

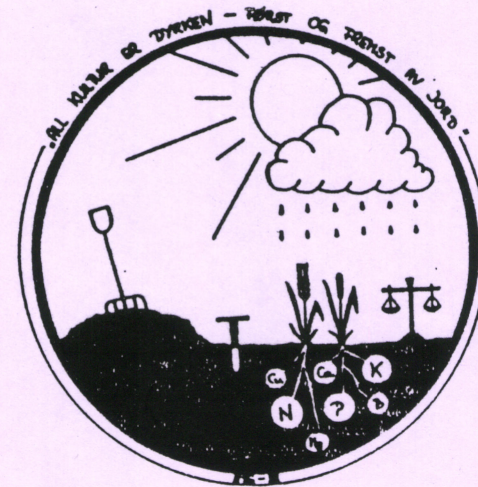
INSTITUTT FOR JORDKULTUR
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
1432 AS-NLH

SERIE B 2/83

GJØDSELEFFEKT AV FOSFOR I KLOAKKSLAM

Av

Einar Vigerust



DEPARTMENT OF SOIL FERTILITY AND MANAGEMENT
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF NORWAY
N-1432 AS-NLH, NORWAY

Prisene på norsk gjødsel er i dag slik at det vanlig er billigere å bruke fullgjødsel enn f eks ensidig nitrogen og kaliumgjødsel, dermed vil det heller ikke være interesse for å legge vekt på maksimal utnyttelse av slammets fosforeffekt.

LITTERATUR

- FURRER, O.J. and R. BOLLINGER, 1980. Phosphorus Content of Sludge from Swiss Sewage Treatment Plants. Proceedings of the EEC SEminar organized by the CEC and the Inst. for Soil Fertility, Haren. Groningen, Netherlands 12-13.6 1980, p 91-98.
- GESTRING, W.D. and W.M. JARREL, 1982. Plant Availability of Phosphorus and Heavy Metals in Soils Amended with Chemically Treated Sewage Sludge. J. Environ.Qual., Vol. 11, No. 4. p 669-675.
- GUPTA, S.K. and H. HÄNI, 1979. Estimation of available phosphate content of sewage sludge. Proceedings of First European Symposium Treatment and Use of Sewage Sludge, Cadarache, 13-15 feb. 1979. CEC. 2 261-268.
- DE HAAN, S. 1980. Sewage Sludge as a phosphate fertilizer. Proceedings of the EEC SEminar organized by the CEC and the Institute for Soil Fertility, Haren. Groningen, Netherlands 12-13.6. 1980. p 149-161.
- HANSEN, J.AA og J.C. TJELL, 1981. Slammets jordbrugsavvendelse I Overblikk. Polyteknisk Forlag, Lyngby, Danmark. 131s.
- JANSSON, S.L. 1970. Godningsforsök med kemisk fällda slamtyper. Hygienisk revy nr. 8:350-356.
- KICK, H. 1980. Phosphorus balance after the application of sewage sludge. Proceedings of the EEC SEminar organized by the CEC and the Institute for Soil Fertility, Haren. Groningen, Netherlands 12-13.6. 1980. p 255-272.
- KOSKELA, I. 1980. Phosphorus in sewage sludge in Finland. Proceedings of the EEC Seminar organized by the CEC and the Institute for Soil Fertility, Haren. Groningen, Netherlands 12-13.6. 1980. p 109-118.
- LARSEN, K.E. og S. DAMGAARD-LARSEN, 1981. Fosforvirkning af kemisk fældet slam. Tidsskr. for Planteavl. 85, s 185-191.
- MARTINSEN, J. 1976a. Bruk av septiktankslam og råslam ved dyrking av korn. Rapport fra PRA-prosjekt 3.3. 54s.
- MARTINSEN, J. 1976b. Bruk av utgjæret kloakkslam og noen organiske avfallsstoffer ved plantedyrking. Rapport fra PRA-prosjekt 3.3. 61s.

- PLATZEN, H. 1974. Phosphatzufuhr und -ausnutzungsraten von aufbereiteten Siedlungsabfällen (Faulschlemm und Müll - bzw Müllklärschlammkompost) am Beispiel von Vegetationsversuchen. Die Phosphorsäure, Band 30, Folge 2. p 219-246.
- POMMEL, B. 1980. Phosphorus value of sludge related to their metal content. Proceedings of the EEC Seminar organized by the CEC and the Institute for Soil Fertility, Haren. Groningen, Netherlands 12-13.6. 1980. p 137-146.
- SOMMERS, L.E. 1977. Chemical Composition of Sewage Sludges and Analyses of their Potential Use as Fertilizers. J. Environ. Qual. Vol. 6, No. 2. p 225-252.
- TIMMERMANN, F., L. CERVENKA und E. BARAN, 1980. Phosphatverfügbarkeit von Klärschlamm aus der dritten Reinigungsstufe. Proceedings of the Second European Symposium held in Vienna. Oct. 21.-23.1980. p 511-520.
- TORP, M. 1980. Kloakkslam til jordbruksformål. Hovedoppgave ved NLH. 125 s.
- UHLEN, G. og K. STEENBERG, 1982. The residual effects of phosphorus fertilizer as measured by an isotopic method and by chemical soil tests. Meldinger fra Norges landbr.h.skole. Vol. 61, nr.11. 9 s.
- VIGERUST, E. 1970. Enkelte aktuelle spørsmål vedrørende kjemiske jordanalyser. Grundforbattering, 23, hefte 3-4, s.143-148.
- ØDELIEN, M. 1967. Et forsøk med ulik gjødsling til mangeårlig enq på Sør-Østlandet. Ny Jord nr. 4, s.153-161.

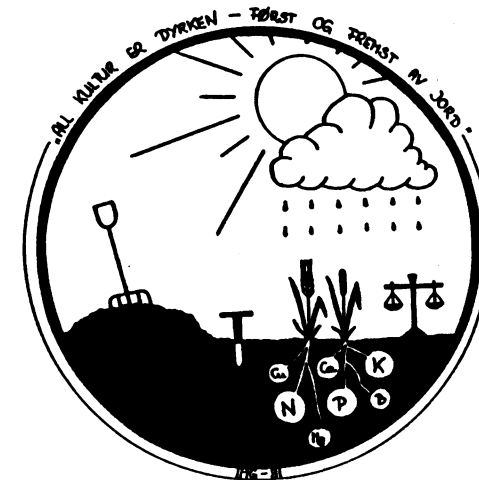
INSTITUTT FOR JORDKULTUR
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
1432 AS-NLH

SERIE B 2/83

GJØDSELEFFEKT AV FOSFOR I KLOAKKSLAM

Av

Einar Vigerust



DEPARTMENT OF SOIL FERTILITY AND MANAGEMENT
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF NORWAY
N-1432 AS-NLH, NORWAY

FORORD

Disponering av kloakkslam er vanskelig og reiser flere spørsmål. Kloakkslam har bl a svært allsidig sammensetning og virkning.

Bruk av slam på jordbruksarealer eller som slamkompost er i dag aktuelle og anbefalte løsninger. Om dette skal få et omfang på lenger sikt, må en komme fram til riktige bruksmåter slik at verdistoffene i slam kan bli maksimalt utnyttet.

Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd har finansiert undersøkelser vedrørende disponering av kloakkslam.

En tar nå sikte på å utgi følgende delrapporter fra prosjektet:

- Gjødseleffekt av fosfor i kloakkslam
- Kalkholdig kloakkslam - metoder, virkning og bruk
- Nitrogeneffekt av kloakkslam
- Stoffutvasking fra lagra slam
- Hva betyr biologisk omsetning i slam for vekstforholdene
- Tungmetalloptak ved bruk av kloakkslam

Av disse undersøkelsene har spørsmålet om tungmetalloptak vært mest omfattende.

Fra før er utgitt følgende delrapporter fra prosjektet: "Tungmetaller i kloakkslam" og "Bruk av kloakkslam på grøntarealer".

Statens faqtjeneste for landbruket har utgitt veiledningsskrivet: "Kloakkslam på jordbruksarealer". Skriftet tar sikte på å gi allsidige råd til de som bruker kloakkslam.

Til trykking av rapportene er det gitt en bevilgning fra Statens forurensningstilsyn.

Mai 1983

Einar Vigerust

synes det vanskelig å regne med mer enn 20-40% utnyttelse i forhold til kunstgjødelse, kalkbehandla slam gir trolig best utnyttelse deretter mekanisk slam, mens aluminiumfelt slam kanskje lettest blir inaktivert i jorda.

I Norge er det størst interesse for slam som jordforbedringsmiddel. En vil da helst bruke store mengder slam pr arealenhet på jord i dårlig fysisk tilstand. Det kan tilføres fosfor-mengder som svarer til det samla behov for P-gjødelse for 10-20 år framover. Ved slike doseringer må en regne med en gradvis inaktivering med tiden.

Ut fra vårt forsøksmateriale er det vanskelig å si noe generelt om hvilken tilgjengelighet en kan vente av fosfor. Ved bruk av store mengder slam på jord som ikke er fosforfattig bør vi regne med at 2 tonn slamtørrstoff vil dekke plantenes P-gjødelse-behov i ca 3 år, for kalkfelt slam trolig litt lenger tid og for Al-felt slam kanskje bare 2 år.

En dansk forskningsrapport (HANSEN og TJELL, 1981) konkluderer med at en primært bør dosere slammene etter plantenes behov for fosfor og foreslår 100-200 kg slamtørrstoff pr dekar som en høvelig mengde. Større doseringer vil gi redusert utnyttelses-grad.

I vårt land er det neppe interesse for å bruke så små slammengder pr arealenhet. Det kan også være forbundet med visse praktiske ulemper. Det er ønskelig at slammene lagres samlet (kortere eller lenger tid) nær spredningsarealet. Spredning av en gitt slammengde på et stort areal vil medføre større kjøreavstander fra lagerplassen enn om en sprer større mengder nær lageret. Norske anbefalinger går mer ut på å nytte relativt store slammengder på jord i dårlig fysisk tilstand.

Hvis slammengden ikke dekker plantenes behov for nitrogengjødelse, må en tilleggs gjødsle med nitrogen som regel også med kalium. Det finnes ikke PK-gjødelse, derfor er en henvist til ensidige gjødselslag om en skal spare fosforgjødsel. Rent praktisk er det en ulempe å bruke ensidige gjødselslag, en må spre hvert enkelt gjødselslag for seg.

En aktuell gjødselmengde pr dekar til korn er 10 kg nitrogen. For noen aktuelle gjødselslag har en denne prisen (pr 10 kg N) levert sjølager, desember, uten moms):

Fullgjødelse C 16-7-12	Kr 87,60
" D 20-5- 9	" 71,20
" 25-3- 6	" 56,40
Kalksalpeter 15,5% nitrogen	" 56,80

40 kg fullgjødelse 25-3-6 (10 kg N) vil også tilføre 2,4 kg kalium som svarer til kr 7,20. Fullgjødelse D (20-5-9) vil tilsvarende tilføre 4,5 kg kalium, det svarer til kr 13,50 i ren kaliumgjødelse (49%). Dette viser at med dagens prisforhold

kan en like billig eller billigere gjødsle med fullgjødsel. Dette forholdet inviterer ikke til bruksmåter av slam hvor en legger hovedvekten på utnyttelse av fosfor i slam.

SAMMENDRAG

Fosforinnholdet i slam er høyt, ofte 1,0-2,5% av tørrstoffet og ca 1,7% i middel.

Andelen av lettløselig fosfor i slammet synes å gå ned når slammet tørker opp.

I et karforsøk med tilføring av ulike slamtyper i kombinasjon med fosforgjødsel til fosforfattig jord har tilføring av fosforgjødsel i tillegg til slam gitt signifikant avlingsøkning. Dette til tross for at det var tilført store mengder fosfor med slammet.

I ulike forsøk med stigende mengder slam er det analysert jord- og planteprøver.

I noen tilfelle har stigende mengder slam medført større fosforinnhold i avlingen, i andre forsøk er fosforinnholdet i avlingen ikke påvirket. En liknende variasjon er påvist i jordas innhold av lettløselig fosfor. Som middel for en rekke forsøk er innholdet av lettløselig fosfor i jorda lite hevet i forhold til det en vanlig får etter bruk av fosforgjødsel.

Som helhet antyder forsøksresultatene at vi må regne med en begrenset utnyttelsesgrad av fosfor i kloakkslam anslagsvis 20-40% av det en får av fosfor i kunstgjødsel. Det synes å være klart at en får best utnyttelse av fosfor tilført med kalkfelt eller kalkbehandla slam. Resultatene antyder også at fosfor i mekanisk felt slam utnyttes litt bedre enn i jernfelt slam. Det er indikasjoner på at fosfor i aluminiumfelt slam blir lettere inaktivert i jorda enn de andre slamtypene.

Det er referert utenlandske undersøkelser som konkluderer med at fosfor i slam har nær samme tilgjengelighet som fosfor i kunstgjødsel. Enkelte publikasjoner viser imidlertid stor variasjon i tilgjengeligheten av fosfor i slam. Selv om det er utført en rekke forsøk vedrørende slammets tilgjengelighet av fosfor så synes ikke spørsmålet fullt klarlagt, det er bl a vanskelig å gi en sikker forklaring på hvorfor det kan være så vidt stor variasjon i slammets fosforeffekt i ulike forsøk og i ulike undersøkelser. Det synes være klart at ulik kjemisk felling bare kan forklare en del av denne variasjonen. Som helhet synes det vanskelig å forutsi hvilken fosforeffekt en kan vente av slammet under ulike forhold. Som et holdepunkt kan vi regne med at tilføring av ca 2 tonn slamtørrstoff vil tilføre fosfor nok til korn for ca 3 år framover, for kalkfelt slam litt lenger og for aluminiumfelt slam kanskje bare 2 år.

GJØDSELEFFEKT AV FOSFOR I KLOAKKSLAM

Av

Einar Vigerust

INNHold

Innledning

Fosforinnhold i slam

Tilgjengelighet av fosfor i slam

Metoder
Egne undersøkelser
Andre undersøkelser

Diskusjon

Sammendrag

Litteratur

Fra Finland har KOSKELA (1980) rapportert om fosforinnhold i jernfelt slam på hele 3,4-4,7% av tørrstoffet.

Et stort analysemateriale fra Sveits viser at fosforinnholdet i slam har økt fra 1,1% av tørrstoffet i 1971 til 2,7% som middel for 1978/79. Økningen tilskrives overgang til kjemisk felling (FURRER og BOLLINGER, 1980).

I 250 slamprøver fra USA har SOMMERS (1977) funnet et midlere innhold på 2,3% med variasjon fra 0,1-14%.

I Nederland varierte fosforinnholdet i 570 slamprøver fra 0,5-4,1% med 2,0% som middel (DE HAAN, 1980).

En tysk litteraturoversikt angir variasjonen i fosforinnholdet i slam til 0,59-3,2% av tørrstoffet (PLATZEN, 1974).

I følge KICK (1980) utgjør organisk fosfor ca 20% av slammets totalinnhold.

TILGJENGELIGHET AV FOSFOR I SLAM

Metoder

Det er brukt ulike metoder for å klarlegge tilgjengeligheten av fosfor i slam.

- a) Analyser av ekstraherbart fosfor, f eks sitratløselig fosfor.
- b) Vekstforsøk

En kan her sammenligne avlingsutslag for en gitt mengde fosfor i slam og kunstgjødsel og i kombinasjon. I prinsippet er dette den mest pålitelige metoden. Dette krever at jorda har så lavt fosforinnhold at en får avlingsutslag for fosfor.

Fosforinnhold i avlingsprøver (pst. P) og fosforopptak i en gitt avlingsmengde kan også gi en indikasjon om fosfortilstanden i jorda.

Bestemmelse av jordas innhold av lettløselig fosfor er en vanlig metode for bl a praktisk veiledning om behov for fosfor gjødsel.

I disse undersøkelsene har en prøvd hver av disse metodene for å klarlegge slammets tilgjengelighet for plantene.

EGNE UNDERSØKELSER

Innhold av lettløselig fosfor i slam

I forbindelse med enkelte undersøkelser er innholdet av lettløselig fosfor, P-Al, bestemt i slamprøver.

I et forsøk for å klarlegge stoffbalansen i slam ble det brukt Al-felt slam med 23% tørrstoff. Totalinnholdet av fosfor var 1,45% av tørrstoffet. Ved forsøksstart først i juli var P-Al

innholdet i fosfor løselig i 2% sitronsyre som pst. av totalfosfor i slam og relativ fosforutnyttelse i forsøkene ($r=0,94$). Andelen av sitronsyreløselig fosfor i slam synes å være et godt mål for fosforutnyttelsen.

Forfatterne fant det vanskelig å forklare den store forskjellen i fosforeffekt av slam fra ulike renseanlegg, det var f eks ingen klare forskjeller mellom ulike fellingsmidlene.

I USA fant GESTRING og JARREL (1982) økt fosforinnhold i avlingen av sukkerbeter etter stigende fosfortilførsel til jord med gjødsel og ulike slamtyper. Fosforgjødsel medførte større økning i innholdet av lettløselig fosfor i jord fra to steder enn samme fosformengde i ulike slamtyper. I jord fra et tredje sted hadde ulike fosforkilder nær samme effekt på innholdet av tilgjengelig fosfor. Fosfor fra Al-felt slam syntes å ha litt mindre virkning på jordanalysetallene enn fosfor i Fe-felt og mekanisk felt slam.

POMMEL (1980) fant at fosfor i slam var lite tilgjengelig for raigras først i veksttida, mens en vesentlig større andel var tilgjengelig for plantene seinere i veksttida. Dette resultatet synes å stemme godt med resultatet fra det norske karforsøket til korn, hvor en hadde mest markert utslag for fosforgjødsel i tillegg til slam først i veksttida.

DISKUSJON

I alt er det utført en rekke undersøkelser for å klarlegge tilgjengeligheten av fosfor i kloakkslam og det er brukt forskjellige undersøkelsesmetodikk.

I Sveits tar en f eks sikte på å bestemme tilgjengeligheten av fosfor i slam ved ekstraksjon i 2% sitronsyre (GUPTA og HANI, 1979). I slam fra ulike renseanlegg fant de store variasjoner i andelen av løselig fosfor i pst. av totalinnholdet (26-100%), variasjon hadde liten sammenheng med rensemetoden.

Som helhet antyder de norske forsøksresultatene at det kan være store forskjeller i tilgjengeligheten av fosfor i slam. Dette kan både skyldes jordbunnsforholdene og egenskaper ved slammets.

Undersøkelsene tyder på at fraksjonen av lettløselig fosfor blir redusert når slammets tørker opp. Normalt er det høyt jerninnhold i slammets, ved opptørring oksyderes jernet til treverdige form som kan felle ortofosfat. En slik reaksjon kan muligens forklare at det ikke blir så klare forskjeller i fosforvirksomhet av ulike typer slam.

Et karforsøk med korn har gitt signifikant større avlinger for fosforgjødsel i tillegg til slam som har tilført jorda store fosformengder. Forsøket tyder på at fosforets tilgjengelighet avtar i denne rekkefølge: Kalkfelt slam, mekanisk slam, jernfelt slam og aluminiumfelt slam.

I prinsippet vil avlingsutslag være det sikreste mål for plante-tilgjengeligheten av fosfor i slam. I flertallet av undersøkelser har det likevel ikke vært avlingsutslag for fosfor. Tilgjengeligheten av fosfor i slam er derfor vurdert etter plantenes innhold (%P), opptaket i avlingen eller jordas innhold av letttilgjengelig fosfor. Plantenes prosentiske innhold vil normalt være en del påvirket av avlingsstørrelsen, det gjelder enda mer mengde fosfor i avlingen.

Det er vanlig antatt at plantene ikke har noe "luksusopptak" av fosfor, her kan det likevel være forskjeller bl a avhengig av vekstene. Ut fra de norske undersøkelsene er det ikke noen enhetlig sammenheng mellom slamtilførsel og plantenes fosforinnhold. I enkelte av våre forsøk har tilførsel av slam tydelig hevet det prosentiske innholdet av fosfor i avlingen. Dette må tolkes som en bedret fosforforsyning for plantene. På den andre siden er det en rekke forsøk hvor fosforinnholdet i plantene ikke er påvirket av slam blanda inn i jorda. Det synes å være en tendens til at tilføring av slam påvirker P-innholdet i plantene mer i karforsøk enn tilfelle har vært i markforsøk.

I en rekke utenlandske karforsøk er det påvist økt fosforopptak etter tilføring av kloakkslam, og det er sluttet at utnyttelsen av fosfor fra slam er god. (bl a JANSSON, 1970, LARSEN og DAMGAARD-LARSEN, 1981, TIMMERAMNN m fl 1981, GESTRAND og JARREL, 1982, GUPTA og HANI, 1979). På samme grunnlag hevder de HAAN (1980) at det er stor variasjon i tilgjengeligheten av fosfor fra slam som ikke er kjemisk felt mens jern- og aluminiumfelt slam kan være utilgjengelig for plantene.

I et finsk karforsøk med raigras fant KOSKELA (1980) i 2-4 vekst-år avlingsutslag for fosforgjødsel i tillegg til slam tilført ulike jordarter. En stor fosformengde gitt med slam ved forsøkets start har ikke gitt tilfredsstillende P- forsyning for plantene i seinere år. I første vekstår har slammet likevel medført økt fosforinnhold i plantene. Dette forsøket antyder at det kanskje ikke er lett å kvantifisere slammets fosforeffekt i forhold til handelsgjødsel ut fra plantenes opptak.

I de norske forsøkene har tilføring av slam ført til en viss stigning i innholdet av letttilgjengelig fosfor i jorda (P-AL). I middel for flere forsøk svarer økning til ca 6% av fosformengdene tilført med slam, dette må betraktes som lite i forhold til det en normalt vil ha etter fosforgjødsel, f eks tilført mange år tidligere (UHLEN og STEENBERG, 1982)

Virkningen av slam på jordas innhold av letttilgjengelig fosfor har variert sterkt fra forsøk til forsøk, en variasjon som det er vanskelig å finne en fullgod forklaring på.

Etter en samla vurdering av forsøksresultatene og de refererte undersøkelsene synes det vanskelig å forutsi hvor stor utnyttelsesgrad en kan vente av fosfor i slam. Resultatene antyder at det kan være stor variasjon. Etter de norske undersøkelsene

INNLEDNING

Ved kloakkrensing legger en i dag særlig vekt på å fjerne fosfor fra avløpsvannet. Kloakkslam har derfor høyt fosforinnhold. Den samla mengden av kloakkslam i Norge inneholder anslagsvis vel 1000 tonn fosfor. Med samme tilgjengelighet som fosfor i kunstgjødsel ville verdien vært 13-17 mill. kr og skulle evt. tilsvare fosforbehovet for over 500 000 dekar.

Det er nødvendig å stille spørsmålet: Hvilken tilgjengelighet har fosfor i slam for plantene på kort og lengre sikt? Det siste er viktig fordi det vi har regnet som en aktuell slammengde til jordbruksformål, kan tilføre 30-50 kg fosfor pr dekar dvs 10-15 ganger det årlige gjødselbehov til korn. Hvordan kan en ved praktisk gjødsling få utnyttet disse fosformengdene?

I renseanleggene blir fosforet vanlig felt ved kjemi-kalier, kalk eller salter av jern og aluminium. Disse gir felling av fosfater i kloakkslammet. Det er frykt for at kjemisk felling kan redusere tilgjengeligheten av fosfor for plantene. Fellings-kjemikalier tilsettes i overskudd, evt. kan disse til og med føre til at letttilgjengelig fosfor i jorda blir bundet i en utilgjengelig form? Det er ønskelig å få klarlagt hvor vidt ulike fellingskjemikalier kan medføre ulik tilgjengelighet av fosfor i slam.

FOSFORINNHold I SLAM

Fosforinnholdet i slam er avhengig av innholdet i kloakkvannet. En må vente en variasjon i fosforinnholdet i slam fra ulike renseanlegg, også fordi det nyttes ulike rensemetoder.

Det blir ikke gjennomført systematiske analyser av plantenæringsstoffer i kloakkslam. I forbindelse med ulike undersøkelser ved Institutt for jordkultur er fosforinnholdet i slam bestemt (tabell 1).

Tabell 1. Fosforinnhold i ulike slamtyper, pst. av tørrstoffet

	Antall prøver	Middelinnh.	Variasjon
Septiktankslam	9	0,52	0,25-1,00
Mekanisk slam	15	0,67	0,35-1,49
Al-felt slam	22	1,94	1,04-4,03
Kalk/Fe-felt slam	25	1,62	0,63-2,35
Al/Fe-felt slam	30	2,17	1,68-3,44
Kalkfelt slam	8	1,22	0,50-1,54
Fe-felt slam	5	1,85	0,57-2,28
Middel	114	1,60	0,25-4.03

Kjemisk felling medfører høyere fosforinnhold i slammet.

Sammenstillinger fra utlandet viser enda høyere fosforinnhold enn våre analyser antyder.

Disse resultatene tyder på at andelen av lett-løselig fosfor avtar når slammene tørker opp i lagringstida. Dette stemmer ikke med resultatene fra det første forsøket med slam i drenererte og udrenerte kar, men slammene var lite opptørket selv i overflaten av drenererte kar.

I lagra slam med under ca. 25% tørrstoff vil en ha anaerobe forhold. Her vil jernet forekomme i 2-verdig form og er løselig. Ved opptørking vil det skje en oksydasjon til 3-verdig form og som kan gi felling av fosfationer. Ulike analyser viser at slam har et høyt innhold av jern (2-9% av tørrstoffet, mens jernfelt slam kan inneholde opp til 30% jern).

Karforsøk med ulike typer kloakkslam og fosforgjødsel til havre
Forsøket er utført i middels fin sand tatt fra udyrka jord. Jorda var fosforfattig, P-AL 0,3 mg/100 g.

Forsøksplan				
Uten slam,	Po, P3, P6 og P9	*		
2 tonn slamtørrstoff,	mekanisk felt,	Po og P6	*	
2 "	"	jernfelt,	"	
2 "	"	aluminiumfelt,	"	
2 "	"	kalkfelt,	"	

* Po, P3, P6 og P9 står for ulik fosforgjødsling som tilsvarende henholdsvis 0, 3, 6 og 9 kg fosfor pr dekar.

Forsøket er gjennomført med to kalkingstrinn
a) 150 kg CaO/dekar, pH ca 5,5
b) 450 " " pH ca 6,6

Forsøksvekst: havre, 3 paralleller for hvert forsøksledd. Forsøket har gått i årene 1980-82, de to siste årene med noe færre ledd for største kalkmengde.

Alle kar er tilført kaliumgjødsel tilsvarende 12 kg kalium pr dekar. Første året var forsøksledd uten slam tilført 12 kg N/dekar, mens ledd med slam ble gjødslet med 4 kg nitrogen/dekar. Dette er gjort ut fra en stipulert N-effekt i tilført slam som svarer til 8 kg/dekar. Vi må likevel regne med at nitrogeneffekten i hver slamtype vil avvike fra dette. Slamtypene kan også på andre måter påvirke avlingen. En har derfor lagt vekt på å sammenligne avlingen for hver enkelt slamtype med og uten fosfor.

Prøver av slammene ble først analysert etter at forsøket var startet. De viste stor forskjell i fosforinnhold mellom slamtypene. Dette framgår av tabell 2 sammen med relative avlingstall, og 1000 kornvekt.

I forhold til gjødselbehovet er det tilført meget store fosformengder med slammene.

Slambehandlingen har ikke medført høyere fosforinnhold i plantene, det var snarere en motsatt effekt, særlig i halm. Det kan skyldes at tilføring av slam har økt avlingene særlig første året.

Bruk av slam medførte i middel tydelig høyere innhold av lett-løselig fosfor i jorda. Det var imidlertid tydelig variasjon i slammets effekt på P-AL-tallene fra felt til felt.

Av forsøksmateriale til MARTINSEN (l.c.) har jeg beregnet at i middel for alle forsøkene har tilførsel av 3 og 6 tonn slamtørrstoff pr dekar hevet P-AL-tallene med henholdsvis 13 og 12% av tilført fosformengde pr dekar.

I to markforsøk fant TORP (hovedoppgave 1980) ingen endring i fosforinnhold i korn- og halmprøver etter tilføring av ulike slammengder. Slam ga heller ingen økning i jordas innhold av lett-løselig fosfor, P-AL.

Karforsøk utført av Martinsen (1976 b) synes å tyde på at bruk av slam lettere hever fosforinnholdet i grasarter enn tilfelle for korn og halm.

Når en ser resultatene av alle slamforsøkene under ett synes det å være en tendens til at kloakkslam lettere har gitt høyt fosforinnhold i planteprøver fra karforsøk enn fra markforsøk. I karforsøk er det alltid jevn vanntilgang. ØDELIEN (1967) har påvist at plantene vanskeligere tar opp fosfor fra jorda når det er ujevn og til dels knapp tilførsel av vann for plantene.

Utenlandske forsøk

I Sverige utførte JANSSON (1970) karforsøk med jernfelt og aluminiumfelt slam tilført fosforfattig og fosforrik jord. Tilgjengeligheten av fosfor var vurdert etter optaket av fosfor i avlingsprøver av raigras.

JANSSON (l.c.) konkluderte med at jernfelt fosfor er noe lettere tilgjengelig for plantene enn aluminiumfelt slam. Fosfor i Al-felt slam var likeverdig med P i superfosfat på fosforfattig jord og litt underlegen overfor P-gjødsel på fosforrik jord.

I karforsøk med raigras har KOSKELA (1980) kombinert tilføring av slam og fosforgjødsling. Dermed har hun fått fram plantenes reaksjon på fosfor i slam.

Forsøket var utført med jernfelt slam, 4 tonn tørrstoff pr dekar som engangstilførsel. Det ble nyttede ulike jordarter, alle med lavt fosforinnhold. Fosforgjødsel i tillegg til slam har for de ulike jordartene gitt 0-17 (middel 9) % høyere avling som et middel for 4 år. Det var således store utslag for fosforgjødsel i tillegg til slam til tross for at det var tilført store mengder fosfor med slammene.

I middel for alle jordarter tilført slam var det ingen avlingsøkning for fosforgjødsel 1. år (i tillegg til slam), 9% avlingsøkning 2. år og tilsvarende 28 og 22% i henholdsvis 3. og 4. år. Slammet har således bare gitt nok fosfor til å begynne med.

Tilføring av slam i tillegg til fosforgjødsel har nokså regelmessig gitt høyere fosforinnhold i graset. Det samme gjelder fosforitlførsel i tillegg til slam.

I Danmark har LARSEN og DAMGAARD-LARSEN (1981) utført karforsøk med ulike typer kjemisk felt slam med raigras som forsøksvekst. Slammengden var tilpasset slik at det ble tilført like mengder fosfor. Det var også stigende mengder fosforgjødsel uten slam. Slammets fosforeffekt er vurdert etter plantenes fosforinnhold samt etter innholdet av letttiløselig fosfor i jorda.

Tilføring av fosforgjødsel og slam har begge medført små endringer i plantenes konsentrasjon av fosfor.

Tilføring av fosforgjødsel og samme fosformengde i ulike typer slam har ført til omtrent samme heving av jordas innhold av letttiløselig fosfor (Pt).

Forfatterne konkluderer med at fosfor tilført med ulike typer slam har omtrent samme effekt som superfosfat.

I Nederland har DE HAAN (1980) i karforsøk sammenlignet fosforopptaket i raigras etter tilføring av superfosfat og ulike typer slam. Det samlede fosforinnholdet i avlinga har økt både med stigende mengder fosforgjødsel og stigende mengder slam. Tilgjengeligheten av fosfor i slam som ikke var kjemisk felt varierte fra 20-100% av det en hadde for P i superfosfat. Fosfor i rent kjemisk slam felt med Al- og Fe-salt "var ikke tilgjengelig for plantene" mens kalk som fellingsmiddel ikke hadde noen negativ effekt på tilgjengeligheten, i forhold til mekanisk slam.

DE HAAN (l.c.) konkluderer med at fosforopptaket i plantene etter bruk av slam varierer og at opptaket fra slam kan være lavt.

TIMMERMANN m flere (1980) har utført karforsøk med ulike slamtyper til raigras og har bestemt eddiksyreløselig fosfor i ulike typer slam. De konkluderer med at fosfor i slam etter kjemisk felling nesten har samme tilgjengelighet som gjødsel fosfor.

GUPTA og HANI (1979) har utført flere karforsøk med fosforgjødsel og ulike typer slam og med raigras som forsøksvekst. De har beregnet relativ fosforutnyttelse for hvert ledd som opptatt fosfor i pst. av opptatt fosfor for ledd tilført superfosfat. Den relative utnyttelsen av fosfor i ulike slamtyper varierte fra 37 til 100%. For hver slamtype fant de dårligere relativ fosforutnyttelse i kalka jord (pH 7,4) enn i ukalka jord (pH 5,3). De fant en meget nær sammenheng mellom

i middel 587 mg/100 g tørt slam, som tilsvarer 41% av totalinnholdet. Ved prøvetaking i oktober ble det målt følgende innhold av letttiløselig fosfor P-Al (mg/100 g).

Sjikt	Udrenerte kar		Drenerte kar	
	P-Al	% av total	P-Al	% av total
0-10 cm	262	18	328	23
15-25 "	287	20	369	25
30-40 "	283	20	380	26

Forsøket var utført for å undersøke bl a utvaskingen fra slam. Fosforinnholdet i sigevannet (fra drenerte kar) var helt ubetydelig. Forsøket ble utført med 3 paralleller. I løpet av lagringstida har det skjedd en betydelig reduksjon i slammets innhold av letttiløselig fosfor. Det var signifikant høyere P-Al i kar med drenering ($F=12,7^{**}$). Slam i kar uten drenering var mesteparten av tiden vannmettet.

Samme type slam ble om våren lagt ut i mange hauger, hver på 1 kontainerlass. Halvparten av haugene var tilsådd. Ved lagring i løpet av sommeren tørket slammet opp i overflaten, mest i slam med plantevekst. Om høsten ble bl a innholdet av letttiløselig fosfor, P-Al, bestemt i ulike sjikt av lagra slam:

Sjikt	Uten vegetasjon			Med vegetasjon		
	P-Al	TS%	% av tot-P	P-Al	TS%	% av tot-P
0-10	409	21	28	375	26	26
10-20	443	20	31	403	23	28
20-30	470	21	32	427	22	29
50-60	501	21	35	450	23	31

I et tilsvarende forsøk med jern-kalk felt slam var total P-innhold 1,3% av tørrstoffet og P-Al om våren 474 (37% av tot-P.)

Ved prøvetaking om høsten hadde en følgende P-innhold i ulike sjikt:

Sjikt	Uten vegetasjon			Med vegetasjon		
	P-Al	TS%	% av tot-P	P-Al	TS%	% av tot-P
0-10	94	29	7	82	43	6
10-20	136	29	11	123	31	10
20-30	137	29	11	132	30	10
50-60	145	29	12	136	30	11

En felles statistisk beregning for begge slamtypene viser at det er signifikant forskjell mellom P-Al tall fra ulike sjikt ($F=14,3^{***}$). Planteveksten har ført til sterkere opptørking og signifikant lavere P-Al tall ($F=9,7^*$)

I tilsvarende prøver av lagra, jernfelt slam ble det om høsten målt P-Al-tall på 60 mg/100 g tørt slam, det tilsvarer bare 4% av totalinnholdet i slammet.

gjort seg fosforet bedre etter hvert som rotmassen er blitt større.

Plantetilgjengeligheten av fosfor har sammenheng med jordas pH. Det var antatt at fosfor felt med jern eller aluminium er særlig sterkt bundet ved lav pH i jorda. I forsøket ble det mellom de to pH-nivåene ikke påvist noen forskjeller i avlingsutslag for fosfor, fosforinnhold i kornet eller i innhold av lett-løselig fosfor i jorda. I tabellen er det derfor bare gjengitt middeltall for de to kalktrinnene.

Første vekstår hadde kalkfelt og mekanisk slam best fosforeffekt (etter avlingstallene) mens plantene hadde vanskeligst for å nyttiggjøre seg fosfor fra Al-felt slam.

Forsøket fortsatte i 1981 og 82 uten ny tilførsel av slam. Det ble gjødslet etter samme plan som året før bortsett fra at nitrogenmengdene for kar med slam ble økt til 8 og 12 kg N pr dekar i henholdsvis 1981 og 82 (det siste som ledd uten slam). Enkelte av leddene med største kalkmengde ble sløyfet i 1981 og 1982. Resultatene framgår av tabell 3.

Tabell 3. Karforsøk med tilføring av ulike typer slam i kombinasjon med fosforgjødsel. Relativ avling, P6 = 100. 1981 og 1982.

Slam	Kg CaO dekar	Årlig P- gjødsel kg/dekar	Relativ avling 81		Relativ avling 82	
			korn	halm	korn	halm
1980	1980					
0	0	0	17*	17*	10*	25*
0	0	3	89	67	79	76
0	300	3	100	72	84	80
0	0	6	100	100	100	100
0	300	6	94	100	104	104
0	0	9	83	106	101	113
Mek. slam	0	0	80	53*	38*	39*
	0	6	100	100	100	100
Fe- slam	0	0	82	76*	51*	45*
	0	6	100	100	100	100
Al- slam	0	0	83*	65*	64*	59*
	300	0	94	65*	53*	47*
	0	6	100	100	100	100
	300	6	106	100	105	93
Kalk- slam	0	0	90	75*	70*	72*
	0	6	100	100	100	100

* Signifikant lavere avling enn for samme behandling med 6 kg P i tillegg.

Tabell 8. Fosforinnhold i ulike vekster og ulike plantedeler dyrket i matjord, rent slam og blanding slam/matjord, pst. P av tørrstoffet.

	Uten slam (matjord)	Slam/matjord 1:1	Rent slam 40 cm
P-AL mg (100 g jord)	15	59	52
Havre, korn	0,50	0,54	0,72
halm	0,13	0,30	0,16
Bygg, korn	0,44	0,37	0,38
halm	0,073	0,053	0,093
Raigras	0,26	0,35	0,33
Forraps, blad	0,53	0,42	0,43
stengel	0,37	0,25	0,21
Formargkål, blad	0,38	0,41	0,37
stengel	0,33	0,28	0,29
Gulrot, blad	0,24	0,22	0,19
rot	0,24	0,22	0,15
Salat, blad	0,31	0,82	0,64

Karforsøk

I et karforsøk ble ulike mengder og ulike typer slam sammenlignet og med plengras som vekst. Innholdet av fosfor i jord- og planteprøver er gjengitt i tabell 9.

Tabell 9. Fosforinnhold i jord- og grasprøver fra karforsøk med ulike typer slam.

	P-AL			% P i gras		
	Slammengder tonn			TS/dekar		
	0	3	6	0	3	6
Al/Fe-felt slam	4,5	10	24	0,19	0,31	0,38
Fe/Ca-felt slam	4,5	8	12	0,19	0,25	0,25
" " , kalkbeh.	4,5	14	12	0,19	0,26	0,28
Al-felt slam, kalkbeh.	4,5	10	40	0,19	ingen avling	
Kalk-sjøvannsfelt 15% CaO	4,5	5,5	7,5	0,19	0,22	0,25
25% CaO	4,5	8,5	10	0,19	0,22	0,27

Tilføring av stigende mengder slam har regelmessig hevet innholdet i grasprøvene. Det var signifikant positiv korrelasjon mellom tallene for jord- og planteanalyser ($r = 0,88^{***}$).

Ettersom det var brukt blandingstyper av slam er det vanskelig å trekke noen konklusjon om hvordan ulike fellingskjemikalier har påvirket tilgjengeligheten av fosfor.

I et annet karforsøk med plengras dyrket i ulike vekstmedia ble jord- og planteprøver analysert for fosfor (tabell 10).

Tabell 10. Fosforinnhold i jord- og avlingsprøver i forsøk med sandjord, ulike typer slam og i blandinger.

	pH	P-AL	%P i gras
a) Sandjord	7,6	37	0,24
b) Godt omsatt slam	5,7	347	0,38
c) Godt omsatt slam blandet med sandjord (vol. forhold 1:1)	6,7	235	0,30
d) Middels omsatt slam	5,8	416	0,41
e) Middels omsatt slam bl.m. sandjord (vol.forhold 1:1)	6,3	201	0,42
f) Kalkslam, ferskt	8,0	239	0,48
g) " " bl.m. sandjord (vol.forhold 1:1)	8,0	146	0,33

I en blanding av sand og slam i volumforhold 1:1 vil slammet knapt utgjøre 1/4 av tørrstoffvekta. Innholdet av lettøselig fosfor pr 100 g jord er derfor relativt sett høyere i blandingene av sand/slam enn i det rene slammet. Det kan evt. bety at innblanding av sand i jorda medførte lettere tilgjengelighet av fosforet enn tilfelle i rent slam. En undersøkelse har imidlertid vist at fosformengden som ekstraheres pr 100 ml avtar sterkt når en øker volum jord til analyse (VIGERUST, 1970)

Fosforinnholdet i gras vokst i sandjord var tydelig lavere enn etter dyrking i slamkompost eller i et blandingsprodukt. De blanda vekstmedia har gitt like høyt fosforinnhold i plantene som rent slam, bortsett fra blanding med kalkslam.

På grunn av nitrogen gjødsling av forsøksledd uten slam var det ikke store avlingsforskjeller mellom leddene.

Andre undersøkelser

Norske forsøk

MARTINSEN (1976 a og b) har utført flere mark- og karforsøk med kloakkslam. I de fleste av forsøkene er jord- og planteprøver analysert bl a for fosfor. I tabell 11 er gjengitt en sammenstilling av 10 forsøk med slam til korn.

Tabell 11. Innhold av fosfor i jord- og planteprøver, middel av 10 forsøk med stigende mengde slam. Etter MARTINSEN (1976 a og b).

	Slammengde, tonn tørrstoff pr dekar		
	0	3	6
1. år P-pst i korn	0,43	0,43	0,43
2. år " " (ettervirkn.)	0,37	0,38	0,38
1. år P-pst i halm	0,11	0,17	0,16
2. år " " (ettervirkn.)	0,10	0,09	0,08
P-AL eng P/100 g tørr jord	7,7	10,3	12,3

Tabell 2. Karforsøk med tilføring av ulike typer slam i kombinasjon med fosforgjødsel. Rel. tall P6 = 100 1980.

	Kg P/dekar		Rel. tall		1000 k.v.
	i slam	i gjødsel	korn	halm	
	0	0	7*	20	72
Uten	0	3	87	95	94
slam	0	6	100	100	100
	0	9	105	105	104
Mek.	11	0	88	80*	86
slam	11	6	100	100	100
Fe-	22	0	72*	70*	93
slam	22	6	100	100	100
Al-	38	0	42*	53*	82
slam	38	6	100	100	100
Ca-	10	0	84	81*	99
slam	10	6	100	100	100

* Signifikant effekt av fosforgjødsel i tillegg til slam

I forhold til gjødselbehovet er det tilført meget store fosformengder med slammet.

Med aluminiumfelt slam er det tilført hele 38 kg fosfor pr dekar. Tiltross for dette var kornavlingen bare 42% av avlingen i kar tilført 6 kg P pr dekar i kunstgjødsel i tillegg.

For jernfelt slam var det tilsvarende tilført 22 kg fosfor pr dekar som har gitt 72% kornavling av kar med kunstgjødsel-P i tillegg.

Med mekanisk felt og kalkfelt slam ble jorda tilført mindre fosfor likevel hadde disse slamtypene tydelig bedre fosforeffekt enn tilfelle for jern- og aluminiumfelt slam.

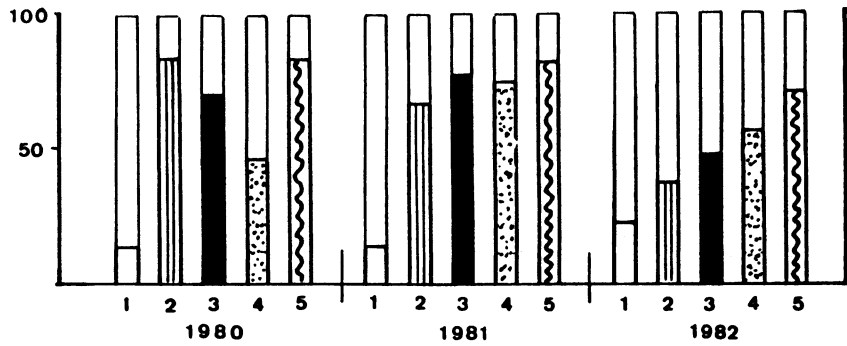
Det var særlig store utslag i forsøket først i veksttida, forskjellene mellom leddene ble gradvis mindre utover sommeren. Fosforforsyningen må ha vært særlig knapp mens plantene var små. Plantene på fosforfattig jord holdt seg lenge grønne og hadde tydelig forsinket modning. Dette skyldes trolig mest en forskjøvet vegetativ vekst, men det er også vanlig å regne med at fosformangel forsinket modningen.

Tilgjengeligheten av fosfor i slam kan ha bedret seg utover i vekstsesongen, men det er også mulig at plantene har nyttig-

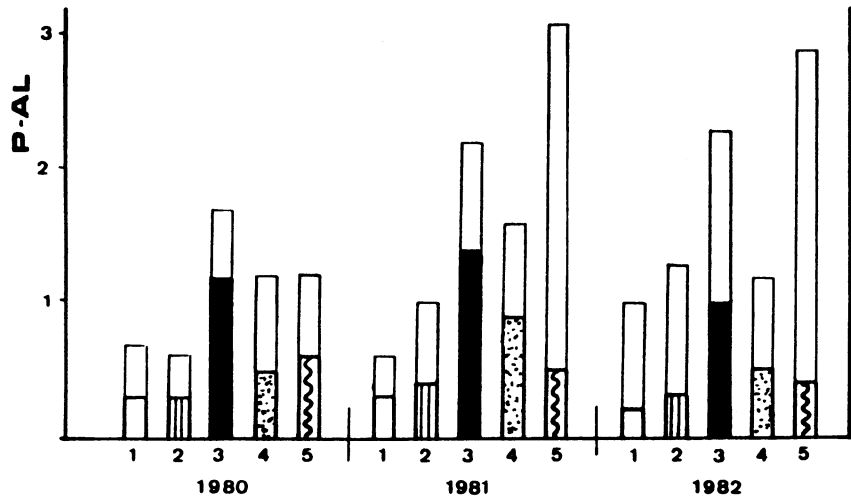
Fig. 1. Virkningen av 6 kg P/dekar som tillegg

1. Uten slam
2. Mekanisk slam
3. Jernfelt slam
4. Aluminiumfelt slam
5. Kalkfelt slam

Slammengde 2 tonn tørrstoff/dekar



1a. Relativ avling for 10, med 6 kg P/dekar = 100



1b. P-AL mg/100 g jord. Nedre del av hver søyle uten P, hel søyle med 6 kg P/dekar.

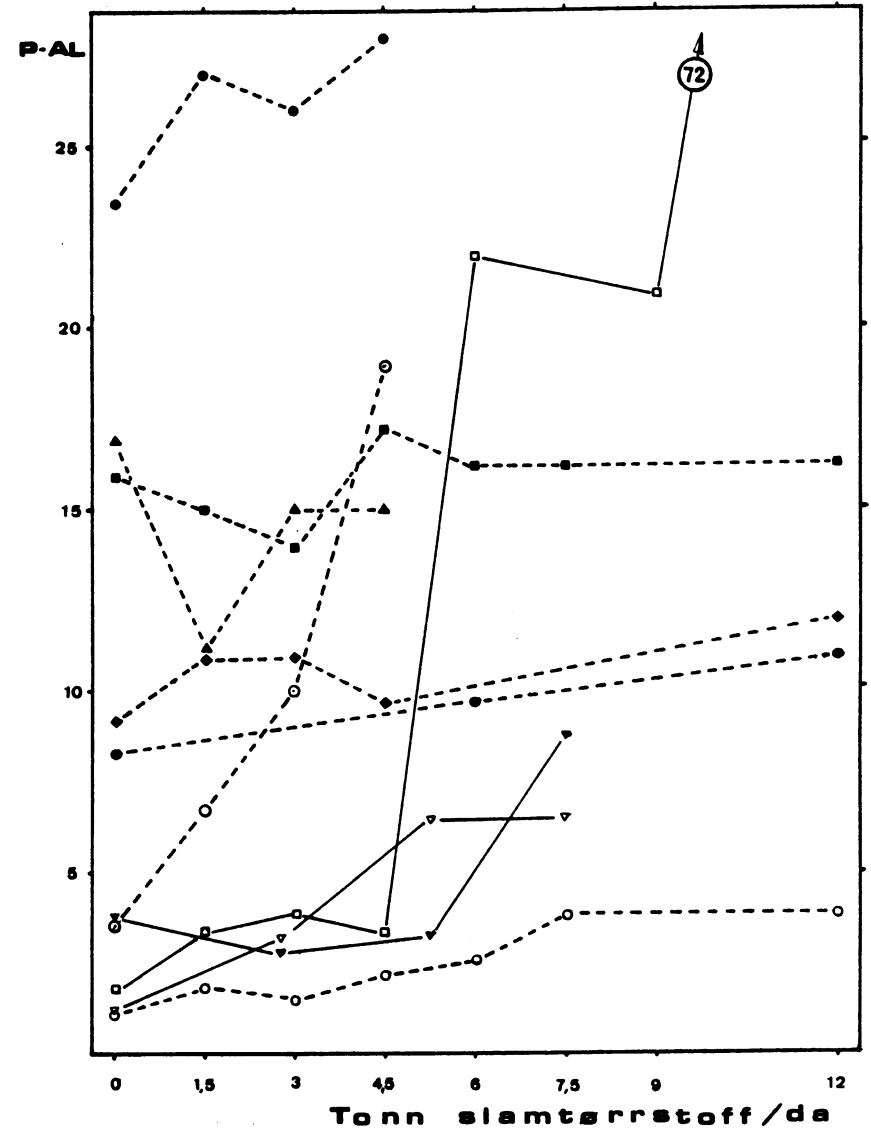


Fig. 2. Innhold av lettøselig fosfor i jorda, P-AL, ved stigende mengde kloakkslam i ulike vekstforsøk.

— Helstrukne linjer gjelder forsøk med kalkslam
 - - - - - Stipla linjer forsøk tilsatt slam uten kalk
 Figuren illustrerer variasjonen i utslagene.

Det var ikke stor forskjell i fosforinnhold i slammet som var brukt i de ulike forsøkene. Figuren viser at endringene i P-AL-tallene var meget forskjellig i ulike forsøk. I noen forsøk har slamtilførsel gitt en sterk økning i P-AL-tallene, en stor andel av fosforet i slam har ført til økning av den lett-løselige fosforfraksjonen. I flere forsøk er likevel P-AL-tallene endret overraskende lite. I middel for alle 10 forsøkene svarer endringen i den lett-løselige P-fraksjon i jorda bare til 6% av fosfor tilført med 3 tonn slam i forhold til innholdet i jorda uten slamtilførsel, for 4,5 tonn slamtørrstoff tilsvarende 10%. I forhold til P-gjødsel må dette karakteriseres som en liten heving av P-AL-tallene (UHLEN og STEENBERG, 1982). Den ulike effekten som slamfosfor synes å ha på jordas fosfortilstand har en ikke kunnet forklare ut fra slamtype eller jordbunnsforhold.

Det er vanskelig å få en jevn innblanding av slammet i jorda. Det betyr at det kan være vanskelig å ta ut helt representative jordprøver (med samme andel slam). Det er trolig at dette kan forklare litt av variasjonene.

I noen av forsøkene er fosforinnholdet i avlingsprøver bestemt, se tabell 7.

Tabell 7. Fosforinnhold i planteprøver fra forsøk med stigende mengde slam, pst P av tørrstoffet.

	Tonn slamtørrstoff pr dekar					
	0	1,5	3,0	4,5	6	12
Elverum 1 år, havre	0,33	0,37	0,37	0,40		
2 år, havre	0,25	0,25	0,29	0,31		
Setesdal, bygg	0,44		0,44		0,42	
Jeløy, bygg	0,35		0,37	0,36		0,34
Vestby, bygg	0,32		0,33	0,35		
Tynset, gras	0,17	0,21	0,20	0,21		

I forsøket på Elverum har slamtilførsel begge år ført til høyere fosforinnhold i korn. Det var her brukt kalkholdig slam som medførte en sterk økning i P-AL-tallene. I de andre forsøkene har bruk av slam i liten grad endret plantenes fosforinnhold. Av forsøkene medførte slam som ble brukt i Tynset en sterk økning i innholdet av lett-løselig fosfor i jorda.

I et markforsøk ved NLH har en dyrket en rekke ulike vekster i henholdsvis matjord uten slam, blanding av slam og matjord i volumforhold 1:1 og i rent slam (40 cm slam). Fosforinnholdet er bestemt i ulike vekster og i ulike plantedeler, resultatene framgår av tabell 8.

Forsøket var gjødslet på en slik måte at det var små avlingsforskjeller etter behandlingen. De store slammengdene og dermed fosformengdene har hevet fosforinnholdet i enkelte vekster mens innholdet i andre vekster er redusert. Som helhet er det her liten sammenheng mellom plantenes fosforinnhold og samla fosformengde i jord etter ulik behandling.

I 2. forsøksår var det små forskjeller i relativ avling for de ulike slamtypene i forhold til tilført fosfor. I forhold til mengde fosfor tilført med slammet betyr det dårligst utnyttelse for Al-felt slam og dels for Fe-felt slam.

I 3. forsøksår var det minst P-effekt av det relativt fosforfattige mekaniske slammet, mens kalkfelt slam fortsatt hadde god fosforvirkning. I forhold til den fosformengden som er tilført var det tydelig best fosforutnyttelse av kalkfelt slam, særlig når en vurderer alle tre årene.

Fig. 1a viser relativ avling for lo i hvert av forsøksårene. Avlingen for hver slamtype med fosforgjødsel = 100. Fig. 1b viser tilsvarende innhold av lett-løselig fosfor i jorda, P-AL.

Tabell 4 viser innholdet av lett-løselig fosfor i jorda og fosforinnhold i avling.

Fosfor tilført med slam har som helhet gitt en meget liten økning av jordas innhold av lett-løselig fosfor. I forhold til mengde fosfor som er tilført, øker P-AL-tallene mer etter P i gjødsel enn i slam.

Fosfor tilført med mekanisk slam har omtrent ikke hevet innholdet av lett-løselig fosfor i jorda, mens effekten på avlingen var tydelig. P-AL-tallene har hvert år vært høyere i jord tilført jernfelt slam enn i jord tilført aluminiumfelt slam, til tross for at det er tilført nesten dobbelt fosformengde med sistnevnte slamtype.

Kalkfelt slam har hevet P-AL-tallene mer enn jernfelt slam, mens fosforeffekten på avlingen tydelig var best i kalkslam.

Fosforgjødsel i tillegg til slam har hevet P-AL-tallene mest i jord som er tilført kalkslam. Det kan skyldes minst P-binding i den mest kalkrike jorda.

Forsøket gir ingen klar sammenheng mellom avlingsutslag for fosfor i slam og jordas innhold av lett-løselig fosfor.

Gjødsling med fosfor vil sjelden heve fosforinnholdet i plantene nevneverdig, plantene har ikke noe luksuropptak av fosfor. Det er normalt at innholdet i plantene går ned ved stigende avling. En beregning for første år viser en negativ korrelasjon mellom kornavling og fosforinnhold i kornet ($r = -0,75$). Disse forholdene kan gjøre det vanskelig å bygge på plantenes fosforinnhold eller plantenes P-opptak pr kar som mål for fosforvirkningen.

I 2. og 3. forsøksår synes tilføring av fosfor med slam eller gjødsel å ha medført litt høyere fosforinnhold i plantene, det var ikke tilfelle første året. Mengde fosfor opptatt pr kar er mest avhengig av avlingsstørrelsen.

Tabell 5. Karførsøk med tilføring av ulike slamtyper i kombinasjon med fosforgjødsel til raigras. Avling, fosforinnhold i avlingsprøver (%) og opptatt fosfor mg/kar.

Slamtype	Kg P/dekar slam gjødsel dekar	kg Cao	1981 2. høsting		1982 3. høsting		P-AL	
			Avling g/kar	% P	Avling g/kar	% P		
Uten slam	0	0	52	0,13	17	0,09	1981	1982
	0	4	49	0,18	20	0,11	3,8	3,0
	0	8	55	0,19	26	0,13	3,4	3,2
	0	8	54	0,20	27	0,10	4,2	5,3
Mek-slam	22	0	60	0,38	50	0,11	5,3	4,0
	22	8	57	0,41	53	0,18	3,7	3,3
Re-slam	47	0	55	0,22	27	0,14	4,3	4,6
	47	8	58	0,34	44	0,18	27	22
	47	0	63	0,34	44	0,11	4,1	4,1
	47	8	71	0,40	56	0,16	4,1	6,2
	47	8	71	0,40	56	0,16	4,7	4,9
Al-slam	97	0	65	0,30	39	0,12	5,6	6,7
	97	8	62	0,36	49	0,16	8,1	6,4
	97	0	64	0,34	49	0,12	9,8	11,0
	97	8	63	0,40	56	0,16	14,0	12,0
	97	8	69	0,40	56	0,16	14,0	13,0
Ca-slam:	52	0	44	0,43	27	0,15	9,8	7,0
	52	8	49	0,41	32	0,18	13,0	11,0
Ca/Fe-slam	59	0	37	0,34	29	0,15	13,0	11,0
	59	8	41	0,36	36	0,18	12,0	15,0

Karforsøk med ulike typer kloakkslam og fosforgjødsel til raigras.

For å få et sikrere svar på slammets fosforeffekt ble det våren 1981 startet et nytt forsøk med ulike slamtyper i kombinasjon med fosforgjødsel. Det ble brukt middels fin sandjord med P-AL 3,6 og pH 6,8. Noen av forsøksleddene var kombinert med kalking. Veksten var raigras, høstet 4 ganger. Slammengden svarte til 8 tonn tørrstoff pr dekar. Hvert kar var tilført en kaliummengde som svarte til 26 kg K pr dekar. Kar uten slam ble gjødslet med 8 kg nitrogen pr dekar ved start og etter de tre første høstinger. Kar tilført mekanisk, jernfelt og aluminiumfelt slam var tilsvarende gjødslet med 5 kg nitrogen og kalkfelt slam og kalk-jernfelt slam 6 kg nitrogen. Forsøksbehandling og resultater framgår av tabell 5.

Forsøksjorda var valgt med tanke på at en skulle få avlingsutslag for fosfortilførsel, mens raigras er en vekst med stort gjødselbehov. Forsøksresultatene tyder ikke på at det har vært fosformangel i noe forsøksledd. Forsøket har derfor ikke gitt den avklaringen en ønsket.

Forskjellene i avlingene er ikke store og skyldes vesentlig ulik nitrogeneffekt av slammene. To av slamtypene ga en veksthemming første 1-2 måneder etter innblanding i jorda. Denne effekten blir nærmere vurdert i en annen melding.

Det er bare foretatt avlingsanalyser av 2. høsting i 1981 og 3. høsting i 1982. Disse viser at fosforgjødsel i tillegg til slam har gitt økt fosforinnhold i plantene og økt fosforopptak pr kar. Avlingsanalysene antyder at plantene første år tok opp mest fosfor fra mekanisk slam, og ca det dobbelte av opptaket uten fosfor. Andre året var det liten forskjell i opptaket av fosfor fra ulike slamtyper.

Tilføring av slam har hevet plantenes prosentinnhold av fosfor og fosforopptaket i avlingen. Vi kan tolke det som en bedret fosforforsyning.

Tilføring av fosforgjødsel har tydelig økt innholdet av lett-løselig fosfor i jorda, P-AL. I middel er P-AL-tallene første år økt med 25% av tilført fosforgjødsel og tilsvarende 41% etter to år (i forhold til sum tilført gjødsel begge år).

Mekanisk felt slam har ikke hevet P-AL-tallene. Jernfelt slam har i middel for begge år hevet innholdet av lett-løselig fosfor med ca 4% av tilført P med slam. Tilsvarende endringer i P-AL-tallene svarte til 16, 28 og 36% av P tilført med henholdsvis aluminiumfelt, kalkfelt og kalk-jernfelt slam. Det betyr at kalkbehandling av slammene øker andelen av lett-løselig fosfor i jorda. Tilføring av kalk til jorda synes også å øke P-AL-tallene noe.

Det var positiv korrelasjon mellom plantenes prosentiske innhold og jordas innhold av lettløselig fosfor ($r=0,58$ og $0,57$ for henholdsvis 1981 og 1982). Det er vanskelig å si hvilken av disse bestemmelsene som best gir uttrykk for plantetilgjengeligheten av fosfor. Selv om sammenhengen egentlig er liten så antyder det at begge bestemmelsene bør tillegges vekt.

Innhold av fosfor i jord og planteprøver fra forsøk med kloakkslam.

Markforsøk

I ulike vekstforsøk med kloakkslam er det utført analyser av jord- og planteprøver. Forsøkene har ikke vært anlagt med tanke på å klarlegge slammets fosforeffekt. For enkelte forsøksledd er likevel innhold av lettløselig fosfor i jord og innhold av fosfor i avlingsprøver bestemt.

I tabell 6 er gjengitt tall for P-AL og fosforinnhold i avling fra et forsøk med stigende mengde kloakkslam til bygg.

Tabell 6. Fosforinnhold i jord- og avlingsprøver fra et markforsøk med slam ved NLH.

	Slamtildførsel tonn tørrstoff/dekar			
	0	3	6	9
Tilført P/kg dekar	0	62	124	188
P-AL mg/100 g	27	47	55	63
P-AL kg/dekar	68	93	138	150
Økning i P-AL i av tilført (kg/dekar)	-	40	56	48
% P i korn	0,42	0,42	0,45	0,44
% P i halm	0,23	0,19	0,18	0,19

Det ble bruk Al/Fe-felt slam (slam fra to anlegg i Oslo er blandet ved anaerob stabilisering).

Tilførsel av slam har gitt en meget markert økning i innholdet av lettløselig fosfor, P-AL. Innholdet i jorda er økt med 40-50% av fosfor tilført med slam, dette er høye tall også i forhold til det som er vanlig for fosforgjødsel. Jorda på feltet er moldrik lettleire med pH 6,2, pH var senket litt ved stigende mengde slam.

Innholdet av fosfor i plantene er i meget liten grad påvirket av slamtildførselen.

I dette forsøket var det små avlingsutslag for slam i det noe av nitrogeneffekten var kompensert ved N-gjødsel på ruter uten slam.

Fig. 2 viser sammenhengen mellom stigende mengde kloakkslam og jordas innhold av lettløselig fosfor, P-AL, i ulike markforsøk.

Tabell 4. Innhold av lettløselig fosfor i jord, fosforinnhold i avling og opptatt fosfor, mg P/kar

	Kg pr dekar Kg CaO 1980	P-AL		1980		1981		1982	
		1980	1981	% P	oppt/kar	% P	oppt/kar	% P	oppt/kar
Uten	0	0,3	0,3	0,28	4	0,17	5	0,50	10
slam	300	0,4	0,8	0,17	33	0,19	31	0,23	34
		0,3	0,3	0,19	42	0,25	46	0,24	46
		0,6	0,6	0,21	48	0,26	44	0,27	52
		1,1	1,9	0,21	48	0,31	46	0,29	56
Mek-	0	0,3	0,4	0,21	43	0,20	31	0,25	18
felt	6	0,6	0,9	0,25	59	0,30	57	0,28	54
Fe-	0	1,2	1,4	0,28	48	0,22	39	0,31	30
felt	6	1,7	2,2	0,24	57	0,28	61	0,28	51
Al-	0	0,5	0,9	0,35	30	0,25	38	0,24	29
felt	300	0,6	0,9	0,27	56	0,23	38	0,27	27
		1,2	1,6	0,27	56	0,28	50	0,29	55
		0,7	2,5	0,31	41	0,31	58	0,31	62
Kalk-	0	0,6	0,5	0,38	41	0,22	31	0,22	31
felt	6	1,2	3,3	0,35	46	0,33	65	0,33	65