter av sur nedbør kan ventes fra sure jordsmonn. De refererte undersøkelser viser at avrenningen fra disse sure og grunne jordsmonn neppe har blitt surere enn tilsvarende 0,1—0,4 pH-enheter på grunn av endret nedbørkvalitet. Dette er endringer i samme størrelsesorden som også hevdet av Rosenqvist (1980). Når det derfor har vært antydning endringer i vannkvaliteten på opp til en til pH-enheter på grunn av sur nedbør (Seip & Tollan 1978, Wright & Gjessing 1976), er det vanskelig å forstå ut fra forsøk og jordkjemiske betraktninger.

LITTERATUR

- Abrahamsen, G., 1980, Effects of acid precipitation on soil and forest, 4. Leaching of plant nutrients. Proc., Int. conf. ecol. impact, acid precip., Norway 1980, SNSF-project (i trykk).
- Abrahamsen, G. & A. O. Stuanes, 1980, Effects of simulated rain on the effluent from lysimeters with acid soil rich in organic matter. Proc., Int. conf. ecol. impact, acid precip., Norway 1980, SNSF-project (i trykk).

- Cole, D. W. & S. P. Gessel, 1965, Movement of elements through a forest soil as influenced by tree removal and fertilizer additions. In C. T. Youngberg: Forest-soil relationships in North America, Oregon State University Press, Corvallis. s. 95—104.*
- Cole, D. W., W. J. B. Crane & C. C. Grier, 1975, The effect of forest management practices on water chemistry in a second-growth Douglas fir ecosystem. In B. Bernier & C. H. Winget: Forest Soils and Forest Land Management. Proceedings of the Fourth North America Forest Soils Conference, Québec. s. 195—207.*
- Nye, P. H. & D. J. Greenland, 1960, The soil under shifting cultivation. Commonw. Bur. of Soils. Tech. Comm. No 51. 156 s.*
- Rosenqvist, I. Th., 1977, Sur jord — surt vann. Ingeniørforlaget A/S, Oslo. 123 s.*
- Rosenqvist, I. Th., 1980, Influence of forest vegetation and agriculture on the acidity of fresh water. In J. R. Pfafflin & E. N. Ziegler: Advances in Environmental Science and Engineering. Gordon and Breach Science Publ. s. 56—79.*
- Seip, H. M., 1980, Acidification of freshwater — sources and mechanisms. Proc., Int. conf. ecol. impact, acid precip., Norway 1980, SNSF-project (i trykk).*
- Seip, H. M., G. Abrahamsen, E. T. Gjessing — A. Stuanes, 1979 a, Studies of soil-precipitation- and run-off chemistry in six small natural plots («mini-catchments»). SNSF-project IR 46/79, 62 s.*
- Seip, H. M., G. Abrahamsen, N. Christophersen, E. T. Gjessing & A. O. Stuanes, 1980a, Snow and meltwater chemistry in minicatchments. SNSF-project IR 53/80, 51 s.*
- Seip, H. M., S. Andersen & B. Halsvik, 1980 b, Snowmelt studied in a minicatchment with neutralized snow. SNSF-project IR 65/80, 20 s.*
- Seip, H. M., E. T. Gjessing & H. Kamben, 1979 b, Importance of the composition of the precipitation for the pH in runoff-experiments with artificial precipitation on partly soil-covered «mini-catchments». SNSF-project IR 47/79, 34 s.*
- Seip, H. M. & A. Tollan, 1978, Acid precipitation and other possible sources for acidification of rivers and lakes. Sci. Total Environ., 10: 253—270.*
- Wiklander, L., 1975, The role of neutral salts in the ion exchange between acid precipitation and soil. Geoderma, 14: 93—105.*
- Wiklander, L., 1980, The sensitivity of soils to acid precipitation. In T. C. Hutchinson & M. Havas: Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystems. Nato Conference Series, Series I: Ecology, Volume 4: 553—567.*
- Wiklander, L. & A. Andersson, 1972, The replacing efficiency of hydrogen ion in relation to base saturation and pH. Geoderma, 7: 159—165.*
- Wright, R. F. & E. T. Gjessing, 1976, Changes in the chemical composition of lakes. Ambio 5: 219—223.*