



MEDELELSER

FRA

DET NORSKE MYRSELSKAP

Nr. 1

Februar 1976

74. årg.

Redigert av Ole Lie

NOEN ÅRSAKER TIL pH-VARIASJONER I AVRENNINGSVANN FRA UDYRKET SUR JORD

Variations in pH of run-off water from uncultivated acid soil

Av

M. Ødelien¹, A. R. Selmer-Olsen² og I. Haddeland³

Som tillegg til denne artikkelen gir *G. Semb* en oversikt over jordbunnsforhold og vegetasjon innen det aktuelle arealet (s. 18).

INNLEDNING

I flere tidligere tidsskriftartikler har forfatterne drøftet forskjellige årsaker til vannets pH-variasjoner i elver og innsjøer, særlig virkningene av jordbunnsforholdene, og med spesielt sikte på forholdene i Agderfylkene og deler av Rogaland (10—13).

I denne artikkelen bygger vi mest på undersøkelser somrene 1973-75 i og omkring en bekk som munner ut i tjernet Vesle Vannavatn i Hå kommune i Rogaland.

I de foregående artikler har vi henvist til mindre utvalg av publikasjoner fra den store litteraturmassen som er av interesse i samband med det ovenfor nevnte problemkomplekset. Her skal vi i korthet nevne noen få andre.

Wiklander har nylig publisert to arbeider om virkningene av sur nedbør på jorda (7,8). *Husen* (3) har drøftet eksempler på meget sterk stigning i sulfatkonsentrasjonen og også markant økt jerninnhold i vann fra myrarealer etter senkning av grunnvannstanden. Vannet fikk ikke surere reaksjon, fordi mineralmaterialet under torvmassene innen de aktuelle arealer var rikt på kalsiumkarbonat. I en oversikt over resultater

¹ Institutt for jordkultur, 1432 Ås - NLH.

² Kjemisk analyselaboratorium, 1432 Ås - NLH.

³ Hå jordstyre, 4360 Varhaug.

av utførte pH-bestemmelser i elvevann fra de sørligste landsdeler i Norge tilbake til midten av 1920-åra har *Snekvik* og *Sivertsen* henledet oppmerksomheten på meget høye tall i en tørr og varm periode sommeren 1935 i 5-6 Sørlands-elver, og for den tid uvanlig lave tall ved flom like etter tørkeperioden (6). Differansen mellom de høye og lave tallene varierte fra ca. 0,8 til ca. 1,8 pH-enheter (i intervallet ca. 4,5 - ca. 6,5). *Snekvik* har ellers i en tidligere publikasjon (6b) nevnt eksempler på forskjell i elvevannets surhetsgrad i tørre perioder og ved flom. Slikt materiale finnes dessverre praktisk talt ikke fra de utpreget tørre somrene 1947, 1955 og 1959. *Kelley* (4) nevner et ekstremt eksempel på store årlige pH-variasjoner ved særlig store endringer i red/oks-forholdene i varmt klima. Innen et deltaområde i Sør-India varierer jordas pH mellom ca. 3 den tørre årstid og ca. 7 når jorda står under vann i regntida.

Nedbørens og elvevannets kjemiske egenskaper og forskjellen mellom de to kan variere sterkt. Her interesserer vi oss særlig for årsakene til forskjellen mellom de to vannkategorier og for variasjonene i noen viktige karaktertrekk ved avløpsvannet en del av den årstida da nedbøren kommer som regn på telefri jord.

Regn som faller over åpent vann eller renner til avløpene over fast fjell, gir i helt eller meget nær uendret tilstand sitt bidrag til vannets kjemiske egenskaper i bekker, elver og innsjøer. Regnvann som penetrerer større eller mindre uorganiske eller organiske løsmasser, er derimot i forskjellig grad gjenstand for endringer før det når fram til avløpene.

Saltkonsentrasjonen tiltar, dels som følge av evapotranspirasjonen og dels ved utvasking fra løsmassene. Under ellers noenlunde like forhold avgir materiale med større innhold av vannløselig salt og/eller ombyttbare ioner mest til vannet, sterkt utvaskede masser mindre. Det materiale som vaskes ut, inneholder både basiske og sure komponenter. Av betydning i denne forbindelse er særlig Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ , SO_4^{2-} og NO_3^- . Omsetninger av jernforbindelser, utvasking av humussyrer, i sterkt sur jord også av aluminium, kan ha betydning. Forholdet mellom basiske og sure forbindelser er avgjørende for endringene i vannets pH når det passerer løsmassene. Slik fjellgrunnen og jordbunnsforholdene er i storparten av Agder-fylkene og deler av Rogaland, må Ca^{2+} og SO_4^{2-} antas å være særlig viktige for vannets pH når det når fram til avløpene. Løsmassenes virkning på elvevannets pH og andre kjemiske egenskaper varierer naturligvis sterkt *fra sted til sted* og må også kunne være forskjellig for *ulike profillag*. Virkningen beror heller ikke bare på løsmassenes statiske egenskaper, men også på dynamiske forhold, som kan være årsak til variasjon *fra tid til tid*. Red/oks-prosesser i løsmassene kan spille en vesentlig rolle. Ved svoveloksydasjon og nitrifikasjon, ved oksydasjon av Fe(II) til Fe(III) med påfølgende utfelling av ferrihydrok-syd og ved oksydasjon av Mn(II) til Mn(IV) forskyves pH i sur retning hvis ikke den større hydrogenionekonsentrasjon oppveies ved frigjøring av basiske eller mindre sure stoffer fra jorda. De motsvarende reduksjons-prosesser resulterer i høyere pH. I sterkt sur, ugjødslet jord kan en se bort fra nitrifikasjon og nitratreduksjon. Mangan spiller vanlig en under-

ordnet rolle. Her interesserer vi oss særlig for *svoveloksydasjon*. Temporær eller permanent senkning av grunnvannstanden endrer miljøet i mindre eller større løsmasser fra overveiende anaerobt til overveiende aerobt. Dette fører til at oksygenfrie og oksygenfattige svovelforbindelser og svovel fra nedbrutt organisk materiale blir oksydert til sulfat ved biologiske og kjemiske prosesser. Omfanget av slike prosesser må veksle med innholdet av lett oksyderbare svovelforbindelser i de aktuelle løsmasser, med grunnvannssenkningens størrelse og varighet, temperaturen, pH m.m. (3, 5, 9, 11, 12, 13).

Løsmassenes virkning på avløpsvannets kjemiske egenskaper varierer ellers også med *avrenningen*. Ved liten vannføring i avløpene kommer vannet mest fra djupere jordlag. Det har hatt god kontakt med materiale som stort sett er mindre utvasket enn overliggende lag, og som på sine steder også i noen grad kan være preget av anaerobe forhold. Ved stor avrenning strømmer vannet raskere gjennom løsmaterialet. Det følger fortrinnsvis større vannveier og kommer som helhet i mindre kontakt med jorda. Det siste gjelder i høyeste grad vann som renner bort på overflaten. Vannet i avløpene må altså under ellers like forhold være mindre preget av løsmaterialet ved stor enn ved liten avrenning. Men for enkelte stoffer og under visse forhold kan det være omvendt. Tilføring av svovel fra atmosfæren med og uten nedbørens formidling i perioder med lite nedbør kan bidra betydelig til akkumulering av sulfat i jorda og midlertidig større sulfatutvasking når avrenningen igjen blir større.

Det bør tilføyes at de prosesser som er avgjørende for endringene av vannets pH og andre kjemiske egenskaper, i virkeligheten er langt mer kompliserte enn skissert her (7-8).

TERRENG OG JORDBUNNSFORHOLD

Vesle Vannavatn ligger i et noe kupert morenelandskap. Avrenningsarealet er etter kartet ca. 26 hektar for bekken og ca. 37 hektar for tjernet regnet ved utløpet. H.o.h. er ca. 240 - ca. 300 m og korteste avstand til havet 7,5-8 km i sørvestlig retning.

Om jordbunnsforhold og vegetasjon viser vi til *G. Semb's* oversikt s. 18. Det kan tilføyes at tidligere analyser av torv fra et myrareal nær bekkens innløp i tjernet viste pH ca. 4,5, ca. 0,7% S og ca. 0,3% Ca i tørrstoffet

og $\frac{N}{S}$ -kvotient nær 3 i det øverste 20 cm's laget. Tallene endret seg

sterkt nedover i torvprofilen til pH 6, 1,6% S og 1,4% Ca og $\frac{N}{S}$ -

kvotient 1,0 i ca. 2,5 m's dybde (11). For den djupe myr nr. 2 i tabellen s. 19 finner en lignende, men mindre endringer nedover i

profilen. Her avtar $\frac{N}{S}$ -kvotienten fra 6,6 i det øvre laget til 1,7 i

3,7–4 m's dybde. Bortsett fra prøvene i de djupere eller djupeste lag i disse to myrene viser ikke analysene stort svovelinnhold.

For fullstendighets skyld gjengis fra en tidligere publikasjon (9) noen pH-tall for mineraljord i høyere terreng innen feltet:

	Under lyngvegetasjon	Under grasvegetasjon
0–20 cm, pH	4,4 – 4,6	4,6 – 4,8
20–50 cm, pH	4,8 – 5,1	4,9 – 5,5

MATERIALE

Vannprøvene er tatt 3 steder i den nedre ca. 680 m lange delen av en nesten 1 km lang bekk som munner ut i Vesle Vannavatn, og i utløpet fra tjernet. Prøvene er dels tatt ved liten vannføring i noe lengre perioder med relativt lite regn vår, sommer og tidlig høst, og dels ved større vannføring eller flom i bekken på tidspunkter med ubetydelig overflatevann etter slike værperioder.

Norsk institutt for luftforskning (NILU) har stilt til disposisjon et større tallmateriale fra nedbørmålinger og daglige kjemiske analyser av nedbøren ved observasjonsstasjonen Søyland i Gjesdal. Søyland ligger ca. 15 km NNV for Vesle Vannavatn. H.o.h. er 263 m på Søyland ca. 240–ca. 300 m for avrenningsområdet til bekken og 300–400 m for storparten av det mellomliggende areal. Dessverre ble observasjonsstasjonen Søyland nedlagt i midten av juli 1975. Meteorologisk Institutt har fortsatt nedbørmålingene der som før.

Til støtte for vurdering av avrenningen har Institutt for hydroteknikk ved NLH stilt til rådighet resultatene fra kontinuerlige avrenningsmålinger for et 66 hektar stort areal på Elgane. Feltet ligger ca. 2,5 km fra Vesle Vannavatn i retning NV. Det har vesentlig mineraljord, er grøftet og nesten i sin helhet dyrket.

RESULTATER

Oversikt

Tabell 1 er en kronologisk ordnet sammenstilling av analyseresultatene for vannprøvene. Bokstavene (a) – (d) betegner stedene der prøvene ble tatt (se kartskissen s. 21):

- (a) i bekken ca. 680 m fra tjernet,
- (b) » » » 130 » » » ,
- (c) » » » 40 » » » ,
- (d) i utløpet fra tjernet.

Vannprøvene fra 1974 og 1975 viste fra 0,7 til 1,8 mg Mg/l. Innholdet var minst ved (a) og større ved liten enn ved stor vannføring. Mg må antas å komme dels fra jorda og dels med nedbøren.

Tallene for $\text{SO}_4\text{-S}$ i nedbøren er veide middeltall for minst 2 og aldri mer enn 5 døgn før vannprøvene fra bekken ble tatt. I enkelte tilfeller med særlig stort svovelinnhold den første regndagen er denne utelatt ved middeltallberegningen. Da er nemlig innholdet sannsynligvis noe preget av tørt nedfall på regnmåleren av svovel som ellers har slått seg ned på plantevekst og jord før det tok til å regne. Dette gjelder imidlertid oftest små regnmengder og har bare nevneverdig betydning for middeltallet i ett tilfelle (18.9.74).

Også pH-tallene for regnvannet i tabellen er veide middelverdier, beregnet via hydrogenionekonsentrasjonen.

Tidsvariasjon og stedsvariasjon

Tabell 1 viser at pH varierer i intervallet 4,4–7,2. Tallsammenstillingen nedenfor angir de *maksimale* variasjonene av pH og innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ og Ca ulike steder på samme tid og på ett og samme sted til forskjellig tid:

	Ulike steder, samme tid	Forskjellig tid, samme sted			
	(a) – (d)	(a)	(b)	(c)	(d)
pH	5,4–6,9	4,6–6,7	5,1–7,1	5,0–7,2	5,5–6,8
$\text{SO}_4\text{-S}$, mg/l	3,2–4,5	1,2–4,5	1,0–3,5	1,0–3,8	1,5–3,2
Ca »	1,4–3,1	1,1–2,6	1,3–3,2	1,3–3,5	1,2–1,6

De daglige pH bestemmelsene i nedbør på Søyland viser variasjoner fra < 4 til ca. 7 med vanlig intervall fra ca. 4,2 til overkant av 5 ved større regnfall.

I tabell 2 er analyseresultatene for bekkevannet gruppert etter nedbør og vannføring:

- Gr. I. Liten vannføring i noe lengre, relativt regnfattige perioder. Prøvene tatt 28.6.73, 9.7.73, 29.8.73, 6.4.74, 19.7.74, 1.9.74, 26.6.75 og 12.7.75.
- Gr. II. Mindre eller moderat økt vannføring kort tid *etter* regnfattige perioder: 8.8.73, 29.5.74, 7.6.74, 16.7.75, og 9.9.75.
- Gr. III. Flom kort tid *etter* regnfattige perioder: 29.9.73, 6.9.74, 18.9.74, 23.7.75, 16.9.75 og 26.9.75.

I Gr. I er vannet preget av lite sulfatinnhold og stort Ca-innhold.

Kvotienten $\frac{\text{Ca}}{\text{SO}_4\text{-S}}$ er altså stor, og pH-tallene er forholdsvis høye. I Gr.

II med noe økt vannføring etter regnfattige perioder stiger innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ sterkt, mens Ca-innholdet endres relativt lite. Kvotienten

$\frac{\text{Ca}}{\text{SO}_4\text{-S}}$ går betydelig ned, og vannet blir surere. I Gr. III med prøver

	18.9.74				4.6.75				26.6.75				12.7.75			
(a)	5,0	1,4	1,1	0,24	5,8	1,9	1,8	0,21	5,6	1,2	2,0	0,29	5,4	1,5	1,4	0,70
(b)	5,6	1,2	1,6	0,08	6,4	2,0	2,0	0,13	6,7	1,0	2,8	0,15	6,9	1,0	3,1	(1,60)
(c)	5,7	1,6	1,6	0,25	6,2	2,4	2,4	0,21	6,3	1,2	2,5	0,25	6,4	1,0	3,1	0,29
(d)	6,4	1,5	1,9	0,17	6,3	1,7	1,7	0,17	6,4	1,6	1,7	0,20	6,5	1,4	1,9	0,20
Regnvann	4,33	0,81*														
	16.7.75				23.7.75				9.9.75				16.9.75			
(a)	5,8	2,3	1,8	0,59	4,5	4,5	1,5	(1,32)	5,1	2,8	2,2	0,87	5,2	2,5	2,1	0,56
(b)	6,5	2,3	2,8	0,22	5,4	3,2	1,5	0,17	5,8	2,3	2,5	0,34	5,8	2,2	2,1	0,28
(c)	6,3	2,3	2,8	0,39	5,4	3,8	1,8	0,24	5,6	2,7	2,6	0,54	5,5	2,5	2,2	0,48
(d)	6,5	2,0	2,1	0,35	5,9	3,2	2,0	0,29	6,3	1,7	2,6	(1,47)	6,3	1,7	2,5	0,48
Regnvann ...	4,15	0,84														
	26.9.75															
(a)	4,6	2,0	1,1	0,19												
(b)	5,1	1,8	1,3	0,02												
(c)	5,0	2,0	1,3	0,13												
(d)	5,9	2,6	1,7	0,20												

* Midd. for 3 degn 1,14.

Tabell 2. Analyseresultatene gruppert etter vannføringen.

	Gr. I. Torr periode — liten vannføring			Gr. II. Moderat vannføring etter torr periode			Gr. III. Flom etter tørr periode					
	pH	SO ₄ -S	Ca	Fe	pH	SO ₄ -S	Ca	Fe	pH	SO ₄ -S	Ca	Fe
(a) M	5,8	1,5	1,9	0,81	5,6	2,6	2,2	0,27	4,8	2,3	1,4	0,30
Min.	5,4	1,2	1,7	0,29	5,1	2,2	1,7	0,11	4,5	1,4	1,1	0,19
Maks.	6,7	2,2	2,3	0,88	5,9	3,3	2,6	0,87	5,2	4,5	2,5	0,56
Ca M ...		1,27				0,85				0,61		
(b) M	6,8	1,2	2,6	0,17	6,1	2,4	2,6	0,25	5,5	2,0	1,6	0,15
Min.	6,7	1,0	1,6	0,05	5,7	2,2	1,9	0,12	5,1	1,2	1,3	0,02
Maks.	7,1	1,5	3,1	0,52	6,5	2,8	3,5	0,34	5,8	3,2	2,1	0,28
Ca M ...		2,17				1,08				0,80		
(c) M	6,6	1,3	2,7	0,17	5,9	2,7	2,6	0,28	5,4	2,2	1,7	0,26
Min.	6,3	1,0	1,7	0,07	5,6	2,3	1,8	0,11	5,0	1,6	1,3	0,13
Maks.	7,2	1,6	3,1	0,29	6,3	3,0	3,5	0,54	5,7	3,2	1,8	0,48
Ca M ...		2,08				0,96				0,77		
(d) M	6,6	1,6	2,1	0,16	6,3	2,1	2,3	0,21	6,0	2,2	1,9	0,25
Min.	6,4	1,3	1,6	0,06	6,0	1,7	1,7	0,09	5,5	1,5	1,2	0,17
Maks.	6,8	2,0	2,7	0,27	6,7	2,5	2,6	0,35	6,3	3,2	2,5	0,48
Ca M ...		1,31				1,00				0,87		

M = middel

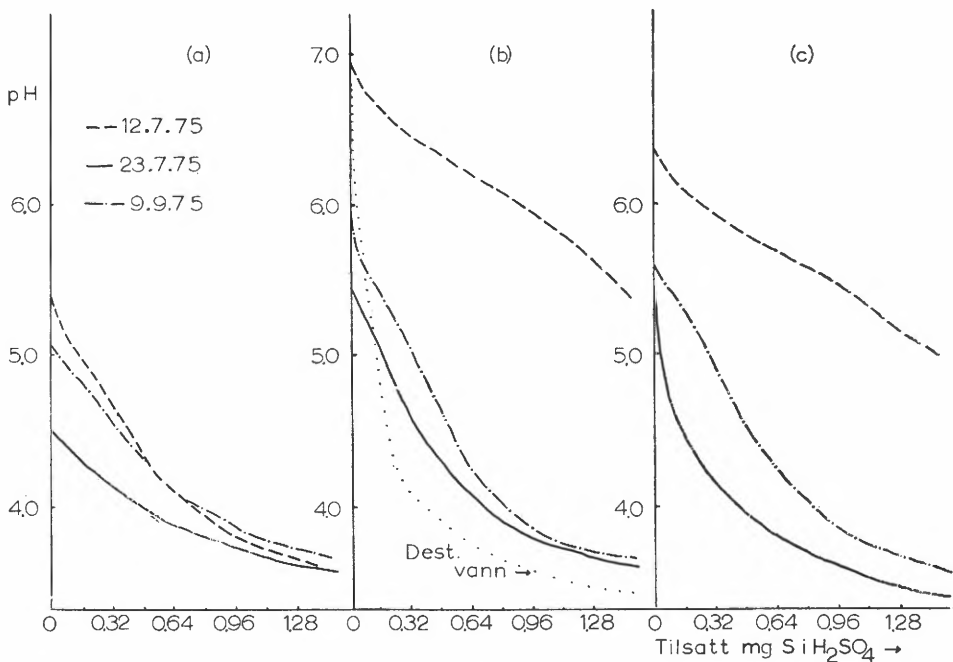
tatt ved flom i bekken er innholdet av sulfat-S ofte noe mindre enn i Gr. II, men større enn i Gr. I. Ca-innholdet er vesentlig mindre enn i de andre gruppene, kvotienten $\frac{\text{Ca}}{\text{SO}_4\text{-S}}$ er også mindre, og vannet er sterkere surt.

Ved jmføring av tallene for stedene (a) – (c) viser det seg at sulfat-innholdet avtar fra (a) til (b), men stort sett tiltar igjen fra (b) til (c), det siste tydeligst i Gr. II og III. Ca-innholdet er vanlig minst ved (a) og i

middel omtrent likt for (b) og (c). Kvotienten $\frac{\text{Ca}}{\text{SO}_4\text{-S}}$ og pH viser stigning fra (a) til (b) og en svak, men gjennomgående tendens til å avta igjen fra (b) til (c). Ved utløpet fra tjernet (d) er variasjonene betydelig mindre enn i bekken, enda avstanden mellom innløpet og utløpet er bare ca. 65 meter.

For hele tallmaterialet i tab. 1 finner en følgende r-verdier for korrelasjonen med pH: For $\text{SO}_4\text{-S}$ – 0,48***, Ca 0,69*** og for kvotienten

$$\frac{\text{Ca}}{\text{SO}_4\text{-S}} \quad 0,75***.$$



500 ml prøver fra (a), (b) og (c) titrert med 0,01 N H_2SO_4 . Vannføring 12.7.75 liten, 9.9.75 moderat, 23.7.75 stor.

En rekke vannprøver ble titrert med 0,01 N H₂SO₄. Titreringskurvene s. 9 viser noen eksempler på pH-endringene ved tilsetning av stigende syremengder til vannprøver fra (a) – (c) ved ulik vannføring. Syretilsetningen senker pH forholdsvis mer ved større enn ved liten vannføring. Mest markert er dette ved (b) og (c).

Som bidrag til grunnlaget for diskusjonen av årsaksforholdet bak variasjonen i bekkevannets pH og andre kjemiske egenskaper gir vi nedenfor nærmere opplysninger om forholdene på de tidspunktene vannprøvene ble tatt, og kortere eller lengre tid forut.

Om gruppe I i tab. 2 kan det her være nok å nevne at innholdet av sulfat er minst og av Ca størst i to tilfeller med særlig liten vannføring (1.9.74, 12.7.75).

For å få et bilde av endringene i vannets pH og innholdet av sulfat og kalsium ved mer eller mindre økt vannføring etter relativt tørre værperioder (Gr. II og III), er det naturlig å jamføre med middeltallene for Gr. I. Slik jamføring er dels angitt i teksten og dels overlatt til leseren. I 3 tilfeller skjer jamføringen med analysetall for vannprøver som ble tatt kort tid før regnet kom. Middeltallene for Gr. I er, med konsentrasjonstallene i mg/l:

	pH	SO ₄ -S	Ca	Fe
(a)	5,8	1,5	1,9	0,81
(b)	6,8	1,2	2,6	0,17
(c)	6,6	1,3	2,7	0,17

Ved avrenningstallene fra feltet på Elgane er å merke at de gjelder dyrket og grøftet jord. Avrenningen fra det udyrkede arealet ved Vesle Vannavatn er sikkert vesentlig større den årstid undersøkelsene ble utført.

8.8.73.

Nokså stor vannføring etter 92 mm regn de siste 6 døgn, derav de siste 5 døgn 80 mm med pH 4,22 og 0,52 mg SO₄-S/l som veide middeltall. Bekkevannets pH 5,6–5,7, innholdet av SO₄-S omtrent dobbelt så stort og av Ca ca. 30% mindre enn middel for Gr. I ved (b) og (c). I tida 16.5–3.8. 234 mm regn med i alt 380 g SO₄-S/dekar. Avrenning på Elgane 41 mm.

29.9.73

Flom etter regn de siste 3 døgn, 52 mm med middel pH 4,83 og 0,23 mg SO₄-S/l. Bekkevannets pH 4,9–5,7, innholdet av SO₄-S ca. 30% større og av Ca ca. 40% mindre enn middel ved liten vannføring ved (b) og (c). Regn fra 16.5. til 26.9. 545 mm med 590 g SO₄-S/dekar. Avrenning på Elgane 116 mm.

29.5.74.

Litt økt vannføring etter 42 mm regn de siste 4 døgn. Middel for regnvann pH 5,05 og 0,23 mg SO₄-S/l. Bekkevannets pH 5,9–6,5, innholdet av SO₄-S nær dobbelt så stort og av Ca ca. 40% større enn middel ved liten vannføring ved (b) og (c). Fra 23.3. til 25.5: Regn 22 mm, SO₄-S 50 g/dekar. Avrenning på Elgane 7 mm.

7.6.74.

Betydelig større vannføring enn 29.5. Fra 30.5. til 2.6. 32 mm regn, fra 3.6. til 7.6. 53 mm med middel pH 4,31 og 1,47 mg SO₄-S/l. Bekkevannets pH

5,3–5,6, innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ og Ca ca. 20% større enn 29.5. ved (b) og (c). Fra 23.3. til 2.6. 97 mm regn og 90 g $\text{SO}_4\text{-S}$ /dekar.

6.9.74.

Flom etter 132 mm regn de siste 6 døgn, derav 114 mm med middel pH 4,60 og 0,97 mg $\text{SO}_4\text{-S}$ /l de siste 5 døgn. Bekkevannets pH 4,8–5,3, ved (b) og (c), ca 60% større innhold av $\text{SO}_4\text{-S}$ og 40–50% mindre av Ca enn 1.9. Fra 23.3. til 1.9. 569 mm regn og 510 g $\text{SO}_4\text{-S}$ /dekar. Avrenning 81 mm på Elgane.

18.9.74.

Flom. Regn 7.9.–16.9. 86 mm. 17.9.–18.9. 39 mm med middel pH 4,33 og 0,81 mg $\text{SO}_4\text{-S}$ /l. Bekkevannets pH 5,0–5,7, innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ noe mindre enn 6.9., av Ca omtrent likt.

16.7.75.

Litt økt vannføring etter 19 mm regn de siste to døgn. Regnvannets middel pH 4,15 og 0,84 mg $\text{SO}_4\text{-S}$ /l. Bekkevannets pH 5,8–6,5, innholdet av sulfat-S ca. 50% større ved (a) og mer enn dobbelt så stort som 12.7. ved (b) og (c). Ca-innholdet litt mindre. Fra 3.5. til 14.7. 168 mm regn, 150 g $\text{SO}_4\text{-S}$ /dekar og avrenning på Elgane 34 mm.

23.7.75.

Stor vannføring eller flom etter 50 mm regn de to siste døgn. Bekkevannets pH 4,5–5,4, innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ 3–3,8 ganger større enn 12.7., av Ca omkring halvparten ved (b) og (c). Fra 3.5. til 23.7. 226 mm regn på Søyland, 49 mm avrenning på Elgane.

9.9.75.

Noe økt vannføring etter 39 mm regn de siste 3 døgn. Vannets pH 5,1–5,8, innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ omtrent dobbelt så stort og Ca-innholdet omtrent som middel ved liten vannføring. Regn 3.5.–7.9. 232 mm. Avrenning på Elgane 65 mm.

16.9.75.

Stor vannføring eller flom etter 58 mm regn de siste 7 døgn. Innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ og Ca i vannet litt mindre enn 9.9., pH 5,2–5,8.

26.9.75.

Stor flom. Regn 17.–26.9. 224 mm, derav 126 mm de siste 3 døgn. Vannets innhold av sulfat-S ca. 30% større og Ca omtrent halvparten jamført med middel ved liten vannføring. Fra 3.5. til 26.9. 660 mm regn, derav 345 mm etter 2.9. Avrenning på Elgane etter tur 216 og 155 mm.

DISKUSJON

I mer eller mindre regnfattige værperioder må vannet i bekken komme fra djupere lag i morenemasser og torv, kanskje delvis også fra høyere terreng utenfor det avrenningsområdet en regner med på topografisk grunnlag. Iallfall i den nedre delen av bekken er vannet lite eller ikke preget av sur nedbør og de øvre utpreget sure jordlag, hvor det under slike forhold også kan akkumuleres forbindelser med sur reaksjon. Vannet antas å ha hatt god kontakt med mineralmateriale som er mindre utvasket og mindre surt enn de øvre jordlag. Dette er en plausibel forklaring på at vannet har lite innhold av sulfat, stort innhold av kalsium og svakt sur reaksjon, iallfall ved (b) og (c). Et mindre analysemateriale

fra 1974 og 1975 viser at også magnesiuminnholdet i vannet var forholdsvis stort under slike forhold.

Ved noe større vannføring etter tørre perioder er innholdet av sulfat-S oftest 2–3 ganger større enn middelinholdet ved liten vannføring (Gr. I) og 2–6 ganger større enn i nedbøren de nærmest foregående døgn med regn. Også ved stor eller meget stor avrenning etter tørre perioder er innholdet av sulfat-S større enn når bekken fører lite vann, mens kalsiuminnholdet kan gå helt ned til halvparten.

Et vesentlig mindre Ca-innhold ved stor avrenning enn ved mindre kan oppfattes som uttrykk for at mobiliseringen av Ca^{2+} er utilstrekkelig når store vannmengder strømmer raskt gjennom jorda og fortrinnsvis gjennom de øvre kalkfattige lag.

Det større innhold av sulfat -S i vannet etter tørre perioder kan ikke bare skrive seg fra stort svovelinnhold i den nedbøren som særlig er årsak til større avrenning. Utvaskingen av akkumulert sulfat fra jorda kommer i tillegg.

Tilføringen av svovel med nedbøren kan beregnes kvantitativt etter observasjonsmaterialet fra Søyland. I store trekk må resultatene antas å være gyldige ved Vesle Vannavatn. Tallene omfatter også svovel i tørt nedfall på regnmåleren. Det ligger imidlertid nær å anta at slikt nedfall må være større i marken enn på en glatt flate. Noe mål for svoveloksydasjonen i jorda finnes ikke, men det er velkjente prosesser, som vi vet kan ha svært forskjellig omfang alt etter jordegenskaper og hydrologiske forhold m.v. (4, 5, 11, 12). Svoveltap som H_2S må en kunne se bort fra i tørre perioder, slik forholdene er innen avrenningsområdet. Utvaskingen av sulfat-S er derimot en meget viktig post, som heller ikke kan kvantifiseres på grunnlag av vårt materiale. Den kan bare til en viss grad vurderes skjønnsmessig etter nedbøren og kjennskapet til vannføringen i bekken med støtte i avrenningsmålingene på Elgane, og etter vannets svovelinnhold. En må kunne gå ut fra som sikkert at en større del av det svovel som kommer til jorda med mindre regnmengder, ikke kan bli utvasket så lenge avrenningen er liten eller bare gjenstand for kortvarig økning. Det synes til og med sannsynlig at akkumuleringen i de øvre jordlag i tørre værperioder er større enn summen av tilført svovel fra atmosfæren og sulfatproduksjonen i jorda minus bortført sulfat med avrenningsvannet. Bekkevannet inneholder nemlig ikke ubetydelig sulfat også ved liten avrenning, og dette må iallfall delvis antas å skrive seg fra de djupere jordlagene.

Akkumuleringen av sulfat lar seg altså ikke beregne. Det er heller ikke mulig å vurdere virkningene av de forskjellige årsaksfaktorer separat. Men materialet som foreligger, indikerer at flere faktorer er med i spillet.

Tabellene 1 og 2 viser at innholdet av sulfat-S i bekkevannet ved (b) vanlig er mindre enn ved (a) og oftest også mindre enn ved (c). Forskjellen er som regel størst ved større vannføring. Vann fra delfeltene ovenfor (a) og mellom (b) og (c) må altså inneholde mest sulfat-S, særlig etter tørre værperioder. Mest sannsynlig er dette en følge av at vannet fra

det øverste og det nederste delfeltet er sterkest preget av myr – myrenes areal, karakter eller begge deler. Ellers er det verdt å merke seg at analysesallene gjelder hele vannmengden, at vannføringen varierer meget sterkt, og at alle tre delfelter har noe myr. Forskjellen i det *absolutte* innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ i vannet ved stor og liten vannføring er altså mye større enn analysesallene viser. Regnet med absolutte mengder i vannet må den sannsynlige forskjell mellom myr og mineraljord også være ganske stor.

Akkumuleringen av sulfat i jorda i tørre perioder og årsakene til akkumuleringen kan også belyses ved å se tallmaterialet i relasjon til opplysningene s. 10—11 om forholdene på de tidspunktene vannprøvene ble tatt, og en tid forut.

Etter tidligere undersøkelser av grøftevann fra dyrket og gjødslet jord (9) kan en gå ut fra at sulfatinnholdet i jorda vanlig er minst de siste vintermånedene eller tidlig om våren. For udyrket jord må det iallfall vanlig være slik på steder med stor vinternedbør, men lite snø og tele, som på Jæren. Det skulle altså være størst utsikt til å kunne gjøre seg opp en mening om akkumuleringen av sulfat i regnfattige perioder utover fra våren.

I 1973 var det forholdsvis lite nedbør, men stor svoveltilføring fra atmosfæren fra midten av mai til de første dagene i august. Da kom det regn med moderat svovelinnhold (8.8.73). Det store innholdet av sulfat i bekkevannet skulle kanskje ikke være særlig overraskende selv om en ville legge liten vekt på svoveloksydasjon i jorda. I 1974 var våren meget tørr fra siste tredjedel av mars, og den registrerte svoveltilføring fra lufta var også uvanlig liten. Regnet i slutten av mai hadde heller lite svovelinnhold (29.5.74). Når bekkevannet tross dette inneholdt mye sulfat etter regn i slutten av mai, indikerer det betydelig svoveloksydasjon i jorda. Vel en uke senere var innholdet enda større, men da etter mer regn med stort svovelinnhold (7.6.74).

I 1975 begynte en periode med lite regn fra 3. mai. Fra omkring midten av juni ble det også meget varmt. Avrenningen var liten. Svoveltilføringen fra lufta kan ikke betegnes som stor så lenge NILU's observasjoner var i gang. Likevel var innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ i bekkevannet høyt ved stor vannføring 16. juli og uvanlig stort ved flomartet vannføring en uke senere (23.7.75). I mangel av materiale fra noe nærmere sted gjengir vi noen tall fra 3 andre NILU-stasjoner for dagene 21.–23. juli:

	Nedbør	pH	$\text{SO}_4\text{-S}$, middel
Lista	32 mm	3,95–4,30	1,77 mg/l
Fitjar, Stord	52 »	4,20–4,95	0,96 »
Skreådalen, Sirdal	81 »	4,40–4,85	0,34 »

Nedbøren på Lista er på mange måter sterkt preget av havets nærhet, særlig ved å være rik på både S og Mg. Skreådalen ligger lenger inne i landet. Nedbøren der er større, men svovelinnholdet mindre. Ingen av stasjonene registrerte særlig stort svovelinnhold i nedbøren de 3 aktuelle

dagene. Det uvanlig store innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ i bekkevannet 23. juli må derfor for største delen skyldes utvasking av akkumulert sulfat i jorda. Det er god grunn til å anta at akkumuleringen er kommet i stand både ved tilføring fra lufta og ved oksydasjon i jorda.

Analysesett for vannprøver tatt så sent som i september, kan være vanskelige å vurdere fordi usikkerheten om utvaskingen i løpet av sommeren ofte vil være stor. Men i september 1975 var det utvilsomt en meget betydelig utvasking av akkumulert sulfat (16.9.75, 26.9.75). Det hadde vært lite regn fra begynnelsen av mai til en ukes tid ut i september, og periodevis meget varmt. Innholdet av sulfat-S i vannet var svært lite ved liten vannføring 9 september, stort ved større vannføring en uke senere og fortsatt ganske høyt ved stor flom 26 september. Den siste dagen var også pH uvanlig lav.

Noen tall fra de før nevnte NILU-stasjoner for dagene 24.–26. september kan være av en viss interesse:

	Nedbør	pH	$\text{SO}_4\text{-S}$, middel
Lista	48 mm	4,45–4,95	2,27 mg/l
Fitjar	81 »	4,60–5,00	0,85 »
Skreådalen	142 »	4,70–5,00	0,25 »

På Lista var svovelinnholdet i nedbøren stort, men Mg-innhold på 2,4 mg/l i middel for de 3 dagene er tegn på at også svovelinnholdet må være sterkt preget av havets nærhet. Tallene fra de 3 stasjoner gir ikke grunn til å anta at nedbøren på Jæren var særlig svovelrik eller særlig sur på dette tidspunkt. Det samme gjelder nedbøren for tida 8.–23. september. De totale svovelkvanta var likevel ganske store som følge av de store nedbørmengdene.

Uten å innlate seg på løst funderte beregninger må en kunne si: Etter at det i løpet av de siste 18 døgn kan være vasket ut flere hundre g sulfat-S pr. dekar *fra jorda*, var restinnholdet stort nok til å gi bekkevannet et innhold av sulfat-S på 2 mg/l ved stor flom 26 september, uten at noe tyder på særlig svovelrik nedbør på dette tidspunkt.

Mest sannsynlig var det også en ikke ubetydelig utvasking av akkumulert sulfat i høsten 1973 og 1974. Slikt er kanskje til og med en nok så vanlig foreteelse når en ser bort fra steder og år med stor sommernedbør, men selvsagt i meget forskjellig grad og til noe ulik tid (1, 2, 9, 10, 12).

I tilknytning til den foregående diskusjon om akkumulering og utvasking av sulfat-S kan det være grunn til å nevne at bare 100 g mer sulfat-S pr. dekar i de aktuelle jordmassene teoretisk kan øke innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$ 1 mg/l i 100 mm avrenning.

Bekkevannets pH er som før nevnt negativt korrelert med innholdet av sulfat-S og positivt med Ca-innholdet og kvotienten $\frac{\text{Ca}}{\text{SO}_4\text{-S}}$. Mange andre faktorer er sikkert medbestemmende for vannets pH, men for-

holdet mellom Ca^{2+} og SO_4^{2-} ser ut til å ha vesentlig betydning, slik jordbunnsforholdene er omkring bekken.

Titreringskurvenes form på figuren s. 9 antyder sammenheng med kvotienten $\frac{\text{Ca}}{\text{SO}_4\text{-S}}$. Vannets syrenøytraliserende effekt minker med avtakende tallverdi av kvotienten.

Tabell 3 supplerer titreringskurvene ved å angi mg S pr. l vann som er tilsatt for å få pH 5,0 eller 4,5.

Tabell 3. Tilsatt mg S i H_2SO_4 ved pH 5,0 og 4,5.

Vannføring Dato	Liten 12.7.75			Moderat 9.9.75			Flom 23.7.75		
Sted	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
Vannets pH . .	5,4	6,9	6,4	5,1	5,8	5,6	4,5	5,4	5,4
Tilsatt mg S/l, pH 5,0	0,32	3,34	2,91	0,06	0,64	0,58	0	0,32	0,08
» » 4,5	0,80	3,71	3,64	0,70	1,04	1,02	0	0,80	0,29

Svovelmengdene i tab. 3 er av slik størrelsesorden at de passer inn i helhetsbildet av bekkevannets sulfatinnhold. Etter syretilsetningen er det meget god innbyrdes overensstemmelse mellom tallverdiene av kvotienten

$\frac{\text{Ca}}{\text{SO}_4\text{-S}}$ for (a), (b) og (c) på ett og samme pH-nivå både ved liten og

moderat vannføring. Ved flom er kvotienten vesentlig mindre, men den innbyrdes overensstemmelsen god for (b) og (c), mens tallene for (a) (uten syretilsetning) er noe lavere.

Indirekte viser tab. 3 at tilsetning av 1 mg S i H_2SO_4 pr. l vann senker pH litt mer enn 1 enhet i prøver fra (a) med unntak for noe avvikende tall ved liten vannføring. Den tilsvarende pH-nedgang for prøver fra (b) og (c) er ca. 0,5 eller litt mer ved liten og det dobbelte ved stor vannføring, for (b) også ved flom. For prøvene fra (c) ved flom er pH-nedgangen vesentlig større.

Foruten konsentrasjonen av SO_4^{2-} , HCO_3^- , og av Ca^{2+} og andre metallkationer, kan kjemiske omsetninger av jernforbindelser i jord og vann ha atskillig betydning for bekkevannets pH. Denne faktor lar seg imidlertid ikke drøfte på grunnlag av analysesett som bare viser totalinnholdet av Fe i vannet. Tallene er oftest størst ved (a) og ofte litt større ved (c) enn ved (b). Forskjellen er ellers i de fleste tilfellene mest markert etter tørre værperioder. Dette tyder på at de Fe-omsetningene som ligger til grunn, spiller størst rolle i myrjord og i tørre perioder.

Framstillingen ovenfor gjelder bekkevannet. Om vannet i utløpet fra tjernet er det før pekt på at både pH og andre kjemiske egenskaper

varierer mindre enn i bekken. Det kan tilføyes at tjernet har et bunnlag av overveiende organisk materiale med betydelig eller stort Ca-innhold (11). Hvis avstanden mellom innløp og utløp hadde vært betydelig større, ville sannsynligvis pH i utløpet ha variert mindre omkring en middelverdi litt over 6.(5).

Som sluttmerknad er det grunn til å gjøre oppmerksom på at de påviste pH-variasjoner i bekkevannet ved Vesle Vannavatn bør oppfattes som særlig store. Det skyldes sannsynligvis bl.a. at avrenningsområdet er lite. På den annen side synes det ikke være grunn til tvil om at de samme årsaksfaktorer gjør seg mer eller mindre gjeldende også andre steder.

KONKLUSJON

I regnfattige værperioder med liten vannføring kommer bekkevannet fra djupe lag i løsmassene. Det antas å ha vært i god kontakt med mindre utvasket og mindre surt materiale, det er lite eller ikke umiddelbart påvirket av sur nedbør og har svakt sur reaksjon i den nedre delen av bekken. Ved stor avrenning er vannet generelt sterkt preget av nedbørens surhetsgrad og de øvre uorganiske og organiske lag med utpreget sur reaksjon. Når avrenningen tiltar etter en tørr periode, blir vannet forbigående surere enn ellers, fordi det skjer utvasking av sure forbindelser som er akkumulert i jorda. Dette er mest markert ved flom etter langvarige tørre og varme perioder.

*

Forfatterne takker Norko-fondet for økonomisk støtte til dette arbeidet. Videre retter vi en takk til Norsk institutt for luftforskning, Meteorologisk institutt og Institutt for hydroteknikk ved NLH. Fylkesagronom *Einar K. Time* skylder vi også takk for god hjelp.

SAMMENDRAG

Undersøkelser er utført i åra 1973–75 over variasjonene i vannets surhetsgrad i en bekk og et tjern i Hå kommune i Rogaland fylke. Avrenningsområdet er et noe kupert morenelandskap med hovedfall mot SV. De øvre jordlag består av sterkt sur mineraljord og myr (s. 3 og 18).

Vannprøver er tatt 3 steder i bekken [(a), (b), (c)] og i utløpet fra tjernet (d). Analyseresultatene er sammenstilt i tab. 1 og gruppert etter vannføringen i tab. 2. Ellers bygger artikkelen på resultater av kontinuerlige målinger og kjemiske analyser av nedbøren ved en observasjonsstasjon som ble drevet av NILU ca. 15 km fra det aktuelle avrenningsområde.

Som tab. 1 viser, varierer bekkevannets pH med tid og sted fra 4,4 til 7,2. På ett og samme sted er variasjonsintervallet opp til 2,2 pH-en-

heter. Vannets pH er negativt korrelert med innholdet av $\text{SO}_4\text{-S}$, positivt med Ca og $\frac{\text{Ca}}{\text{SO}_4\text{-S}}$ (s. 8).

I tørre perioder med liten vannføring har vannet nederst i bekken svakt sur eller nøytral reaksjon. Ved stor avrenning er det preget av neibørens surhetsgrad og de sure øvre jordlag. Når avrenningen blir større etter tørre perioder, er vannets pH forbigående lavere enn ellers, mest markert ved flom etter langvarige, utpreget tørre og varme perioder. Dette skyldes utvasking av akkumulerte sure forbindelser.

SUMMARY

The variations of pH and in the content of $\text{SO}_4\text{-S}$, Ca and Fe in the water of a stream and a small lake in Rogaland County, south-western Norway, have been investigated in the years 1973–75. The soil within the run-off area consists of morainic material, which in higher terrain is strongly leached and very acid in the upper layers, and in the depressions covered by peat layers of varying thickness.

Water samples for chemical analysis were collected at 3 points of the stream [(a), (b), (c)] and in the outlet of the lake in more or less pronounced dry periods and by increased run-off after rain following dry spells. The analytical data are discussed in connection with data from precipitation records and chemical analysis of rain water at an observation station, which was operated by the Norwegian Institute of Air Research and is situated about 15 km from the run-off area.

The results of the water analysis are presented in Table 1. The pH varies with place and time in the interval 4.4–7.2. The maximum variation registered at one place amounts to 2.2 pH units. In Table 2 the results are grouped according to the water flow.

For the correlation between the pH of the water and the contents of Ca and $\text{SO}_4\text{-S}$ and the ratio $\frac{\text{Ca}}{\text{SO}_4\text{-S}}$, the r-values are 0.69***, -0.48***, 0.75***, respectively.

In the dry periods with low run-off the water in the lower part of the stream has nearly neutral or weakly acid reaction. By high run-off the water is more or less acid depending on the acidity of the precipitation and the neutralizing effect of the different soil layers. By high run-off following dry periods the water has lower pH than otherwise in similar circumstances. This is due to leaching of accumulated acid compounds, particularly acid sulphur compounds, which has partly been precipitated from the atmosphere and partly formed by oxidation in the soil during the dry spells.

LITTERATUR

1. *Christensen, W.* 1962. Betragtninger over den geokemiske udvikling av de øvre jordlag i Danmark. Medd. Danmarks Geol. Foren. bd. 15, 112–122.
2. *Eriksson, E. og Holtan, H.* 1974. Hydrokemi. Nordic IHD Rep. No. 7.
3. *Husen, J. Aa.* 1975. Effects on acidity, content of iron and hardness of ground-water in peat land by lowering of water table. Nordic IHD Rep. No 8.
4. *Kelley, D. P.* 1970. Transformations of sulphur and its compounds in soils. Symp. international sur le Soufre en Agriculture, Versailles 1970, 217–232.
5. *Ponnamperuma, F. N.* 1972. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron. 24, 29–96.
6. *Snekvik, E. og Sivertsen, A.* 1975. Rapport fra Direktoratet for vilt og ferskvannsfiske. Fiskeforskningen, Ås. Stensilert.
- 6b. *Snekvik, E.* 1969. Forsurning av elver og vann. Innvirkning på ørret- og laksefisket. Vann 4, 113–119.
7. *Wiklander, L.* 1973. The acidification of soil by acid precipitation. Grundförbättr. 26, 155–164.
8. *Wiklander, L.* 1975. The role of neutral salts in the ion exchange between acid precipitation and soil. Geoderma 14, 98–105.
9. *Ødelien, M.* 1965. Undersøkelser over utvaskingen av sulfat fra jorda. Forskn. og forsøk 16, 39–76.
10. *Ødelien, M.* 1971. Årstidsvariasjoner i vannets surhetsgrad i de øvre deler av Sira-Kvina vassdragene. Medd. fra Det norske myrselskap 69: 157–168.
11. *Ødelien, M., Haddeland, I., Njølstad, A. og Selmer-Olsen, A. R.* 1973. Eksempler på svoveloksydasjon og reduksjon av svovelforbindelser i jord og vann. Ny Jord 60, 3–12.
12. *Ødelien, M. og Selmer-Olsen, A. R.* 1975. Red/oks-prosesser i jord og varierende utvasking som årsaker til pH-variasjoner i elvevann. Medd. fra Det norske myrselskap 73, 3–8.
13. *Ødelien, M., Selmer-Olsen, A. R. and Haddeland, I.* 1975. Investigation of some red-ox processes in peat and their influence on run-off water. Acta Agricult. Scand. 25, 161–166.

JORDBUNNSFORHOLDENE ETTER BEKKEFARET NORD-NORDØST FOR VESLE VANNAVATNET

Av G. Semb*)

De løse avleiringene etter dette bekkefarete består for en vesentlig del av myr nede i dalbunnen og i den nedre del av skråningene. Høyere opp i skråningene og i det kuperte terrenget omkring som har avløp til bekken, er det morene av grunnfjellsbergarter.

Myrene er av lyngmyrtypen. Bortsett fra den største, nordlige myra hvor dybden på sine steder er 4 m, varierer myrddybden mellom 1 og 2 m. I utkanten er det også grunnere myr.

Størstedelen av myrene ligger i skråninger med avløp til bekken som for det meste går under torvlaget. En må anta at grunnvannet i myrene er temporært og vil synke ned gjennom torvlaget i tørre perioder av lengre varighet. De øvre lag av torven vil under disse forhold tørke mer eller mindre ut.

Torva er godt omdannet. Humifiseringsgraden etter v. Post. har variert fra 4–5 i de øvre lagene til 8–9 dypere ned i profilet.

*) Statens jordundersøkelse, 1432 Ås - NLH.