

GRUNNLAG FOR ESTIMERING AV FOSFORAVRENNING FRA
DYRKA MARK

Konsentrasjoner av P-fraksjoner, P-avrenning fra engarealer, P-gjødsling

Anne Falk Øgaard & Tore Krogstad

Rapport nr. 1/95

Institutt for jord- og vannfag,
Ås, NLH 1995

ISSN 0805 - 7214

INSTITUTT FOR JORD- OG VANNFAG

Norges Landbrukshøgskole

Postboks 5028, 1432 Ås Telefon: 64 94 75 00 - Agriuniv. Ås
Telefax: 64 94 82 11 Rapportarkiv: 64 94 82 04

ISSN 0805 - 7214

Rapportens tittel og forfatter(e):

Grunnlag for estimering av fosforavrenning fra dyrka mark.

- Konsentrasjoner av P-fraksjoner
- P-avrenning fra engarealer
- P-gjødsling

av

Anne Falk Øgaard & Tore Krogstad

Rapport nr : 1/95 (Inr. 37)

Begrenset distribusjon:
Sperrert

Dato: 30. mars 1995

Prosjektnummer:

Faggruppe: Jordbunnsføre

Geografisk område: Norge

Antall sider (inkl. bilag) 12

Oppdragsgivers ref.:
Oppdrag nr.: 012

Oppdragsgiver: Forskningsprogrammet ØKONOMI OG ØKOLOGI, RESSURS-FORVALTNING OG FORURENSNING I LANDBRUKET (ØKØK/RFL), NLH

Sammendrag:

Det ble funnet at det ikke er mulig å predikere P-avrenning fra dyrka jord utifra jordart og driftsform. Jordas nivå av plantetilgjengelig P (P-AL) må kjennes. Sammenhengen mellom P-AL og total fosfor, løst P ved ulikt væske:jord forhold og algetilgjengelig P er gitt. Effekten av tilført P-gjødsel på P-avrenningen er vurdert.

4. Emneord, norske

1. Plantetilgjengelig P
2. P desorpsjon
3. Algetilgjengelig P
4. P gjødsling

4. Emneord, engelske

1. Plant-available P
2. P desorption
3. Algae-available P
4. P fertilization

Prosjektleder:


.....

Tore Krogstad
Professor

For administrasjonen:


.....

Bal Ram Singh
Neststyrer/Professor

INNHold

| | Side |
|---|------|
| Innledning | 1 |
| Sammenhengen mellom plantetilgjengelig P (P-AL) og jordart og driftsform | 1 |
| Sammenhengen mellom P-AL og partikkelbundet P i avrenningen .. | 2 |
| Sammenhengen mellom P-AL og løst fosfor | 4 |
| Sammenhengen mellom P-AL og algetilgjengelig P | 6 |
| P-avrenning fra vegetasjonsdekket mark | 7 |
| Binding av tilført gjødsel-P | 8 |
| Litteratur | 11 |

INNLEDNING

Formålet med denne rapporten er (i) å gi estimater for løst og partikkelbundet fosfor i overflateavrenning fra landbruksarealer utifra andre kjente parametre; og (ii) å forsøke å beskrive effekten av gjødsel-P på fosforavrenningen som en funksjon av tid siden gjødselspredningen. Grøfteavrenning er ikke vurdert, men avrenningsundersøkelser har vist at på mineraljord er P-tap via grøfter som regel mye mindre enn P-tap ved overflateavrenning.

Rapporten er utarbeidet på oppdrag fra forskningsprogrammet "Økonomi og økologi, ressursforvaltning og forurensning i landbruket".

SAMMENHENGEN MELLOM PLANTETILGJENGELIG P (P-AL) OG JORDART OG DRIFTSFORM

Opplysninger om P-AL tall finnes for en stor del av den dyrkede jorda i Norge, i og med at de fleste bønder får jorda si analysert regelmessig. Tidligere undersøkelser har vist en god sammenheng mellom P-AL og løst P og mellom P-AL og algetilgjengelig P (Øgaard, Subm.a). Videre er det mulig å anslå jordas totale P innhold utifra P-AL tall og jordart (Øgaard, 1994).

Med bakgrunn i et ønske om å kunne predikere P-avrenning fra dyrket jord i Mørdrefeltet, Nes og Aulivassdraget, Ramnes utifra jordart og driftsform, ble det undersøkt om det var noen sammenheng mellom nivå av P-AL og jordart og driftsform. Som grunnlag ble brukt data lagt inn i jorddatabanken i 1994 for driftsformene "jordbruk med husdyr" og "jordbruk uten husdyr" og for jordartene sandjord, siltjord og leirjord. Oppdeling av driftsformen "jordbruk med husdyr" etter type husdyr var ikke mulig utifra det eksisterende tallmaterialet i jorddatabanken. Det ble utført analyser på data fra Nes kommune, Akershus (757 prøver) og fra Ramnes kommune, Vestfold (273 prøver). For å få et større datagrunnlag ble det i tillegg sett på P-AL fordelingen på driftsform og jordart innen Akershus fylke (6122 prøver) og Vestfold fylke (4752 prøver).

Tabell 1 og 2 viser at variasjonen i P-AL tall innen de ulike jordart-driftsform kategoriene er stor, og middel P-AL verdi for de ulike kategoriene er ikke vesentlig forskjellig. Dette viser at skal en kunne predikere P-avrenning i et område, må en kjenne jordas P-AL verdier.

Tabell 1. Middel P-AL tall ved ulike driftsformer og jordarter for Nes kommune og Akershus fylke. Tallene i parentes viser standardavviket. Alle tall er oppgitt i mg P/100g jord.

| Jordart/driftsform | Nes | | Akershus | |
|--------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | Med husdyr | Uten husdyr | Med husdyr | Uten husdyr |
| Sand | 6.6 (3.7) | 9.0 (4.8) | 10.7 (6.7) | 10.9 (7.4) |
| Silt | 9.5 (5.8) | 7.8 (3.6) | 8.5 (5.2) | 7.9 (3.9) |
| Leire | 7.8 (3.7) | 7.2 (4.1) | 8.9 (5.0) | 8.0 (4.8) |

Tabell 2. Middel P-AL tall ved ulike driftsformer og jordarter for Ramnes kommune og Vestfold fylke. Tallene i parentes viser standardavviket. Alle tall er oppgitt i mg P/100g jord.

| Jordart/driftsform | Ramnes | | Vestfold | |
|--------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | Med husdyr | Uten husdyr | Med husdyr | Uten husdyr |
| Sand | 13.0 (7.6) | 14.5 (7.2) | 17.5 (12.5) | 15.5 (10.0) |
| Silt | - | 10.8 (4.1) | 13.8 (8.8) | 11.5 (7.4) |
| Leire | 9.0 | 10.8 (5.3) | 12.8 (6.8) | 10.3 (5.1) |

SAMMENHENGEN MELLOM P-AL OG PARTIKKELBUNDET P I AVRENNINGEN

I avrenning fra åpen åker vil det alt vesentligste av fosforet være partikkelbundet, slik at jordas totale P-innhold kan brukes som estimat for partikkelbundet P. Andelen av jordas totale P-innhold som er AL-løselig varierer med jordas evne til å binde P i tungt tilgjengelige former og jordas P status. Generelt har leirjord større evne til å binde P i tungt tilgjengelige former enn grovere jordarter (Øgaard, 1994). Ved økende P status vil en økende andel av jordas P-innhold være lett tilgjengelig.

Forholdet mellom Total P og P-AL er undersøkt i 52 mineraljordsprøver av varierende jordart innsamlet i ulike deler av Norge og i et prøvemateriale bestående av 58 prøver av siltig mellomleire innsamlet på Romerike. Tabell 3 viser forholdet "Total P/P-AL" for de ulike jordartene.

Tabell 3. Middelerdi for "Total P/P-AL" for ulike jordarter. Tallene i parentes viser variasjonsområdet. *) Prøver fra Romerike.

| Jordart | Total P/P-AL |
|---------------|-----------------|
| Sand (n=12) | 5.7 (3.0-19.2) |
| Silt (n=15) | 5.2 (2.9-23.8) |
| Leire (n=25) | 14.1 (4.7-45.5) |
| Leire (n=58)* | 14.9 (4.9-40.5) |

Som det framgår av tabellen er variasjonen innen jordartene stor. Det er likevel en tydelig nivåforskjell mellom de leirfattige jordartene og leirjorda. En del av variasjonen innen gruppene skyldes jordprøvenes ulike P status. Sammenhengen mellom total P/P-AL og P-AL ble undersøkt ved hjelp av lineær regresjonsanalyse. For sand- og siltjorda var det ingen signifikant sammenheng. For den ene gruppen av leirjord (n=25) var det en signifikant sammenheng mellom Log total P/P-AL og Log P-AL når de 3 mest ekstreme verdiene ble utelukket i analysen ($R^2=0.49$, $P<0.001$). Regresjonsligningen var:

$$\text{Log Total P/P-AL} = -0.50 \text{ Log P-AL} + 1.71 \quad (1)$$

For den andre leirjordsgruppen (n=58) var $R^2=0.63$, og regresjonsligningen var som følger:

$$\text{Log Total P/P-AL} = -0.69 \text{ Log P-AL} + 1.72 \quad (2)$$

Anrikningsforhold

P i jorda er ikke jevnt fordelt på de ulike partikkelstørrelsesgruppene. P-konsentrasjonen øker med avtagende partikkelstørrelse (Syers et al., 1969; Hanley & Murphy, 1970; Choudhury, 1988; Øgaard, Subm.b). Dette har betydning i og med at jorderosjon er en selektiv prosess med hensyn på partikkelstørrelse. De små partiklene blir erodert i større grad enn de større partiklene. Følgelig vil den totale P konsentrasjonen pr. vektenhet jord være større i det suspenderte jordmaterialet i avrenningen enn i utgangsmaterialet.

Anrikningsforholdet (ER), beregnet som forholdet mellom konsentrasjonen av P i avrenningen og i utgangsmaterialet, er blitt bestemt i mange tidligere undersøkelser (Massey & Jackson, 1952; Sharpley, 1980; Sharpley, 1985; Pionke & Kunishi, 1992). ER vil variere med avrenningsintensiteten. Menzel (1980, referert i Sharpley, 1980) studerte

forholdet mellom ER og sedimentavrenning og fant at følgende logaritmiske sammenheng holdt for et bredt utvalg av jordtyper:

$$\ln ER = 2 - 0.2 \ln \text{sediment avrenning (kg/ha)} \quad (3)$$

Sediment avrenningen er beregnet for en avrenningsepisode forårsaket av en nedbørsperiode på 30 minutter. Krogstad fant i sitt materiale fra Romerike (siltig leire) følgende sammenheng (upublisert):

$$\ln ER = 1.34 - 0.16 \ln \text{sedimentkonsentrasjon (mg/l)} \quad (4)$$

Denne siste sammenhengen er beregnet utifra prøver av overflatevann.

SAMMENHENG MELLOM P-AL OG LØST FOSFOR

Sharpley et al. (1981a) har utviklet en ligning til beregning av desorpsjon av P ved overflateavrenning utifra estimerer av lett tilgjengelig P. I tillegg er tid og væske:jord forholdet inkludert i ligningen; begge faktorer som påvirker desorpsjonen av P. Ligningen er som følger:

$$P_d = K P_o t^\alpha W^\beta \quad (5)$$

hvor P_d er mengden P desorbert i tiden t ved et væske:jord forhold W og P_o er mengde lett tilgjengelig P i jorda. K , α og β er konstanter for en gitt jord. For å kunne bruke denne ligningen under norske forhold, må den kalibreres slik at P-AL tallene kan brukes som P_o og konstantene må estimeres for ulike norske jordtyper. Dette er ennå ikke gjort.

Partikkelkonsentrasjonen i avrenningsvann varierer mye; fra noen få mg/l til 35-40 g/l. Det er gjort noe arbeid for å se på desorpsjonen av P ved ulikt væske:jord forhold og ved ulikt P-AL nivå i jorda. Tidsfaktoren er ikke med i disse arbeidene i og med at alle forsøkene er utført med en reaksjonstid på ett døgn. Problemet med disse arbeidene i denne sammenhengen er at de ikke er utført med en saltkonsentrasjon i væsken som tilsvarer saltkonsentrasjonen i avrenningsvann. De er enten utført i destillert vann eller 0.01M CaCl_2 . 0.01M CaCl_2 har omtrent samme saltkonsentrasjon som jordvæsken i løpet av vekstsesongen. Saltkonsentrasjonen har betydelig innvirkning på mengde P som desorberes. I et upublisert materiale til Krogstad var konsentrasjonen av P i destillert vann ved et væske:jord forhold

på 250:1 ca 4 ganger så stor som konsentrasjonen i 0.01 M CaCl₂. Desorpsjonen i avrenningsvann vil ligge et sted mellom disse ytterpunktene, blant annet avhengig av når på året avrenningen skjer.

Øgaard (Subm.a) har sett på sammenhengen mellom mengde desorbert P i 0.01M CaCl₂ (ett døgnns reaksjonstid) ved ulike væske:jord forhold og jordas P-AL tall i ett sett av 17 jordprøver bestående av leirjord, siltjord og sandjord. Forholdet mellom mengde desorbert P i mg/100g (y) og væske:jord forholdet kan beskrives ved følgende ligning:

$$y = \frac{cx}{d+x} \quad (6)$$

Verdiene av konstantene c og d var signifikant relatert til P-AL nivået (P<0.001). Sammenhengen var som følger:

$$c = 0.245 \text{ P-AL} + 1.604 \quad (7)$$

$$\text{Log } d = -0.037 \text{ P-AL} + 3.248 \quad (8)$$

Som en kontroll til ligningene ovenfor ble sammenhengen mellom P-AL og målt mengde desorbert P (y) ved noen væske:jord forhold beregnet:

$$400:1 \quad y = 0.235 \text{ P-AL} - 0.655 \quad (R^2 = 0.88) \quad (9)$$

$$800:1 \quad y = 0.272 \text{ P-AL} - 0.415 \quad (R^2 = 0.89) \quad (10)$$

$$1400:1 \quad y = 0.261 \text{ P-AL} + 0.203 \quad (R^2 = 0.88) \quad (11)$$

$$2000:1 \quad y = 0.252 \text{ P-AL} + 0.416 \quad (R^2 = 0.87) \quad (12)$$

Utrekning med valgte P-AL verdier viste at ligningssett 6-8 underestimerer mengde desorbert P i forhold til verdiene utregnet ved ligningene 9-12.

Utifra de samme forsøkene kan det settes opp et ligningssett som uttrykker "likevektskonsentrasjonen" av P i 0.01M CaCl₂ som en funksjon av væske:jord forhold og P-AL tall. Ligningen som beskrev P konsentrasjonen i løsningen i mg/l (y) som en funksjon av væske:jord (x) forholdet var som følger:

$$y = a + b * \log x \quad (13)$$

Verdiene av konstantene a og b var signifikant relatert til P-AL nivået (P<0.001). Sammenhengen var som følger:

$$\text{Log } a = -1.631 + 0.053 \text{ P-AL } (R^2 = 0.83) \quad (14)$$

$$\text{Log } |b| = -2.279 + 0.057 \text{ P-AL } (R^2 = 0.81) \quad (15)$$

Verdien av konstant b er negativ. Sammenhengen mellom P-AL og målte P konsentrasjoner i løsningsene (y) ved noen væske:jord forhold var som følger:

$$400:1: \quad y = -0.0161 + 0.0059 \text{ P-AL } (R^2 = 0.88) \quad (16)$$

$$800:1: \quad y = -0.0049 + 0.0034 \text{ P-AL } (R^2 = 0.89) \quad (17)$$

$$1400:1: \quad y = 0.0015 + 0.0019 \text{ P-AL } (R^2 = 0.88) \quad (18)$$

$$2000:1: \quad y = 0.0027 + 0.0012 \text{ P-AL } (R^2 = 0.84) \quad (19)$$

Også her gir ligningssett 13-15 en underestimering i forhold til ligningene 16-19.

Siden de ovenstående ligningene gjelder for 0.01M CaCl₂ og ikke avrenningsvann, er vårt forslag at verdiene utregnet ved hjelp av disse ligningene multipliseres med 2.

Ved økende væske:jord forhold flater kurven for "likevektskonsentrasjonen" ut, slik at ved store væske:jord forhold skjer det små endringer i likevektskonsentrasjonen ved endringer i væske:jord forholdet. Dette kan illustreres ved målinger gjort i elva Rømua (Krogstad, 1986). Ved sedimentkonsentrasjoner varierende fra noen få mg/liter til ca. 700 mg/liter var konsentrasjonen av løst P på et forholdsvis konstant nivå.

SAMMENHENGEN MELLOM P-AL OG ALGETILGJENGELIG P

Algene kan utnytte en del av fosforet som er partikulært bundet i tillegg til løst fosfor. Flere ulike kjemiske metoder er utviklet for å måle potensielt algetilgjengelig fosfor i jord og sedimenter. En metode som er mye brukt ved Institutt for jord- og vannfag er totalt reaktivt fosfor (TRP). Krogstad & Løvstad (1991) har vist at TRP målt i jordsuspensjoner (400 mg tørr jord/l destillert vann) er omtrent på samme nivå som mengden P som er tilgjengelig for naturlige populasjoner av blågrønnalger. Andelen av total P som er potensielt algetilgjengelig viser stor variasjon. Øgaard (Subm.a) fant i et materiale på 17 jordprøver at TRP som en prosentandel av total P varierte fra 5.7 til 63.6%. Prosentandelen økte med økende forhold uorganisk P/total P og med økende P-AL verdi. I de 17 jordprøvene forklarte P-AL 83% av variasjonen i TRP ($P < 0.001$). Regresjonsligningen var som følger:

$$\text{TRP (mg/100g)} = 2.94 + 1.76 \text{ P-AL} \quad (20)$$

Ved bruk av både denne ligningen og de for løst fosfor, må en være oppmerksom på at det er få jordprøver som ligger bak. Selv om det er stor variasjon i jordtype innen de 17 jordprøvene, kan relasjonene se anderledes ut i et annet jordmateriale. Når det gjelder ligningen for potensielt algetilgjengelig P (TRP), er TRP analysene utført med et større jord:væske forhold enn i Krogstad & Løvstad (1991) sin undersøkelse. Dette kan bety at ovenstående ligning underestimerer potensielt algetilgjengelig P.

P AVRENNING FRA VEGETASJONSDEKKET MARK

Utvasking av P fra plantemateriale bidrar med P til overflateavrenning fra vegetasjonsdekket mark. Utvaskingen skjer både fra dødt og levende plantemateriale. Sharpley (1981) har vist at i levende plantemateriale øker utvaskingen med økende alder til plantene. Videre registrerte han økt utvasking av P ved tørkestress.

Estimering av P-avrenning fra vegetasjonsdekket mark må basere seg på feltmålinger. Materialet fra norske forsøk er imidlertid for lite til å kunne differensiere mellom vegetasjonstyper. Det som her vil gjengis er resultater fra et feltlysimeterforsøk plassert på Ås. En bør imidlertid være oppmerksom på at dette dreier seg om små felt (rutestørrelse = 3.75m * 20m), slik at disse P-verdiene kanskje ikke er representative for større felt. I dette forsøket var tapet i perioden 1974-81 av både total P og løselig P større i eng enn i vårkorn (Uhlen, upublisert notat). Tapet av total P fra engarealene ble bestemt av mengde overflateavrenning i løpet av snøsmeltningsperioden, mengde grasrester liggende på feltet sent på høsten og P-gjødsling de foregående år (Uhlen, 1988). Følgende regresjonsligning ble satt opp:

$$y = 1.62 a + 2.05 b + 4.51 c + 6.4 d - 266 \quad (r^2 = 0.86) \quad (21)$$

y = Total P-avrenning (g/ha/år)

a = Avrenning i løpet av snøsmeltningen (mm)

b = Tørrstoff i grasrester om høsten (g/m²)

c = P-gjødsling i de foregående år (kg P/ha)

d = P-AL verdi (mg/100g)

Effekten av de tre første faktorene var signifikant. Effekten av P-AL nivået var ikke signifikant.

Jorddekkning

Dekking av jordoverflaten med planterester reduserer jordtapet. Uhlen (1988) undersøkte effekten av jorddekkning med henholdsvis grønnsaksblader og høy på avrenning av næringsstoffer. Høy ga liten endring i mengde P bortført med overflateavrenningen sammenlignet med kontrollfeltet, mens grønnsaksblader ga en betydelig økning i P-tap. 1/10 av total P i grønnsaksbladene ble gjenfunnet i overflateavrenningen.

BINDING AV TILFØRT GJØDSEL-P

Et superfosfatgranulat (5mm diameter) løser seg opp i jorda i løpet av 24-36 timer (White, 1979). Granulatet vil også løse seg opp i tørr jord ved at det trekker til seg vann ved vandampdiffusjon. Fosfationene reagerer med ulike jordkomponenter. Disse reaksjonsproduktene er først lett tilgjengelig, men omdannes så gradvis til mindre løselige produkter. Hastigheten på denne prosessen er avhengig av jordas innhold av P bindende elementer, pH, redokspotensial og innhold av organiske anioner som konkurrerer med P om bindingsplassene. Generelt er leirjord mer effektiv til å binde P enn grovere jordarter. Tilførsel av lett nedbrytbart organisk materiale kan redusere P bindingen ved at den mikrobielle nedbrytningen av materialet fører til et redusert redokspotensial og produksjon av organiske syrer som konkurrerer med P om bindingsplassene.

Når det gjelder binding av tilført P i mer tungt tilgjengelige former som en funksjon av tid er lite gjort på nordiske jordtyper. Uhlen & Steenberg (1982) så på utviklingen av AL-løselig P etter en P-tilførsel tilsvarende 20 kg P/daa til ulike jordarter varierende fra silt til middels stiv leire. Jorda ble holdt fri for vegetasjon. Ett år etter gjødsling var i gjennomsnitt 22 og 28%, for kalket og ukalket ledd, AL-løselig av det som ble tilført. I et feltlysimeterforsøk med leirjord (20-25% leire) på Ås fant Uhlen (1989) at etter 8 år med P tilført i overskudd, kunne 25-30% av overskuddet gjenfinnes som en økning i P-AL verdien.

En undersøkelse med kortere tidsfaktor er utført på israelsk jord; en jord som sannsynligvis har større P-bindingsevne enn våre jordtyper. Kafkafi et al. (1968) undersøkte effekten av jordtype og reaksjonstid etter P-tilførsel på mengde P ekstrahert med 0.01M CaCl₂ og NaHCO₃ (plantetilgjengelig P). De

fant at jordas evne til å binde P i mindre tilgjengelige former økte med økende spesifikk overflate i jorda. Tabell 4 viser andel av tilført P som er ekstraherbart med 0.01M CaCl₂ og NaHCO₃ som en funksjon av kontakttiden for 2 av jordtypene; sandy loam (overflateareal 38 m²/g) og clay loam (overflateareal 210 m²/g). 0.01M CaCl₂-løselig P kan en tilnærmet betegne vannløselig P. Resultatene i tabellen viser at en stor del av tilført P blir raskt bundet i en ikke-vannløselig form. NaHCO₃-løselig P reduseres langt saktere. Jorda var uten vegetasjon.

Tabell 4. Prosent av tilført P som ble ekstrahert med 0.01M CaCl₂ og NaHCO₃ ved økende tid etter P-tilførselen.

| Kontakttid (Timer) | 0.01M CaCl ₂ | | Kontakttid (Dager) | NaHCO ₃ | |
|-----------------------|-------------------------|-----------|-----------------------|--------------------|-----------|
| | Sandy loam | Clay loam | | Sandy loam | Clay loam |
| 1 | 39.8 | 6.3 | 37 | 34.4 | 26.0 |
| 2 | 38.8 | 6.1 | 108 | 35.5 | 20.2 |
| 4 | 35.0 | 5.9 | 169 | 27.8 | 16.7 |
| 24 | - | 4.7 | 233 | 21.1 | 17.1 |
| 48 | 25.6 | - | 298 | 26.7 | 14.9 |
| 168 | 16.3 | 2.9 | 357 | 33.3 | 18.9 |
| 336 | 18.7 | 2.4 | | | |

Flere undersøkelser er utført for å studere effekten av gjødsling på konsentrasjonen av P i avrenningsvannet. Römken & Nelson (1974) fant i et feltforsøk med siltig lettleire at middel konsentrasjon av PO₄-P var relativt konstant for de ulike avrenningsepisodene etter gjødsling. Feltene var uten vegetasjon, og første nedbørtilførsel var 12 dager etter gjødsling. Senere nedbørtilførsel ble utført med 1-3 måneders intervaller. Videre fant de at middel konsentrasjon av PO₄-P i avrenningsvannet var proporsjonal med mengde tilført P. Sammenhengen var som følger.

$$\text{Løst P (mg/l)} = 0.061 + 0.0033 X \quad (22)$$

hvor X = tilført P (kg/ha). Dette betyr at i forhold til ugjødslet ledd førte en tilførsel på 20 kg P/ha til fordoblet innhold av løselig P i avrenningsvannet fra denne jordtypen. Denne relasjonen vil imidlertid være avhengig av jordas P-bindingsevne og P status.

I motsetning til dette står en undersøkelse utført i Finland (Rekolainen et al., 1993). De fant at en P tilførsel på 42 kg/ha innblandet i jorda ikke økte P-

tapet sammenlignet med en tilførsel på 21 kg/ha. Overgjødsling til eng ga imidlertid økende P-tap ved økende P-tilførsler. I feltlysometerforsøkene på Ås var det heller ingen tydelig økning i P-avrenning ved P-gjødsel innblandet i jorda (Uhlen, 1989). Dette viser at P-gjødsling ikke nødvendigvis øker konsentrasjonen av P i avrenningsvannet hvis P-gjødselen blir innblandet i jorda. Et viktig forhold i denne sammenhengen er at på grunn av jordmaterialets gode bufferevne overfor P, vil en stor del av løst P tilført fra f. eks. gjødsel eller utvasking av plantemateriale kunne adsorberes til jordpartiklene i løpet av avrenningen. Sharpley et al. (1981b) fant for suspenderte sedimenter at 48-58% av adsorpsjonen av tilført løst P skjedde i løpet av de første 30 minuttene.

Overdosering av P i forhold til mengden P som fjernes med avlingene vil imidlertid på lang sikt ha betydning ved at det øker nivået av lett tilgjengelig P i jorda.

Utifra en beregning av mengde potensielt algetilgjengelig P (TRP) pr. daa (i de øvre 20 cm) kan en se at en moderat P-gjødsling ikke gir så stor relativ økning i mengde TRP, selv om en regner alt tilført som algetilgjengelig. Med utgangspunkt i et moderat nivå av plantetilgjengelig P ($P-AL = 8$), kan mengde TRP pr 100g jord beregnes ved hjelp av ligning nr. 20. Det gir 17 mg TRP/100g jord. Med en antatt jordtetthet på 1.2 kg/dm^3 gir dette 40.8 kg TRP/daa i de øvre 20 cm. En moderat korngjødsling på 1.5-2.0 kg P/daa vil dermed ikke øke nivået av potensielt algetilgjengelig P i stor grad.

Effekt av husdyrgjødsel relativt til uorganisk P-gjødsel

Flere undersøkelser har vist at husdyrgjødsel reduserer bindingen av P (Amberger & Amann, 1984; Mnkeni & MacKenzie, 1985; Chand & Tomar, 1992; Øgaard, Subm. c). Dette behøver nødvendigvis ikke bety økt P-tap relativt til uorganisk P-gjødsling. Wendt & Corey (1980) fant at husdyrgjødsel økte P-konsentrasjonen i avrenningsvannet, men husdyrgjødselen førte også til økt infiltrasjon og dermed mindre overflateavrenning, slik at P-tapet ikke økte ved tilføring av husdyrgjødsel. Bhatnagar et al. (1985) fant at P fra tilført gylle ble hovedsaklig adsorbent på de større aggregatene. Dette førte til lavere anrikningsforhold (ER) for $\text{NaHCO}_3\text{-P}$ i avrenningen fra husdyrgjødslede felter enn fra felter gjødslet med uorganisk P-gjødsel. Videre kan nevnes at Uhlen (1978) fant at nedmolding av 6 tonn husdyrgjødsel pr.daa ikke medførte ekstra P-tap ved overflateavrenning. Spredning av husdyrgjødsel om høsten eller vinteren uten nedmolding kan imidlertid gi betydelige P-tap; i feltlysometerforsøkene på Ås ble det registrert et tap på 3.5-15% av P tilført med husdyrgjødselen (Uhlen, 1978).

LITTERATUR

- Amberger, A. & Amann, C. 1984. Wirkungen organischer Substanzen auf Boden- und Düngerphosphate. Teil 2: Einfluss verschiedener organischer Stoffe auf die Mobilität von Dünger-P. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 147, 60-70.
- Bhatnagar, V. K., Miller, M. H. & Ketcheson, J. W. 1985. Reaction of fertilizer and liquid manure phosphorus with soil aggregates and sediment phosphorus enrichment. J. Environ. Qual. 14, 246-251.
- Chand, T. & Tomar, N. K. 1992. Effect of farmyard manure on availability of phosphorus to wheat (*triticum aestivum*) in soils of different physico-chemical properties. Indian J. Agr. Sci. 62, 731-736.
- Choudhury, F. A. 1988. Distribution of total, inorganic and organic phosphate with respect to soil particle size. Thai J. Agric. Sci. 21, 149-155.
- Hanley, P. K. & Murphy, M. D. 1970. Phosphate forms in particle size separates of Irish soils in relation to drainage and parent materials. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34, 587-590.
- Kafkafi, U., Hadas, A. & Hagin, J. 1968. The effect of soil surface superphosphate by soil tests and test plants. Agrochemica 12, 231-239.
- Krogstad, T. 1986. Fosfor i erosjonsmaterialet. NLVF rapport nr. 643, 13 s.
- Krogstad, T. & Løvstad, Ø. 1991. Available soil phosphorus for planktonic blue-green algae in eutrophic lake water samples. Arch. Hydrobiol. 122, 117-128.
- Massey, H. F. & Jackson, M. L. 1952. Selective erosion of soil fertility constituents. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 16, 353-356.
- Mnkeni, P. N. S. & MacKenzie, A. F. 1985. Retention of ortho- and polyphosphates in some Quebec soils as affected by added organic residues and calcium carbonate. Can. J. Soil Sci. 65, 575-585.
- Pionke, H. B. & Kunishi, H. M. 1992. Phosphorus status and content of suspended sediment in a Pennsylvania watershed. Soil Sci. 153, 452-462.
- Rekolainen, S., Posch, M. & Turtola, E. 1993. Mitigation of agricultural water pollution in Finland: an evaluation of management practices. Wat. Sci. Tech. 28, 529-538.
- Römkens, M. J. M. & Nelson, D. W. 1974. Phosphorus relationships in runoff from fertilized soils. J. Environ. Qual. 3, 10-13.
- Sharpley, A. N. 1980. The enrichment of soil phosphorus in runoff sediments. J. Environ. Qual. 9, 521-526.
- Sharpley, A. N. 1981. The contribution of phosphorus leached from crop canopy to losses in surface runoff. J. Environ. Qual. 10, 160-165.

- Sharpley, A. N. 1985. The selective erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49, 1527-1534.
- Sharpley, A. N., Ahuja, L. R., Yamamoto, M. & Menzel, R. G. 1981a. The kinetics of phosphorus desorption from soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 493-496.
- Sharpley, A. N., Menzel, R. G., Smith, S. J., Rhoades, E. D. & Olness, A. E. 1981b. The sorption of soluble phosphorus by soil material during transport in runoff from cropped and grassed watersheds. *J. Environ. Qual.* 10, 211-215.
- Syers, J. K., Shah, R. & Walker, T. W. 1969. Fractionation of phosphorus in two alluvial soil and particle size separates. *Soil Sci.* 108, 283-289.
- Uhlen, G. 1978. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. *Meldinger fra NLH 57(28)*, 1-23.
- Uhlen, G. 1988. Surface runoff losses of phosphorus and other nutrient elements from fertilized grassland. *Norwegian J. Agr. Sci.* 3, 47-55.
- Uhlen, G. 1989. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. *Nutrient balances 1974-81. Norwegian J. Agr. Sci.* 3, 33-46.
- Uhlen, G. & Steenberg, K. 1982. The residual effects of phosphorus fertilizers as measured by an isotopic method and by chemical soil tests. *Meld. Norges landbr.høgsk.* 61, 1-9.
- Wendt, R. C. & Corey, R. B. 1980. Phosphorus variations in surface runoff from agricultural lands as a function of land use. *J. Environ. Qual.* 9, 130-136.
- White, E. R. 1979. *Introduction to the principles and practice of soil science.* Halsted Press, New York. 198 pp.
- Øgaard, A. F. 1994. Relationships between the ratio of plant available phosphorus (P-AL) to total phosphorus and soil properties. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 44, 136-141.
- Øgaard, A. F. Subm.a. Effect of phosphorus fertilization and content of plant-available phosphorus (P-AL) on algae-available phosphorus in soils. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.*
- Øgaard, A. F. Subm.b. Effect of phosphorus fertilization on the concentration of total and algae-available phosphorus in different particle-size fractions in Norwegian agricultural soils. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.*
- Øgaard, A. F. Subm. c. Effect of fresh and composted cattle manure on phosphate retention in soil. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.*