

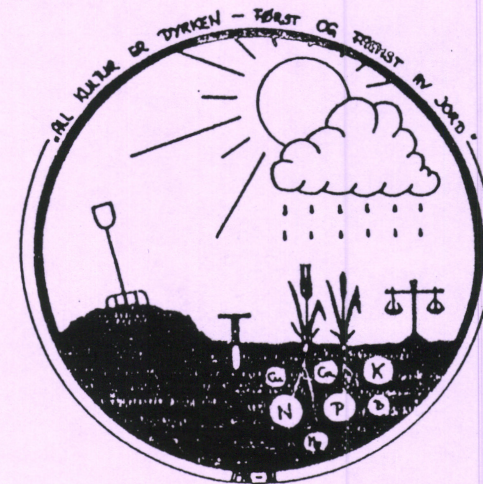
INSTITUTT FOR JORDKULTUR
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
1432 AS-NLH

Serie B 4/83

Kalkholdig kloakkslam -
Metoder, virkning og bruk

Av

Einar Vigerust og Jon Gunnar Weng



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

- KING, L.D. and H.D. MORRIS, 1977. Land Disposal of Liquid Sewage Sludge: II. The Effect on Soil pH, Manganese, Zinc, and Growth and Chemical Composition of Rye (*Secale cereale* L). *J. Environ. Quality*, Vol. 1, No. 4: 425-429.
- MARTINSEN, J. 1976. Kloakkslam som gjødsel og jordforbedringsmiddel. Stensiltrykk NLH 221 s.
- MEYER, H. and V. ZIES, 1977. Erfahrung und Probleme der Klärschlammeverwertung in Form von Kalkdünger. *Korrespondenz Abwasser* 24 s 46-51.
- MOLLAND, O. 1980. Kompostering av råslam. *Vann* 1B s 12-18.
- MUNKEBY, O. 1978. Betenkeligheter ved bruk av slam. Potet-cystenematoder (potetål). Høgskoledagene ved NLH. Kloakkslam - Behandling og bruk. Landbruksforlaget.
- MUNKEBY, O. 1982. Personlig opplysning.
- PERRY OAKS SITE OFFICE 1981. Thamesgro. Organic soil treatment. Informationfolder.
- RINNO, G. 1964. Ein Beitrag zu den Ursachen der Rieselmüdigkeit von Böden. *Albrecht-Thaer Arch.* 8 699-710.
- SCHÄFER, K. und H. KICK, 1970. Die Nachwirkung von schwermetallhaltigen Abwasserklärschlamm in einem Feldversuch. *Landwirtsch. Forsch.* 23 s 152-161.
- STATENS FORURENSNINGSTILSYN, 1982. Retningslinjer for lagring og disponering av kloakkslam. SFT-TA-573, 103 s.
- UNDERDAL, B. 1981. Nye retningslinjer for lagring og disponering av kloakkslam. Helsemessige aspekt. *Vann* Nr. 1, s 7.12.
- VIGERUST, E. og T. GULDAHL. 1981. Bruk av kloakkslam på grøntarealer. Slamdisponering 4. Bruk av kloakkslam på grøntarealer. Proj.nr. 2.2.15 69 s.

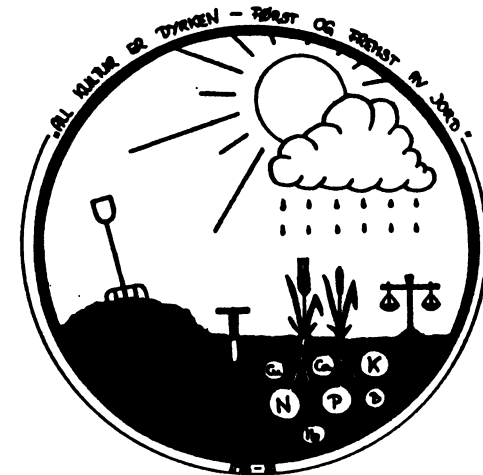
INSTITUTT FOR JORDKULTUR
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
1432 AS-NLH

Serie B 4/83

Kalkholdig kloakkslam -
Metoder, virkning og bruk

Av

Einar Vigerust og Jon Gunnar Weng



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

Innhold

Innledning

Ulike metoder for tilsetning av kalk til avløpsvann og slam

- A. Kalkfelling
- B. Kalkstabilisering eller kalkkondisjonering
- C. Tilsetning av kalk til avvanna slam

Kompostering av kalkholdig slam

pH i slam og effekter av slam på jordreaksjonen

Bestemmelse av netto kalkeffekt av slam tilsatt kalk

- Metode for å bestemme kalkvirkningen
- Bestemmelse av kalkeffekt, forsøk 1
- Bestemmelse av kalkeffekt, forsøk 2
- Felles vurdering av forsøksresultatene

Nitrogeneffekt av lagra slam

- Endring i kjemisk innhold i lagringstida
- Forsøksresultater

Bruk av kalkholdig slamkompost på grøntarealer

Diskusjon

Sammendrag

Litteratur

det er stor trafikk, mye fugler og rotter. De fleste vekster på grøntarealer har lite behov for kalk, med noen unntak vil de vanlig tåle høyt kalkinnhold i jorda. Med aktuell bruksmåte for kompost kan mengdene med kalk som tilføres bli ekstremt store pr arealenhet. Dette innebærer en viss risiko for skadevirkning samtidig vil kalken føre til at komposten blir sleip og noe klinete. Komposten kan evt. nyttes ved framstilling av et blanda vekstmedium hvor det i tillegg til organisk stoff og gjødsel evt. også kan være behov for noe kalk. Dette er spørsmål som fortjener nærmere vurdering.

Kalking kan i sterk grad redusere tilgjengeligheten av tungmetallene i jorda (se bl.a. CHANEY m.fl. 1978), behandling av slam vil føre til et lavere tungmetalloptak av planter de nærmeste årene. Enkelte lands retningslinjer stiller krav om en viss pH i jorda for at en skal spre kloakkslam (HANSEN, 1981). Her i landet er neppe tungmetallbelastningen alvorlig under dagens forhold. Spredning av slam kan i særlig grad skape et problem på lang sikt. Kalking vil beskytte metallene mot både opptak og nedvasking, vi kan si at kalking hindrer at de flyttes fra matjordlaget. Der tungmetallene utgjør et problem på kort sikt, kan kalking bedre vekstforhold eller avlingskvalitet. Kalktilsetning er et aktuelt og interessant alternativ for slambehandling. Det endrer til dels både egenskaper og bruksverdi.

Sammendrag

Ved kloakkrensing kan kalk nyttes på disse måtene:

- som fellingsmiddel til avløpsvann
- til slam før avvanning
- blanding av brent kalk med avvannet slam

Kalktilsetning kan redusere innholdet av både viktige patogene mikroorganismer og pøtetcystenematoder i slammet. Kalktilsetning som bidrar til høyere tørrstoffinnhold, vil fremme mulighetene for kompostering etter en overgangsperiode. I vekstforsøk har bruk av slam (uten kalk) vanlig hatt liten effekt på jordas kalktilstand. Det er likevel vist eksempler på at slammet kan ha forsurende virkning, som er forbigående. Et kalkinnhold i kloakkslam vil øke slammets bruksverdi, forutsatt at det nyttes på jord som trenger kalking. De som mottar kalkholdig slam bør få opplyst hvilken kalkeffekt slammet har i kg CaO pr tonn tørrstoff. Det er utført forsøk for å klarlegge kalkvirkningen av kalkholdig slam. I små kar er det blandet inn stigende mengder av kalk eller stigende mengder av kalkslam fra ulike renseanlegg, hvor metodene for kalktilsetning er forskjellige. Ved pH-målinger er slammets kalkvirkning beregnet. Kalkvirkningen av slam i kg CaO pr tonn tørrstoff avtar meget regelmessig ved tilførsel av stigende mengder kalkslam pr dekar. I forhold til kalk hadde kalkslam i laboratorieforsøk tydelig mindre kalkeffekt i leirjord enn i sandjord. Kalkvirkningen tiltok imidlertid merkbart med tiden, det betyr at syreeffekten fra selve slammet gradvis blir redusert. Kjemiske analyser viste at omsetningen av nitrogen er årsak til en del av syreeffekten. Slammets salteffekt var årsak til en viss feilvurdering av kalkvirkningen når pH-målingene ble foretatt i vannsuspensjon i forhold til saltløsning. Den viktigste årsaken til redusert kalkeffekt av slammet er trolig at det ved omsetningen dannes

visse mellomprodukter med syrekarakter. Vilkårene for omsetning, særlig red-oks-forhold, er her avgjørende. Mye tyder på at kalkbehandling i høy grad påvirker omsetningen av organisk stoff. Kalkbehandling som fører til høyere tørrstoffinnhold i slammet vil lett føre til stort tap av nitrogen i lagringstida. Ved lagring fra vår til høst er opp til over 50 pst. av nitrogenmengden tapt, i forhold til mengde nitrogen som kan avspaltes er dette tapet enda større. I vekstforsøk har lagra kalkbehandla slam hatt mindre nitro-geneffekt enn det en vanlig har for lagra slam.

Ved bruk av kalkholdig slamkompost på grøntarealer vil en tilføre større kalkmengder enn ønskelig. Stor andel kalk fører til at fuktig kompost blir klinete og sleip, det kan også føre til noe raskere nedbryting av organisk stoff. I forsøk har ren kompost av kalkslam gitt dårligere vekst av busker og trær enn andre typer omsatt slam. Som helhet vil kalktilsetning endre slammets bruksegenskaper.

Litteratur

BERNTZEN, R. 1978. Personlig opplysning.

BURGE (1979). Personlig opplysning.

CHANEY, R.L., W.T. HUNDEMANN, R.J. PALMER, R.J. SMALL, M.C. WHITE, A.M. DECKER, 1978. Plant accumulation of heavy metals and phytotoxicity resulting from utilization of sewage sludge composts on cropland. Proc. 1977 Nat.Conf.Composting of Municipal Residues and Sludges p. 86-97. Inform.Trans.Inc. Rockwill Md. 1978.

DUELL, R.W. 1982. Sludge Composting and Utilization: For Turf-grass Establishment and Maintenance. New Jersey Agric.Exp. Sta. Cook College, Rutgers. 57p.

FINSRUD, R. 1982. Kostnader for slambehandlingsanlegg. Stensiltrykk 25s. Østlandskonsult A/S.

HALL, J. 1982. Personlig opplysning.

HANSEN, J. AA. 1981. Principper i visse udenlandske regelsæt for slam i jordbruget. Slammets jordbrugsanvendelse II Fokusering. Polyteknisk Forlag, Lyngby.

HELSEDIREKTORATET, 1976. Hygienisk vurdering av kloakkslam. En veiledning til helserådene. 24s. Hygienekontoret.

HENZE, R. 1980. Beispiele für die Anwendung Kalkstabilisierter Klärschlämme. EAS-Seminar Basel. Documentation. Köllen GmbH. Bonn. s.3.7 1-10.

HILTBOLD, A.E. and F. ADAMS, 1960. Effect of nitrogen volatilization on soil acidity changes due to applied nitrogen. Soil Sci.Soc. Am.Proc. 24, 45-47.

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 ulike delrapporter fra prosjektet, bl.a. kan nevnes "Tungmetaller i kloakkslam" og "Bruk av kloakkslam på grøntarealer".

Statens fag tjeneste 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

A. Kalkfelling. I renseprosessen tilsettes kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) til avløpsvannet. Som rensemetode er kalkfelling effektiv, men synes å ha visse praktiske ulemper. Ren kalkfelling er derfor lite utbredt i Norge. I noen anlegg tilsettes kalk sammen med sjøvann, en metode som synes å ha interesse i kystområder.

Ved kalkfelling vil overskuddskalk renne bort med rensset vann. I tillegg vil en del kalk følge rejektvannet etter avvanning. Av tilsatt kalk vil derfor bare en viss andel følge slammet.

B. Kalkstabilisering eller kalkkondisjonering. Etter denne metoden vil kalk (som $\text{Ca}(\text{OH})_2$) bli tilsatt våtslam før avvanning. Kalktilsatsen vil dempe (eller endre) lukt og vil gi slammet en sikrere hygienisk kvalitet. Etter Helsedirektoratets veiledning (1976) bør slammet holde pH 11 eller mer i minst 14 dager. Ordet kalkstabilisering er noe misvisende. Så lenge pH holder seg over ca. 9 vil det være liten biologisk nedbrytning av organisk stoff, deretter er slammet "ustabilt" (MOLLAND, 1980)

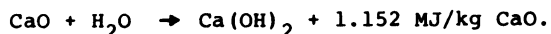
Kalk kan også brukes som kondisjoneringmiddel ved avvanning bl.a. i kammerfilterpresse. Erfaringene tyder på at en bør bruke en kalktilsetning på 15-30 pst. av mengde slamtørrstoff, om en skal få sikker avvanning.

Ved tilsetning til våtslam vil en del kalk renne bort med rejektvannet ved avvanning. Kalk tilsatt avløpsvann eller våtslam blir oppløst. Det er ikke sikkert at kalsiumioner og basiske komponenter (OH^- -ioner) vil følge slam og vannfase i ekvivalente mengder. Det er f.eks. vanlig å regne med at kalsiumioner har en særlig affinitet til humusstoffer. Dette antyder at kalsiummengden i slammet kanskje ikke er rett mål for basisk effekt. I tillegg kan en rekke andre forhold påvirke den basiske effekten av slam, særlig på kort sikt. Tilsetning til avløpsvann eller våtslam vil gi homogen kalkinnblanding.

C. Tilsetning av kalk til avvanna slam. Denne metoden velger vi å kalle kalkbehandling av slam. Det er vanlig å bruke brent kalk, CaO , som bl.a. er billigere enn lesket kalk.

Det er normalt å foreta kalkdoseringen like etter avvanningen, innblanding kan skje ved en blandeskrue. Det er imidlertid ugunstig å få til en effektiv og homogen blanding med avvannet slam, som er klumpete og seig. Tilsatt kalk vil feste seg til overflaten av de rå slamklumpene. Ved stor kalktilsats kan hver slamklump bli dekket av kalk på overflaten. Ved liten kalkdosering vil ikke overflaten av klumpene bli så godt dekket.

Brent kalk vil leskes straks den kommer i berøring med fuktig slam:



Rent kjemisk vil 1 kg CaO binde 0,32 kg vann. I tillegg vil varmeeffekten ved leskingen føre til økt temperatur i slammet og større fordampning. HENZE (1980) har anslått fordampningen til 0,44 kg vann pr. kg CaO .

MEYER og ZIES (1977) har satt opp følgende formel for hvor mye kalk som skal til for å nå en ønsket tørrstoffpst. i slammet:

Diskusjon

Bruk av kalk ved kloakkrensing kan under norske forhold være meget nyttig for å lette disponeringen av slammet. Tilsetning av kalk kan redusere innholdet av sykdomssmitte i slam. Effekten overfor mikroorganismer er avhengig av hvilken pH en får og hvor lenge pH holdes høy.

Høy pH i slammet vil også gi en rask reduksjon av levedyktige egg av potetcystenematoder (MUNKEBY, 1978).

Risikoen for smittespredning av sykdomsorganismer og potetcystenematoder er avgjørende for hvordan slammet kan brukes.

For renseanlegg som skal bygges kan kalktilsetning kombinert med sterk avvanning erstatte biologisk stabilisering.

En meget viktig utbyggingsperiode er imidlertid over og mange renseanlegg har problemer med hvor en skal gjøre av sitt råslam. Tilsetning av brent kalk til avvanna slam synes da å være en svært aktuell løsning.

Hvilke kalkmengder som bør brukes, fortjener en nærmere vurdering bl. a. fordi det her er litt ulike interesser. De helsemessige kriterier er overordnet idet helserådene skal godkjenne enhver plassering og bruk av slammet. Som helhet oppnår en økt hygienisk sikkerhet ved stigende kalkdosering. Etter norske retningslinjer bør kalkslam holde pH over 11 minst 14 dager (SFT, 1982). Ved renseanleggene vil kalktilsetning bety ekstra utgifter, som øker proporsjonalt med doseringen.

I jordbruket er det idag et stort behov for kalk. Kalktilsetning betyr at slammet får større verdi for brukeren forutsatt at det brukes på arealer hvor kalking er ønskelig.

Våre beregninger viser at en må utnytte verdstoffene i slammet godt for å få et nettoutbytte. Ved nydyrking av mineraljord er det vanlig behov for mye kalk. Bakkeplanert jord derimot har vanlig god kalktilstand. Det er ønskelig at kalk tilføres i optimale mengder, en bør bl.a. unngå "overkalking". De som mottar slam bør få oppgitt hvilken kalkeffekt slammet kan ha.

Våre undersøkelser viser at kalkvirkningen av kalkslam er tydelig mindre enn det som svarer til mengde tilsatt kalk eller beregnet innhold etter Ca-analyser. Undersøkelsene har påvist ulike årsaker til dette, hvorav forløpet av omsetningen av organiske stoff må tillegges størst vekt. Vi kan gå ut fra at hver av disse effektene har begrenset varighet. Som helhet synes ikke slam (uten kalk) å ha noen pH-senkende effekt. Vi kan trolig regne med at all kalken i slammet vil bli fullt effektiv etter en overgangsperiode som er avhengig av betingelsene for omsetning i jorda. Slam fra ulike renseanlegg kan imidlertid ha ulike kjemiske og biologiske effekter.

Våre undersøkelser viser at det må være avgitt mere syrer fra selve slammet når kalk er tilsatt enn det som er vanlig fra slam uten kalktilsetning. Dette må skyldes at kalktilsetning endrer selve omsetningsforløpet. Bedre vilkår for bakteriell nedbrytning vil øke behovet for oksygen. Underskudd kan gi visse organiske mellomprodukter med syrevirkning.

De samsvarer godt med at vi ved stigende slamtilførsel fant økt syreeffekt (pr tonn tørrstoff), som også var større etter innblanding i leirjord enn i sandjord.

Renseanlegg som foretar kalkfelling eller som tilsetter kalk til våtslam kan beregne kalkmengden i kg CaO pr tonn tørrstoff etter analyse-tall for kalsium, en må da trekke fra det som svarer til normalt kalsiuminnhold i slam. Det er mulig at kalsiumionene i større grad enn den basiske komponenten vil følge slammet (i forhold til vannfasen).

Kalkeffekten skulle i tilfelle være mindre enn det korrigerede kalsium-analyser tilsier. Dette vil neppe gjøre store utslag i det kalkens ioner vil være så dominerende at det blir begrenset selektivitet. Våre undersøkelser viser at det kan bli et betydelig nitrogentap ved lagring av kalkholdig slam. Fra tett slam vil ammoniakk vanskelig unnvike. Samtidig vil kalken konservere organisk nitrogen i en begrenset tid. Kalkslam som har en åpen struktur vil lett miste ammoniakk. Ved lagring vil det etter en tid komme igang en effektiv omsetning. Lagring av sterkt avvanna kalkslam fra vår til høst medførte så store tap av nitrogen at gjødseleffekten av slamm var liten i forsøkene.

Rask omsetning under lagringen kan derfor redusere jordbruksverdien av slamm. Vi bør også være oppmerksom på at ved en slik kompostering vil kalkinnholdet pr tonn tørrstoff øke med 15-20 pst. p.g.a. redusert tørrstoffvekt.

Som helhet vil en fra jordbrukets side ikke være interessert i et for høyt kalkinnhold i slamm, 15-20 pst. CaO av tørrstoffet synes å være optimalt. Dette kan muligens være akseptabelt også ut fra en hygienisk vurdering for slam tilsatt kalk før avvanning. Det gir homogen innblanding og god motstand mot pH-senking. Brent kalk tilsatt til avvanna slam vil gi en mindre homogen blanding. På den andre siden kan det være ulike effekter overfor patogene mikroorganismer og potetecystenematoder:

- høy pH
- temperaturheving ved lesking av brent kalk
- dannelse av CaCO₃ fra Ca(OH)₂ er også eksoterm reaksjon
- varmeeffekt ved kompostering i lagringstida

Det er vanskelig å fastslå hvor mye av temperaturvirkningen i lagringstida som skyldes kjemiske og biologiske forhold. Den siste betyr sikkert mest men de kan virke sammen.

Hver av disse effektene bør vurderes før en fastsetter endelig krav når det gjelder kalkdosering. I tillegg bør en ta utgangspunkt i hvilken bruksmåte som er aktuell. Metoden med tilsetning av brent kalk til avvannet slam er så fleksibel at en lett kan endre dosering etter disponeringsmåte for slamm.

I dag utgjør råslamm et særlig problem for å få en forsvarlig disponering av slamm. Ved lagring er kontaktrisikoen for mennesker og dyr særlig knyttet til selve overflatelaget. Kalkstrøing på overflaten kan redusere en slik smitterisiko. Dette har også stor interesse når det gjelder økt sikkerhet mot spredning av potetecystenematoder med kloakkslam (MUNKEBY, 1982). I lagret slam vil smitten gradvis bli drept, i det aerobe overflatelaget kan den imidlertid overleve i lenger tid (MUNKEBY, 1978). I dette sjiktet vil en ofte få høye nok temperaturer til å ødelegge smitten. Det yttre overflatesjiktet vil være et unntak. Utstrøing av brent kalk vil både gi leskingsvarme og høy pH. Lesket kalk vil nesten bare heve pH, mens kalksteinsmjøl ikke kan heve pH opp til det nivået som er ønskelig og vil derfor ikke ha noen virkning. Brent og lesket kalk kan imidlertid volde visse skader hos de som skal spre. En må derfor komme fram til forsvarlige metoder for slik kalkspredning.

Kalkstrøing skulle på en relativt billig måte kunne redusere dagens smittefare fra råslam en del, selv om løsningen neppe er ideell. Ikke minst på våre fyllplasser er det stor kontaktrisiko med slam,

Innledning

En stor del av slamm fra norske kloakkrensaneanlegg er råslam. Ulike former for slambehandling vil redusere innholdet av smitteorganismer og dempe luktulemper. I andre land blir storparten av slamm stabilisert og de mest vanlige og aktuelle metodene har vært:

- a) Anaerob stabilisering, omsetning av organisk stoff uten lufttilgang.
- b) Aerob stabilisering, "våtkompostering", innblåsing av luft i slambassenger, (evt. tilsetning av ren oksygen).
- c) Kompostering etter avvanning, f.eks. etter innblanding av midler som endrer strukturen.
- d) Kjemisk "stabilisering", aktuell metode er kalktilsetning.

Med stabilisering menes at organisk materiale er relativt stabilt mot nedbryting, enten etter omsetning eller tilsetning som hindrer omsetning (midlertidig stabilisering).

I dag er disponering av kloakkslam et meget vanskelig problem i vårt land. Problemet ville vært vesentlig mindre om slamm var behandlet etter en av disse metodene. I verdenmålestokk er anaerob stabilisering mest brukt.

Mye tyder på at biologisk stabilisering etter metodene a) og b) ikke medfører noen avgjørende reduksjon i innholdet av smitteorganismer (UNDERDAL, 1981).

Beregninger viser at aerob og anaerob slamstabilisering samt maskinell hurtigkompostering er de mest kostnadskrevenne metodene, mens kalkbehandling og frilandskompostering er vesentlig billigere (FINSRUD, 1983). Dette er også to metoder som kan tilpasses eksisterende anlegg.

Tilsetning av kalk vil gi slamm større bruksverdi i jordbruket, kalking er i dag meget aktuelt. For å utnytte denne ekstra verdien bør kalkholdig slam primært nyttes på arealer som trenger kalk. For brukerne vil det være nyttig å få oppgitt hvilken kalkeffekt slamm har (i kg CaO pr. tonn tørrstoff) for å kunne sammenligne med aktuelle kalkbehov. Det bør f.eks. ikke tilføres unødvendig store kalkmengder med slamm. Kalkbehandling kan gi en relativt sikker hygienisk kvalitet av kloakkslamm og vil minske luktulempene noe (STATENS FORURENSNINGSTILSYN, 1982).

Under norske forhold med bl.a. lang og snørik vinter, oppbrutt topografi og ofte stor avstand fra renseanlegg til de mest aktuelle spredningsarealene vil en relativt sterk avvanning av slamm redusere flere ulemper ved slamm disponeringen. Sterk avvanning med kammerfilterpresse er avhengig av at det tilsettes til dels store mengder kalk.

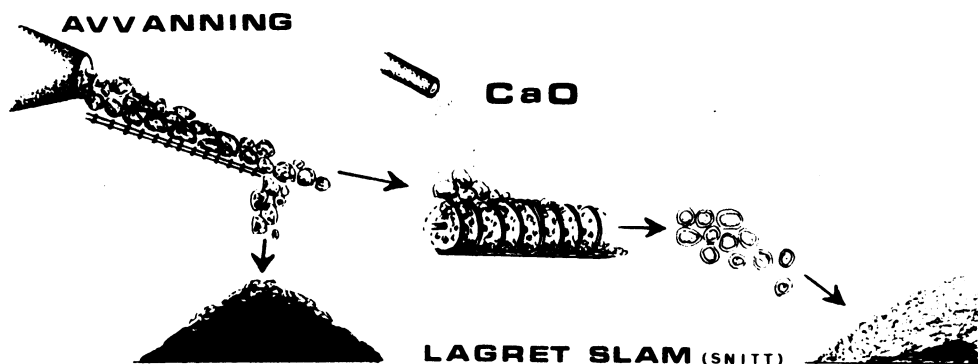
Ulike metoder for tilsetning av kalk til avløpsvann og slam.

En kan skille mellom kalkfelling, tilsetning av kalk til våtslam og kalkbehandling av avvanna slam.

I en slamhaug vil det skje en omsetning særlig i overflatesjiktet. Kalkinnhold, avvanningsgrad og struktur er avgjørende for hvor raskt mikrobiologisk aktivitet kommer i gang og hvor raskt den kan trenge dypere inn i lagra slam.

Ved tilsetning av brent kalk til avvannet slam legger kalken seg utenpå klumper av slam. Det virker som om leskingen gir et kalkskall om hver klump, dette gir slammet en stabil og løs struktur som gir god mulighet for luftveksling, som antydnet i fig. 1.

Fig. 1. Innblanding av kalk (CaO) etter avvanning. Slampartiklene får et kalkskall, som gir det løs struktur (som Leca).



Samtidig har kalktilsatsen økt tørrstoffinnholdet noe, og enhver økning har betydning for hvor lett slammet komposteres.

Renseanlegget RA-2, Lillestrøm, tilsetter brent kalk til avvannet slam.

Temperaturmålinger etter kalktilsetning har vist at leskingen kan gi disse temperaturene i slammet (BERNTSEN, 1978):

Kalkdosering & CaO av tørrstoffet	Temperatur °C i slammet
27	48
33	52
39	80
55	90

På anleggsområdet var det vinteren 1978 (1/3) lagt ut slamhauger med ulik kalkdosering. Vi foretok temperaturmålinger i ulike sjikt i slamhaugene den 5.5, resultatene er gjengitt i fig. 2.

hadde krympet vesentlig mer enn de andre slamtypene.

Generelt sett er vilkårene for de fleste bakterier best i jord som er tilnærmet nøytral. Kalking vil f.eks. i stor grad fremme myrsynkingen. Myrjord utgjør en vesentlig andel av det som omsettes av matjord i kystdistriktene, f.eks. Bergen. Myrsvinn vil ofte være et betydelig problem for hageeiere. En fordel med slamkompost er at materialet er relativt stabilt mot videre nedbryting, en raskere nedbryting som følge av kalking er neppe gunstig.

Når vi vanlig vurderer matjordkvalitet etter farge, skyldes dette den vekt som tillegges organisk stoff. Kalkinnblanding gir slammet en grå farge (evt. brun etter jernfelling), som kanskje ikke blir populær ved markedsføring.

Struktur

Tilsetning av kalk til avvanna slam har i forhold til ferskt slam gitt en luftig og fin struktur, som minner om "Leca". Etter nedbryting av en del organisk stoff øker andelen av organisk stoff. Mye kalk gjør at komposten blir sleip og klebrig. Slamkompost uten kalk vil ikke klebe til fingre, fortløy eller redskap. På et underlag med kalkholdig kompost vil f.eks. traktorer svært lett spinne i fuktig vær. Det er ikke tilfelle ved lavt kalkinnhold.

Slam avvannet i kammerfilterpresse kan lett få en utpreget klumpstruktur. Det er gunstig for omsetningsprosessen, men forringer den bruksmessige kvalitet, særlig hvis det er vanskelig å smuldre klumpene. Kompostering etter avanserte metoder er kostnadskrevede og bør gi et attraktivt produkt.

Omvendt kan vi si at kompostering neppe er en riktig behandlingsform, for slam dersom det fører fram til et produkt som har liten bruksverdi.

Saltinnhold

Tilsetning av kalk vil gi slammet eller slamkomposten høyere innhold av vannløselige salter. Etter våre undersøkelser er det stor variasjon i elektrisk ledningsevne i kalkslam fra ulike renseanlegg.

Undersøkelser av kalkholdig slamkompost i USA har vist så høyt saltinnhold at springen er hemmet eller hindret (DUELL, 1982). Etter våre målinger har enkelte typer kloakkslam så høye tall for elektrisk ledningsevne at en må vente saltskade.

Ved lagring av kompost i ikke alt for tykke sjikt har vi funnet sterk nedgang i saltinnholdet fra f.eks. vår til høst. Kalkholdig kompost bør derfor lagres en tid for å unngå saltskade.

"Overkalking"

Vekstskader p.g.a. høy pH er ikke vanlig. Mange steder i verden er en henvisning til å anlegge grøntarealer på svært kalkrik jord. Enkelte vekster tåler likevel ikke særlig høy pH i jorda. Rododendron er eksempel på en vekst som vil ha sur jord (under pH 5). Roser er utsatt for jernklorose på kalkrik jord. Gran blir utsatt for råte på kalkholdig grunn.

I et orienterende forsøk med stigende mengder kalkslam ble det bl.a. plantet Rosa rugosa, berberis, syring og buskfuru, 3 planter av hver pr rute. En sammenlignet følgende sjikttykkelsener av kalkslam:

0 cm	0 kg CaO pr dekar
6 cm	3750 "
12 cm	7500 "
24 cm	15000 "

Aktuell kalkmengde på grøntarealer er til sammenligning 100-250 kg CaO pr dekar.

Berberis gikk ut ved største slammengde, det skyldes trolig mest den sterke nitrogenvirkningen.

Syrin viste tydelige tegn til mistriksel på rute med største slammengde. De to midlere slammengdene ga god vekst, p.g.a. god gjødselvirkning, mens veksten uten slam var svak.

Buskfuru hadde tydelig best vekst på rute uten slam, det var sterkt avtakende vekst med stigende mengde kalkslam. Etter 4 år var det svært stor forskjell i plantestørrelse mellom rutene. I et annet forsøk har buskfuru vokst godt i ren slamkompost, den negative effekten skyldes trolig kalkinnblandingen i slam.

Rosa rugosa har ikke noen av årene vist tegn til klorose på bladene, slik vi fryktet ved stor kalktilsetning. Slammet har høyt jerninnhold. Jernklorose skyldes imidlertid sjelden underskudd på jern i jorda, det er tilgjengeligheten som blir hindret.

Rundt store byer i Mellom-Europa var det vanlig å spre råkloakk på visse jordbruksarealer. "Riesenfelder". Dette pågikk flere steder i over hundre år. Etter hvert ble det tydelige vekstskader, som viste seg å skyldes mangel på jern og mangan (RINNO, 1964).

Vi skal derfor ikke utelukke at slamkompost med middels til stort innhold av kalk kan resultere i jernmangel. Denne risikoen er neppe stor, men hvis det opptrer noen steder så kan det bli en ubehagelig overraskelse.

Som helhet er det ikke ønskelig med et unødig høyt kalkinnhold i slamkompost for grøntarealer. Vi må kunne si at høyt innhold av kalk i slamkompost for grøntarealer medfører en viss verdiforringelse, de enkelte momentene som er omtalt her, kan kanskje ikke tillegges avgjørende vekt hver for seg.

$$x = \frac{1000(T_{s2} - T_{s1})}{32 + 100 - T_{s2}}$$

T_{s1} er tørrstoffpct ved avvanning

T_{s2} " " etter kalktilsats

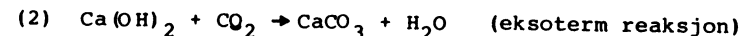
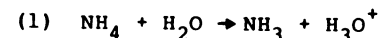
Formelen forutsetter 100 pst løselighet av kalken. I brent kalk vil normalt ca 90 pst være aktivt.

I Tyskland har denne metoden blitt meget aktuell de siste årene. Det er blitt et vanlig krav at slam som skal deponeres på fyllplass, skal ha et tørrstoffinnhold på minst 35%. For mange eksisterende anlegg er innblanding av brent kalk til avvannet slam den enkleste måten for å innfri dette kravet.

Kompostering av kalkholdig slam

Den mikrobiologiske aktiviteten i slam vil stanse når pH kommer over et visst nivå. MOLLAND (1980) hevder at mikroorganismene drepes eller inaktiveres ved pH over 9. Erfaringer antyder at denne grensen er litt for lav. Tørrstoffinnholdet i slam har også stor betydning for hvor gjennomtrengelig slammet er for luft og dermed mulighetene for aerob omsetning, kompostering.

Kalkfelling og tilsetning av kalk til uavannet slam gir som nevnt en meget homogen blanding av kalk og slam. I slam med begrenset lufttilgang kan pH holde seg høy i lang tid. Gassveksling er en viktig forutsetning for at pH skal senkes, bl.a. ut fra disse ligningene:



I ferskt slam er det normalt høyt innhold av ammonium, eller det dannes raskt ved omsetning av organisk stoff. Det er et likevektsforhold mellom $\text{NH}_4\text{-N}$ og NH_3 . Ved stigende pH og stigende temperatur vil likevekten forskyves slik at det dannes vesentlig mer ammoniakk. I slam med åpen struktur kan NH_3 lett tapes til luft.

Når ammoniakk unnviker, muliggjør det ytterligere forskyvning av ligning (1). I tett slam er derimot ammoniakktapet lite. En relativt liten konsentrasjon av NH_3 er sterk gift overfor bl.a. mikroorganismer. Det er således hevdet at den ammoniakk-konsentrasjonen som en får i slam ved høy pH, er den viktigste årsaken til effektiv hygienisering (BURGE, 1979).

Frigjøring av ammoniakk medfører pH-senkning (ligning 1).

I slam hvor den mikrobiologiske omsetningen er stanset, vil det ikke dannes CO_2 . I tett slam vil heller ikke CO_2 diffundere inn og med homogen kalkinnblanding kan pH holde seg høy i lang tid. For slam med åpen struktur etter sterk avvanning, evt. som pressede flak, kan NH_3 unnvike og CO_2 trenge inn. Dermed senkes pH, det vil igjen muliggjøre mikrobiologisk omsetning, først fra visse steder i slammet. Ved aktiviteten dannes CO_2 som akselererer dannelsen av CaCO_3 . pH vil raskt senkes til under 8,4 som er øvre grense for at CaCO_3 vil holde seg i oppløsning.

Temperaturen holdt seg lav i slam uten kalk og i slam med de høyeste kalkdoseringene. I slam uten kalk tillater ikke strukturen tilstrekkelig luftveksling for stor mikrobiologisk aktivitet slik at temperaturen kan påvirkes. Mulighetene for luftveksling blir bedre jo mer kalk som blandes inn. Opp til en grense mellom 33 og 39 pst CaO av tørrstoffmengden i slam har kalktilsetning tydelig stimulert komposteringsprosessen. Dette er høye temperaturer i slam ved lagring uten vending og på et tidspunkt da det ikke er skjedd noen opptørking av slammet. Ved lagring av slam kan en få varmgang i deler av slamhauger, men ikke så mye og så tidlig på sommeren som i dette tilfelle. Dette understreker at kalktilsetning radikalt har bedret strukturen og dermed mulighetene for kompostering.

Tilsetning av 15-20 pst kalk vil normalt gi pH-verdier på godt over 10. Vi må likevel regne med en noe ujevn pH-fordeling i slammet. I enkelte deler kan pH være så lav at det kan komme i gang mikrobiologisk omsetning og som nevnt vil det igjen føre til en akselerert pH-senking ved dannelsen av CO₂.

Ved stor kalktilsetning, 39 pst av tørrstoffet og mer, var det ikke varmgang i slammet. Kalktilstanden har fullstendig hindret kompostering.

Ved avvanning i kammerfilterpresse tilsettes kalk og en får et relativt tørt slam, ofte over 35 pst tørrstoff. Strukturen gir gode vilkår for luftveksling. Erfaringene viser at ved lagring av denne type slam kan en få høye temperaturer. I lagra slam fra Kapp renseanlegg er det målt 70-75 °C. I slam fra Vestfjorden Avløpsselskap er det etter 1-2 måneders lagring målt opp til 80 °C i deler av slamhauger. Også denne typen slam må således ansees som lett å kompostere, selv om den høye pH-verdien ved start utsetter omsetningen.

pH i slam og effekter av slam på jordreaksjonen.

Ferskt kloakkslam som ikke er behandlet med kalk, har normalt pH-verdier nær nøytralpunktet.

Om høsten har vi tatt prøver til analyse av slam fra ulike sjikt i en rekke hauger lagra fra vinter eller vår. Hver slamhaug svarer til et kontainerlass. I slam som ikke var tilsatt kalk, fant vi i middel disse analysetall ved prøveuttak om høsten:

Sjikt	pH	ledningsevne µS	NH ₄ -N mg/100g jord	No ₃ -N mg/100g jord
0-10 cm	5.8	0.88	39	71
15-20 cm	6.1	1.08	313	35
30-40 cm	7.0	1.48	451	15
50-60 cm	7.3	1.73	627	1
F.verdi	18.3***	9.7***	8.1**	14.7***

Det har skjedd en markert nedgang i pH i overflatesjiktet. Innholdet av vannløselige salter (elektrisk ledningsevne) og NH₄-N er mindre i overflatelaget enn i slammet ellers. Reduksjonen i NH₄-N skyldes dels tap som ammoniakk og nitrifikasjon. Flere av de kjemiske endringene påvirker måleresultatene for pH, mer eller mindre.

Tabell 6. Innholdet av NH₄-N, NO₃-N og organsk-N i 5 tonn slam-tørrstoff i kg N vår og høst, etter lagring.

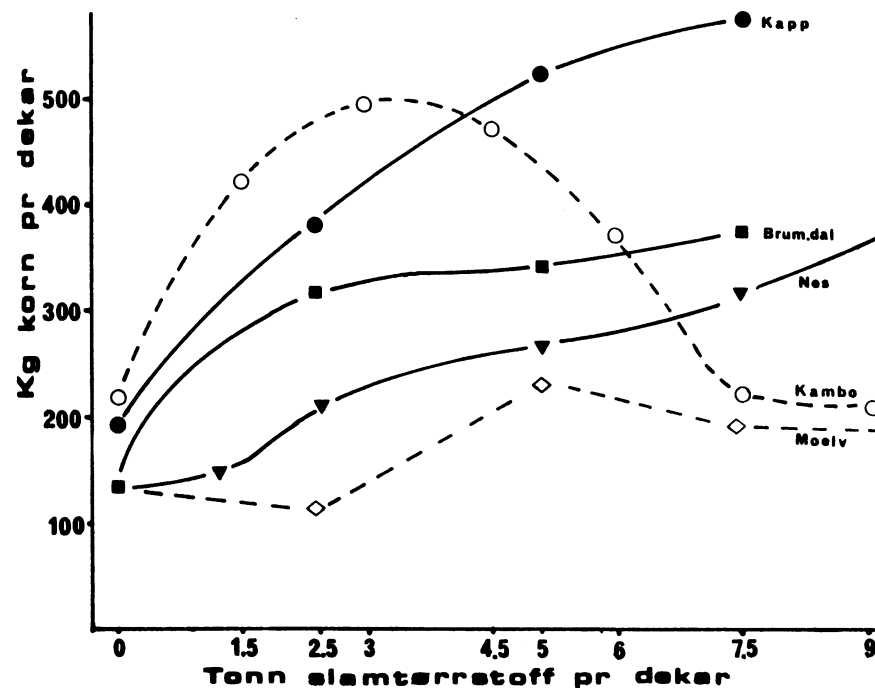
Slam fra		NH ₄ -N	NO ₃ -N	Org-N
Brumunddal (D)	vår	35	0	82
	med kalk	høst	1	2
Nes (E)	vår	33	0	73
	med kalk	høst	16	9
Kapp (F)	vår	9	0	81
	med kalk	høst	3	1
Moelv råslam	vår	45	1	120
	høst	21	1	120

Etter kalkbehandling vil det lett frigjøres ammoniakk som raskt tapes fra slam med god luftveksling. Sterk avvanning fremmer omsetningen av slam i lagringstida, og øker tapet av ammoniakk. Ved bruk av ferskt kalkslam kan nitrogeneffekten bli vesentlig bedre enn etter en lagringsperiode. Kalktilsetningen synes også direkte å fremme en rask omsetning i jorda, og en viktig del av nitrogenfrigjøringen skjer i jorda.

Forsøksresultater.

I vekstforsøk er det tilført stigende mengde slam fra de fire nevnte renseanleggene. Forsøkene inngår i en egen serie som vil bli beskrevet i egen melding, fig. 11 viser avlingsresultater i kg korn pr dekar for stigende mengder slam (uten N-gjødsel).

Fig. 11. Virkningen av stigende mengder kalkslam (hel strek) og slam uten kalk (stiplet) (slam fra Moelv dårlig effekt p.g.a. lav pH i jord).



Slam fra Moelv, Nes og Brumunddal renseanlegg er sammenlignet i ett forsøk (bl.a. med en del observasjonsruter, dvs. uten paralleller).

Dette forsøket lå på jord som før var tilført en relativt stor kalkmengde. Jorda synes å ha spesielt stort kalkbehov, idet forsøksruter uten kalkslam hadde pH på 4,9-5,2, forhold som ikke gir brukbare vekstforhold for bygg.

En del av utslaget for slam må tilskrives kalkeffekten. Kalkslam har gitt jevn avlingsøkning opp til meget store slammengder og uten legde, det viser liten N-effekt.

Slam fra Moelv (uten kalk) som har høyt N-innhold har gitt små avlingsutslag for slam. Dette skyldes trolig den dårlige kalktilstanden, som er litt forverret ved slamtilførselen. I så sur jord vil også omsetningen av slammene bli hemmet. Det er lite som tyder på at resultatet skyldes veksthemming av lite omsatt organisk stoff. I figuren er det derfor tatt med en normal vekstkurve for stigende mengder råslam til korn (forsøk Jeløy). Slammengder over 3 tonn tørrstoff pr dekar ga her tidlig legde og dermed redusert avling.

Kalkslam fra Kapp renseanlegg er prøvd i et eget forsøk. En slammengde på hele 7,5 tonn tørrstoff pr dekar har gitt ytterligere avlingsutslag for 5 kg nitrogen i tillegg og uten legde.

Forsøket har gitt en sterk positiv effekt av slam men samtidig var det liten nitrogenvirkning, anslagsvis knapt 1 kg N pr tonn tørrstoff. Dette tross for at N-tapet i lagringstida bare var 23 pst. pH i jorda var så høy at den positive effekten av slam neppe var kalkvirkning. Vi antar slammene hadde stor jordforbedrende virkning.

Det synes å være godt samsvar mellom de utførte analysene av lagra slam og nitrogeneffekten av slammene i vekstforsøkene. Relativt ferkst kalkslam kan ha god nitrogenvirkning. Ved omsetning i lagringstida kan en lett tape store mengder nitrogen.

Bruk av kalkholdig slamkompost på grøntarealer.

Rapporten "Bruk av kloakkslam på grøntarealer" (VIGERUST og GULDAHL, 1981) omtaler de viktigste forsøk med slam på grøntarealer som er utført ved Instituttet, noen av forsøkene pågår fortsatt. Kompostering er en forutsetning for at slam kan nyttes på grøntarealer, det er nødvendig for å unngå sykdomssmitte, luktulempen og for at slammene skal smuldre.

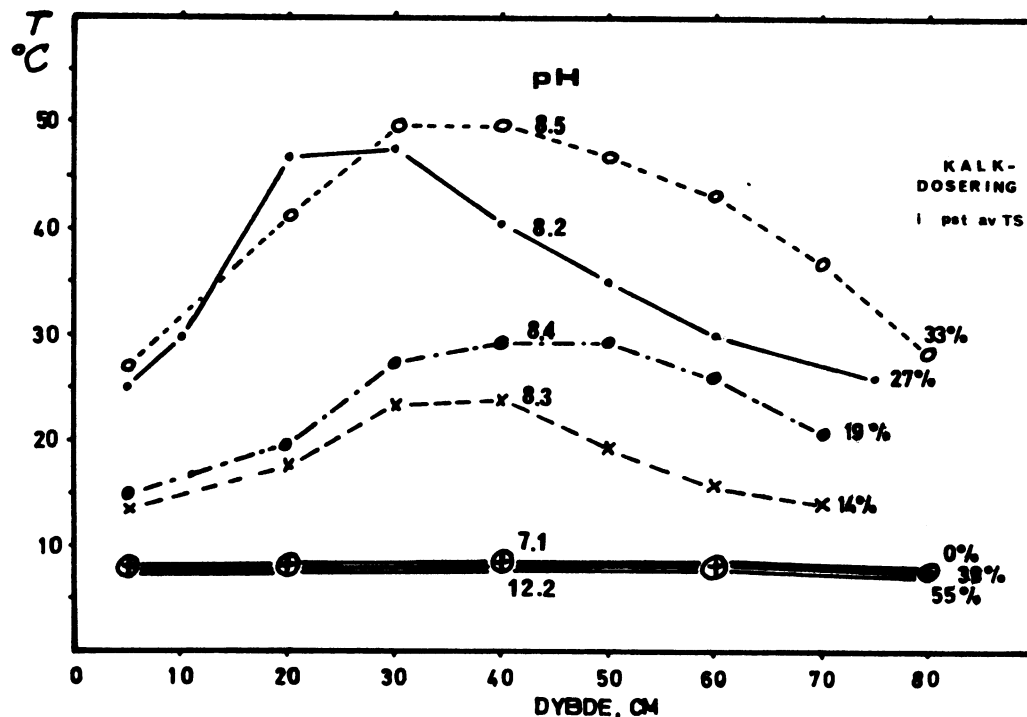
Kalktilsetning vil særlig på en indirekte måte fremme omsetningen. Vi skal her vurdere hvordan kalktilsetningen påvirker bruksverdien av slamkompost

Innhold av organisk stoff.

På grøntarealer er det generelt sett mindre behov for kalk enn til jordbruksformål. På grøntarealer er en interessert i å bruke større mengder kompost enn det som er vanlig i jordbruket. Slamkompost har størst interesse som vekstmedium eller som en del av et vekstmedium. Den gode kvaliteten må i første rekke tilskrives høyt innhold av organisk stoff. Kalkinnblanding av f.eks. 20-30 pst. øker andelen av uorganisk stoff. I tillegg fremmer kalktilsetningen nedbrytningen og dermed tapet av organisk stoff.

I et forsøk med planting av ulike prydbusker i ca 40 cm lag av ulike typer slam vokste det første året svært godt i kalkslam. I forhold til andre typer slam stagnerne planteveksten noe på ruter med kalkslam, det andre året (VIGERUST og GULDAHL, 1981). Observasjoner fra de to siste årene viste dårlige vekstforhold i kalkslam. Det var en tydelig oppsprekking i massen. En vurdering høsten 1982 viste at kalkslammene

Fig. 2



Temperaturer i ulike sjikt av slam med ulik tilsats av brennt kalk, etter lagring fra mars til mai. Dybde i cm under overflaten der slammene var høyest.

Både drenering av karene og tilsåing med en vekst medførte opptørking av slammet. Opptørking førte til en markert senking av pH. I vannmettet slam har det skjedd en pH-heving p.g.a. sterkt anaerobe forhold. I prøvene er også nitratinnholdet bestemt og det var signifikant negativ korrelasjon mellom pH og NO₃-innhold (r = + 0.65).

I flere forsøk er det sådd eller plantet i ulike sjikt med rent kloakkslam. Det har regelmessig vært en pH-senkning første sommeren. Deretter er pH steget noe. En har vanlig den sterkeste pH-senkningen i sjiktet under 15 eller 20 cm. Figur 4 viser pH i ulike sjikt der det var lagt ut 40 cm slam før dyrking. I slam fra Bekkelaget renseanlegg var det en markert pH-senkning i løpet av den første sommeren. Andre målinger viser at bl.a. slam fra Skarpsno R.A. endres lite i lagringstida. Forskjellen i pH-utviklingen etter fig. 3 og fig. 4 kan muligens forklares ved at luft ikke så lett diffunderer inn når slam er fylt i kar med tette vegger.

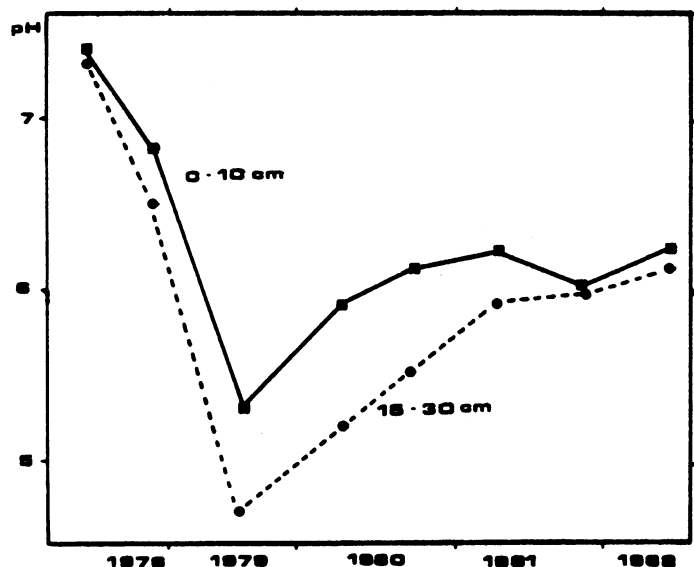
I en forsøksserie med stigende mengde slam til jordbruksformål var pH i middel:

	tonn slamtørrstoff pr. dekar			
	0	1,5	3,0	4,5
Etter 1. år (høst), 6 forsøk	6,18	6,10	6,10	6,04
Etter 2. år ("), 3 forsøk	6,37	6,43	6,50	6,34

Slamtilførsel hadde ingen signifikant virkning på jordas pH. MARTINSEN (1976) fant heller ikke sikker effekt av kloakkslam på pH i jord.

I et slamforsøk ved NLH førte stigende mengde slam til tydelig lavere pH i jorda (dette forsøket er ikke med i sammenstillingen ovenfor). Fordi leddvise jordprøver viste pH-endringer, ble det tatt prøver fra hver rute, og pH ble bestemt i vann 1 N KCl-oppløsning og 0,01 M oppløsning av CaCl₂. (Se tabell 1). 0,001 M CaCl₂-oppløsning (Se tabell 1).

Fig. 4. pH i rent slam, nytt til plantedyrking.



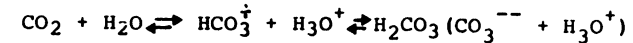
Det fremgår av figuren at også kalking hever saltinnholdet i jorda litt.

Typer kalkslam som tydelig hever saltinnholdet i jorda har etter vår målemetode gitt tydelig større kalkvirkning når en foretar pH-måling i saltløsning.

Av alle 10 typer slam som ble prøvd i forsøkene, påvirket slam B og D saltinnholdet i jorda tydelig mer enn tilfelle for de andre slamprøvene. Innflydelsen av salteffekten vil således variere fra slam til slam. Effekten er kortvarig idet saltene gradvis blir utvasket fra det øvre jordlaget.

5. Effekt av CO₂-produksjon ved omdanning.

Mikrobiologisk aktivitet i jorda utvikler CO₂, som i begrenset grad kan unngå. En får likevektsforholdet:



Det vil neppe dannes store mengder karbonsyre i jorda, trolig vil hydrokarbonationer dominere. Stor mikrobiologisk aktivitet i jorda kan således medføre en syrevirkning, men også denne effekten er forbigående og størst i den varme sommerperioden. Det er imidlertid tvilsomt om denne syreeffekten i særlig grad fanges opp ved vårt system for jordanalyser, i det CO₂-trykket ved pH-måling ikke er høyt. Det er derfor liten grunn til å tro at denne faktoren har påvirket resultatet nevneverdig.

Vurdering

Hver enkelt av disse faktorene vil ha tidsbegrenset virkning på jordreaksjonen.

Dannelsen av organiske syrer er trolig den viktigste enkeltfaktoren. På jord med dårlig vilkår for oksydasjon kan slam trolig ha en pH-senkende effekt i 2 - 4 år og lengst når en bruker store mengder kloakkslam. Våre undersøkelser antyder at slam fra ulike renseanlegg kan ha noe forskjellig effekt på pH.

Nitrogeneffekt av lagra kalkslam

Endring i kjemisk innhold i lagringstida.

Vi har fulgt kjemisk innhold i ulike sjikt i slamhauger under lagring. Hver haug svarer til et containerlass. Utleggingen skjer vanlig ved at lassene tømmes inntil hverandre.

Vi tar her bare med resultatene for slam fra 3 renseanlegg med kalktilsetning og til sammenligning slam fra et renseanlegg uten kalktilsats. Slam fra disse 4 renseanleggene ble lagret fra vinteren eller våren 1981. Slammet er seinere brukt i vekstforsøk som ble anlagt med slamspredning om høsten og tilsådd med korn våren 1982.

Fra hver slamtype ble det tatt prøver fra flere hauger og fra 3 ulike sjikt. Det ble tatt ut prøver vår, sommer og høst.

I lagra slam starter opptørkingen og dermed omsetningen fra overflaten. Tørrstoffinnholdet og visse kjemiske egenskaper kan være svært forskjellig i ulike sjikt i lagra slam. Middeltallet for sjiktene gir likevel et representativt bilde av det kjemiske innholdet i slammet. Kalkslammet var avvannet i kammerfilterpresse. Slammet blir presset til ca 2 cm flak som brytes opp i større og mindre deler ved håndteringen.

Tørrstoffinnholdet i det ferske slammet var ca 30 pst., og sammen med den gunstige strukturen gir det gode muligheter for luftveksling og dermed biologisk omsetning etter at pH er senket. I løpet av et par måneder var pH nokså regelmessig senket til 8-9.

Slam uten kalk (råslam) fra Moelv renseanlegg var avvannet i sentrifuge til ca 20 pst. tørrstoff. Middeltallene for kjemisk innhold i slammene er gjengitt i tabell 5.

Tabell 5. Endring i kjemisk sammensetning i slam i lagringstida fra vår til høst. (Middeltall)

	Tørrst. %	Glødetap %	Masse rel.tall	tot-N %	"tot-N" %	N-tap %	NH ₄ -N %	NO ₃ -N %	Org-N %
Slam fra Brumunddal(D)									
vår	31	35	100	2,3	2,3	0	0,69	0	1,63
sommer	38	29	92	1,4	1,3	44	0,33	0,01	1,07
høst	37	24	86	1,2	1,0	58	0,02	0,04	1,08
Slam fra Nes (E)									
vår	30	39	100	2,1	2,1	0	0,65	0	1,45
sommer	39	34	92	1,6	1,4	32	0,26	0,03	1,34
høst	36	31	88	1,4	1,2	44	0,33	0,18	1,07
Slam fra Kapp (F)									
vår	33	42	100	1,8	1,8	0	0,18	0	1,62
sommer	36	35	89	1,7	1,5	17	0,20	0,01	1,49
høst	35	34	88	1,6	1,4	23	0,06	0,02	1,53
Råslam fra Moelv									
vår	20	63	100	3,3	3,3	0	0,89	0,01	2,10
sommer	24	62	97	3,0	2,9	12	0,45	0	2,55
høst	23	60	92	2,8	2,6	22	0,41	0,03	2,36

Råslam har høyt innhold av organisk stoff (glødetap), det er lite endret i lagringstida p.g.a begrenset omsetning. Tilsetning av kalk har tydelig senket det prosentiske innholdet av organisk stoff. I løpet av lagringstida er innholdet av organisk stoff i kalkslam vesentlig redusert. Innholdet av uorganisk stoff gir grunnlag for å beregne stoffmassene angitt som relative tall hvor tørrstoffmengden om våren er satt til 100.

I løpet av lagringstida er det prosentiske innholdet av total-nitrogen noe redusert. N-innholdet er også begrenset i pst. av opprinnelig tørrstoffvekt om våren, "tot-N".

På dette grunnlaget er tapet av nitrogen beregnet i pst. av N-mengden om våren. For råslam var det fra vår til høst tapt 22 pst. N og h.h.v. 23, 44 og 58 pst. for kalkslam fra de tre anleggene.

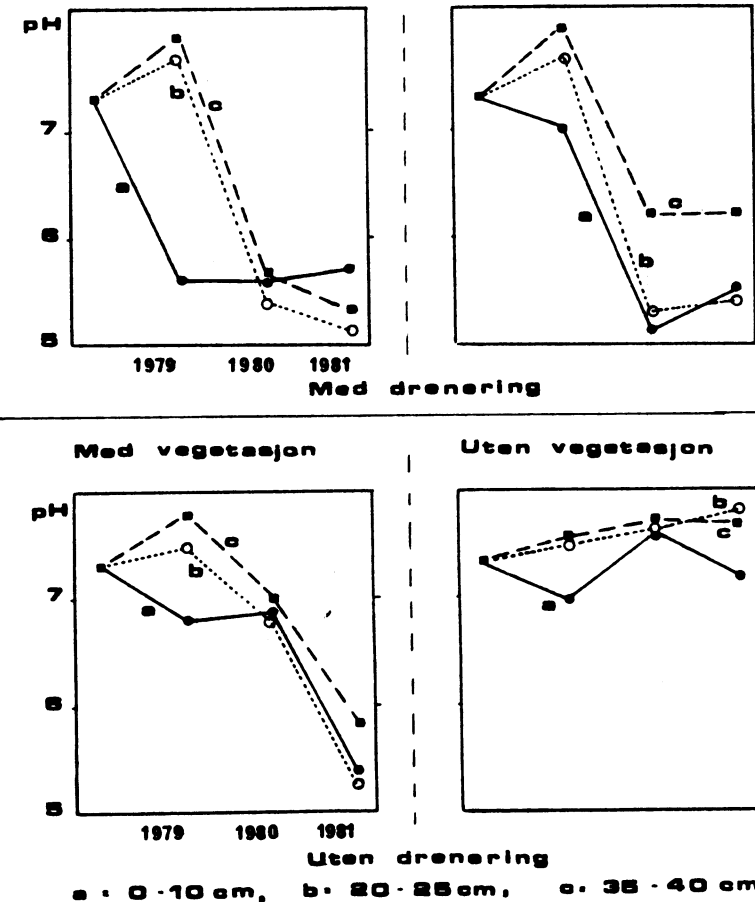
I praksis er en mest interessert i gjødseffekten av det slammene som blir spredd. Ved omsetning blir det mest lettomsattelige nitrogenet nedbrutt først. Det betyr at jo lenger nedbrytingsprosessen er kommet desto tregere vil slammene avgi ytterligere nitrogen. Vi må vente at slamtyper med stort nitrogen-tap i lagringstida vil ha liten nitrogen-effekt.

Når kalkslammene i middel for de tre renseanleggene har tapt 42 pst. av det totale nitrogeninnholdet fra vår til høst, så betyr N-tapet anslagsvis 70pst. av det som blir frigjort innen rimelig tid.

Innholdet av NH₄-N i kalkslam er sterkt redusert i løpet av lagringstida, se tabell 6. Litt av denne reduksjonen skyldes nitrifikasjon.

Våren 1979 ble det startet et forsøk som tok sikte på å klarlegge utvaskingen av slam, som ble fylt i 100 l kar. Til ulik tid er det bl.a. tatt ut prøver fra ulike sjikt til analyse, se fig. 3. Kurvene gjelder anaerobt slam fra Bekkelaget renseanlegg.

Fig. 3. pH i slam lagret i 100 l kar, med og uten drenering og med og uten vegetasjon (4 kombinasjoner).



For de som mottar kalkholdig kloakkslam, vil det være ønskelig å få angitt hvilken netto kalkeffekt slammet vil ha i kg CaO pr. tonn tørrstoff. I mange tilfeller er det nødvendig at slammengden blir fastsatt etter kalkvirkningen.

Metode for å bestemme kalkvirkningen.

pH i kalkslam gir ikke noe kvantitativt mål for kalkeffekt. Titrering av jord til et bestemt pH-nivå angir basisk effekt. Det har imidlertid vist seg at en i praksis trenger vesentlig mer kalk for å nå samme pH. Markforsøk vil være en svært tungvint måte for å bestemme kalkeffekten. I tillegg vil kalkingsmidlet blandes inn i store jordmengder, det kan være vanskelig å få tatt ut særlig representative jordprøver, det er særlig vanskelig for slam som det kan være vanskelig å få homogent blandet inn i jorda.

En vanlig metode for å klarlegge effekten av et kalkingsmiddel er å blande inn stigende mengder i små kar (f.eks. 1-2 l størrelse) og tilsvarende en serie kar med stigende mengder kalk. For hvert kar bestemmes pH. Framgangsmåten krever at det blir nyttet ensartet jord, nøyaktige innblandingsforhold og at karene står med samme vanninnhold.

Etter denne metoden har vi bestemt kalkeffekten av ulike typer kalkholdig slam. Det ble først utført ett forsøk med 3 slamtyper (forsøk 1), seinere et annet forsøk med slam fra 8 ulike renseanlegg (forsøk 2). Vi omtaler her hvert forsøk for seg og gir en felles vurdering av resultatene, i eget avsnitt.

Bestemmelse av kalkeffekt, forsøk 1.
Vi sammenlignet her følgende slamtyper:

- A) Kalkfelt slam, Musøya renseanlegg, Drammen.
- B) Kalkondisjonert slam etter avvanning i kammerfilterpresse, fra Skinnskatteberg i Sverige.
- C) Avvannet slam tilsatt brent kalk fra renseanlegget RA-2, Lillestrøm.

Vi hadde 10 doseringsmengder for kalkslam, fra 1 til 25 tonn slamtørrstoff pr. dekar og 11 doseringsmengder med kalk 0 - 3000 kg CaO pr dekar.

Det ble brukt kar med 1 l jord. Slam og kalk ble innblandet i to ulike jordarter, sandjord og leirjord. For hver behandling var det to parallelle kar. For å eliminere en mulig salteffekt av slammet er pH målt i både vann, 1 N KCl og 0,1 M CaCl₂.

Etter pH-målingene, som er utført ved dobbeltbestemmelse, er det tegnet kurver for stigende mengder kalk og kalkslam, se fig. 5 for sandjord og fig. 6 for leirjord.

Ut fra kurvene kan en avlese kalkeffekten for en bestemt mengde slam-tørrstoff pr. dekar. En bestemt pH-verdi er oppnådd ved korresponderende mengder av kalkslam og kalk. Kurvene gir grunnlag for å angi kalkeffekten av ulike mengder kalkslam i kg CaO, se tabell 2.

3. Dannelse av organiske mellomprodukter med syrevirkning

Det er påvist større kalkvirkning av kalkslam i sandjord enn i leirjord. Dette skyldes trolig forskjellig omsetningsforløp. Tilsetning av stigende mengder lett omsettelig materiale til jord vil gi mer reduserende forhold. Det vil lettere oppstå skort på oksygen i leirjord enn i sandjord. Ved bruk av små mengder slam vil vi få mer fullstendig nedbryting enn ved tilføring av større mengder. Mulighetene for nedbryting tiltar med bedret lufttilgang f.eks. grovkorna jord. Med tida vil en komme fram til "sluttproduktene": relativt stabilt organisk materiale, karbondioksyd og vann.

Kalkvirkningen er merkbart høyere ved måling etter et halvt år enn etter tre uker. Vilkårene for omsetning i små kar ved romtemperatur er bedre enn i jord ute, hvor vi må bruke lenger tid til å nå samme omsetning. Virkningen av kalkslam tilsvarer anslagsvis 20-60kg CaO mer pr tonn tørrstoff ved siste måling i forhold til det en fant etter 3 uker. Samtidig er det dannet mer nitrat uten at analyser foreligger fra siste måling. (Det var ikke vannet så mye at denitrifikasjon skulle ha noe omfang.) Kurvene i fig. 8 antyder likevel at også etter 6 måneder var det merkbare syreeffekt etter store mengder kalkslam.

Mye tyder på at kalktilsetningen i stor grad fremmer nedbrytningen av organisk materiale. Kalkkomponenten kan derfor bidra til at det dannes mer av organiske syrer enn det som er tilfelle for slam uten kalk.

4. Salteffekt av slam (utbyttingsaciditet)

Som nevnt har slam høyt innhold av vannløselige salter som ved ionebytting kan senke pH ved måling i vann. Saltinnholdet kan bidra til lavere målt kalkvirkning av kalkslam.

For slam fra 4 ulike renseanlegg er kalkvirkningen bestemt også etter pH-måling i salt-løsninger (se tabell 2 og 3). For slam fra to av renseanleggene var det samme kalkvirkning uansett målemetode for pH, mens slam fra de to andre anleggene hadde tydelig høyere kalkvirkning etter pH-måling i saltløsning enn i vann. Forskjellene i kalkvirkning svarer her til 20-60 kg CaO pr tonn slamtørrstoff (pr dekar) og det er målingene i saltløsning som gir det riktige bilde av kalkeffekten.

Kurvene i fig. 9 er basert på middels kalkvirkning for slam fra 2 og 2 anlegg.

For alle kar i begge forsøk er det samtidig med pH-måling i vann også avlest elektrisk ledningsevne målt i suspensjon med volumforhold jord:vann 1:2. Elektrisk ledningsevne i jord med stigende mengde kalkslam er framstilt i fig. 10.

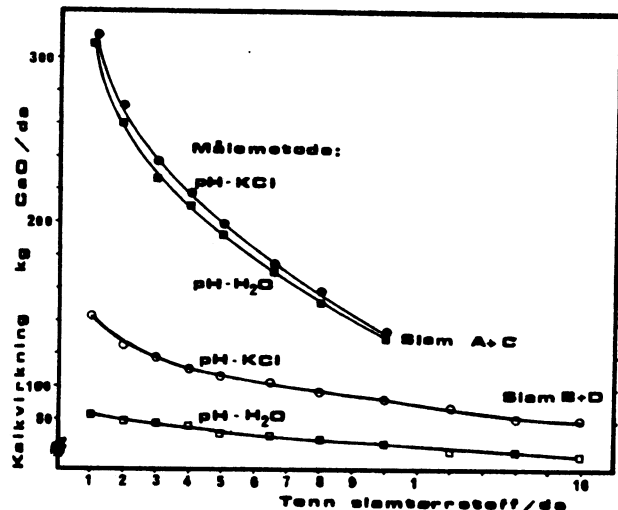


Fig. 9. Kalkvirkning av kalkslam basert på pH-målinger i vann og saltløsning. (pH KCl)

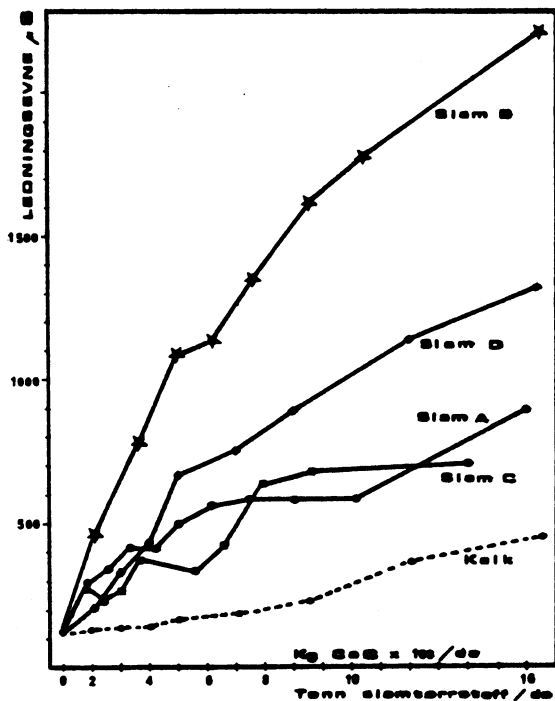


Fig. 10. Saltinnhold i jord tilsatt stigende mengde kalk og kalkslam.

Tabell 1.

Forsøk med stigende mengde kloakkslam ved NLH. pH etter ulike måle-metoder samt ledningsevne og nitratinnhold i jordprøver.

		Slammengde, tonn tørrstoff pr. dekar					
		0	3	6	9	F-verdi	Lsd
pH H ₂ O	1. år	5.75	5.53	5.44	5.24	8.2 ^{***}	0.22
pH CaCl ₂	"	5.41	5.33	5.27	5.14	2.9 [*]	0.21
pH KCl	"	4.05	4.76	4.63	4.56	5.3 ^{**}	0.21
Ledningsevne AS	70	110	200	200			
NO ₃ -N mg/100g		2.2	3.1	5.5	7.1		
pH H ₂ O	2. år	6.0	6.1	6.0	5.9		

Kloakkslam har høyt saltinnhold, tilføring av slam har medført en liten økning i jordas innhold av vannløselige salter (målt i samme suspensjon som pH). Saltene kan medføre en utbytting av hydrogen fra kolloidene. ("falsk forsuring"). Målingene antyder at slamtilførsel også gir en markert og sikker pH-senkning også etter pH-målinger i saltløsninger. Dette viser at slammene også hadde andre forsurende effekter.

Tilføring av slam har gitt litt høyere nitrat-innhold i jorda, dette bidrar til en svak forsuring.

Høsten 2. år var det omtrent ingen forskjell i pH, elektrisk ledningsevne og nitratinnhold i jorda etter ulik slamtilførsel. Det antyder bl.a. at forsurende effekter er borte.

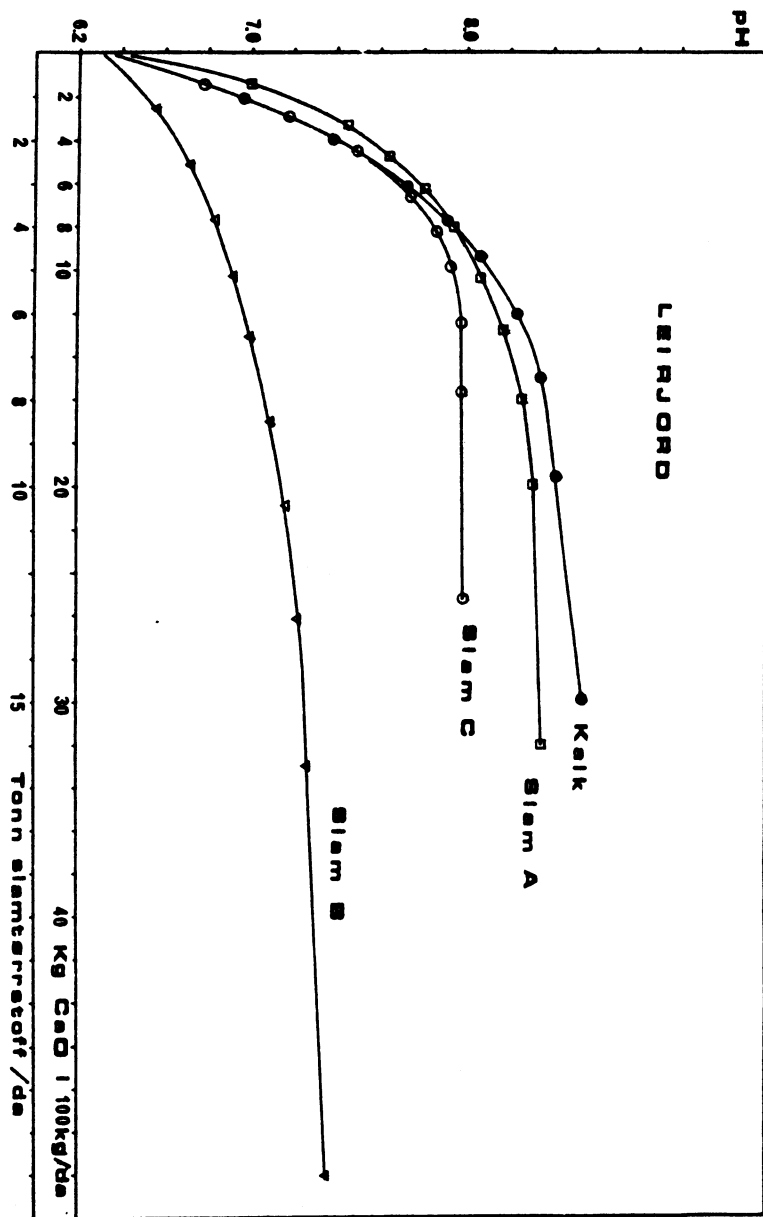
Enkelte undersøkelser har vist at kloakkslam har en tydelig forsurende virkning (se bl.a. KING og MORRIS, 1972). De regner med at pH-senkningen skyldes nitrogenomsetningen. Ved praktisk rettledning ved bruk av slam fra et renseanlegg ved London er det anbefalt et kalktilskudd som står i forhold til nitrogeneffekten av slam (Perry Oaks Site Office, 1981).

I mange forsøk er det ikke påvist noen forsurende effekt av kloakkslam (se f.eks. MARTINSEN, 1976 og SCHÄFER und KICK, 1970). I flere publikasjoner er det ikke omtalt effekter på jordreaksjonen av slam, det antyder trolig at det ikke har vært noen sikre effekter.

Bestemmelse av netto kalkeffekt av slam tilsatt kalk

Kalkholdig slam bør primært brukes på jord som har behov for kalk. Kalkinnholdet vil da ha en positiv tilleggseffekt. Det bør imidlertid ikke tilføres større mengder kalk enn nødvendig. Normal vedlikeholdskalking for 5-10 år er 150-300 kg kalksteinsmjøl pr. dekar til sandjord og 250-500 kg til leirjord. Ved nydyrking kan disse mengdene dobles. Det er lite å vinne ved å bruke større mengder kalk. Under visse forhold kan store kalkmengder ha skadelige effekter, "overkalking".

Fig. 6. Måleresultater for pH ved stigende mengde kalk og kalkslam for bestemmelse av slammets kalkvirkning.



Felles vurdering av forsøksresultatene

Bortsett fra slam tilsatt kalk etter avvanning er det vanskelig ut fra kalktilsats eller analyser å vite hvor mye baser som er tilført selve slammets.

Det at kalkvirkningen så tydelig avtar ved stigende slamtilsetning må enten skyldes at basene i kalkslam er mindre løselige ved stigende dosering - i all fall i første omgang - eller at det skjer en tiltakende syredannelse ved stigende mengde kalkslam. Det siste samsvarer med den pH-utvikling som er funnet i bl.a. lagret slam. Mulige årsaker til en slik syredannelse kan være:

1. nitrifikasjon
2. oksydasjon bl.a. av sulfider
3. dannelse av organiske mellomprodukter med syrevirkning
4. salteffekt av slammets (utbyttingsaciditet)
5. effekt av økt CO₂-produksjon ved omsetning

1. Nitrifikasjon

I tabell 4 er gjengitt innholdet av NO₃-N for stigende mengde kalk og stigende mengde kalkslam fra 4 renseanlegg (Kambo renseanlegg uten kalktilsats). Kalktilsetning vil i seg selv fremme biologisk nedbrytning. Også stigende mengde kalk har økt jordas produksjon av nitrat som skulle ekvivalere en kalkmengde på ca 5 kg CaO pr dekar og pr kg CaO.

Økt nitratproduksjon fra jorda som følge av innblanding av ren kalk bør trekkes fra når en skal vurdere kalkslammets syreeffekt (ved nitrifikasjon).

Tabellen viser at nitratdannelsen pr tonn slam tørrestoff ekvivalerer 5-35 kg CaO pr dekar eller netto ca. 0-30 kg.

Nitratdannelsen i jorda synes ikke å stige pr tonn slamtørstoff med stigende mengder kalkslam slik syredannelsen har gjort, tvertimot synes nitratproduksjonen å være litt avtakende pr tonn slamtørstoff. Dette antyder at nitratproduksjonen i jorda bare kan forklare en liten del av den syreeffekten til slammets.

Slam som ikke var tilsatt kalk, hadde forholdsvis liten nitratproduksjon. Dette kan skyldes at ved så lav pH i jorda vil både nitrifikasjon og nedbrytningen av organisk stoff være hemmet. Ved bruk av moderate slammengder kan en vesentlig del av nitratet bli tatt opp av plantene, og dermed vil en del av syrevirkningen bli eliminert. Ved bruk av store mengder slam samt etter slamspredning om sommeren kan overskuddsnitrat lett bli denitrifisert (HALL, 1982). I så fall vil 1/2 av syreeffekten etter nitrifikasjon bli nøytralisert (HILTBOLD og ADAMS, 1960).

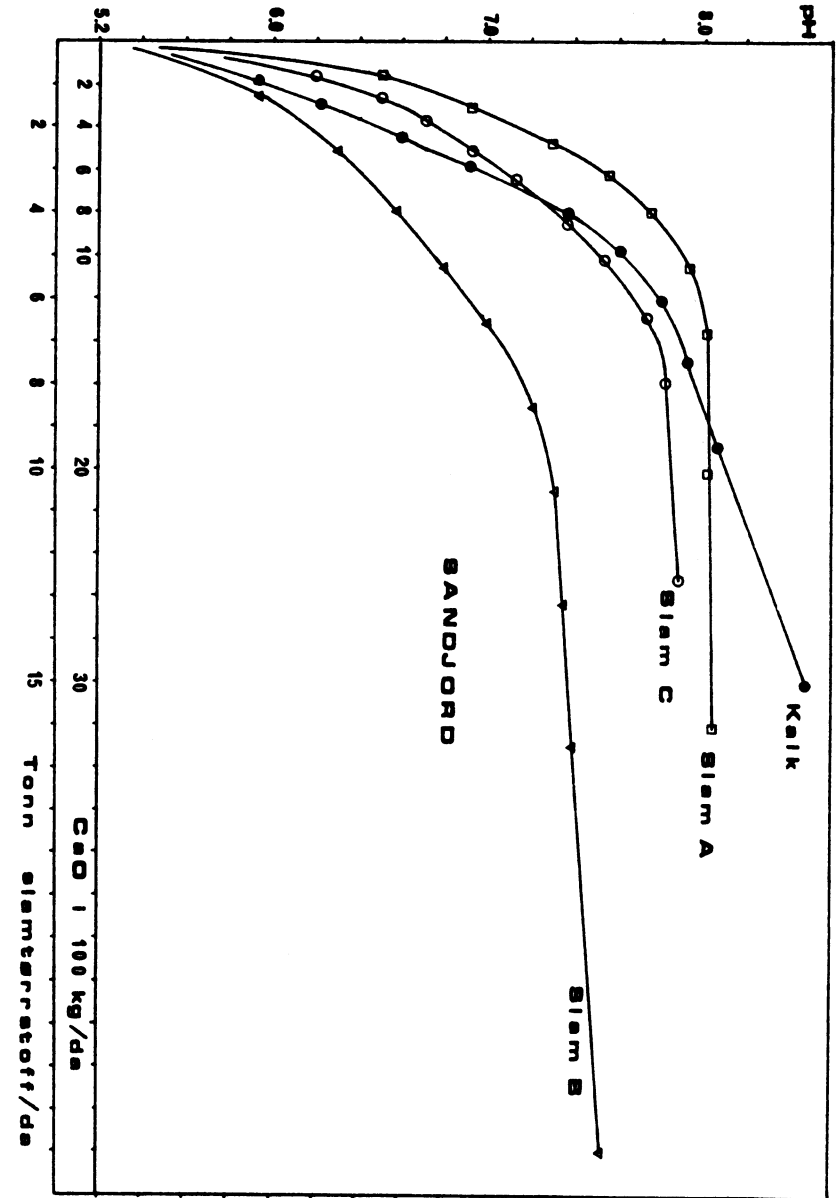
2. Oksydasjon av sulfider m.m.

Det er nesten alltid anaerobe forhold i ferskt slam. Den sterkt svarte fargen skyldes i første rekke sulfider, ved oksydasjon dannes svovelsyre. Vi hadde her ikke noe grunnlag for å kvantifisere denne syreeffekten. Vi må regne med at all uorganisk sulfid i jorda blir oksydert raskt, og det vil i all fall ikke være progressiv syredannelse med stigende mengde tilført kalkslam.

Tabell 4. Nitratinnhold mg/100 g jord. Innhold av nitrat i mg/100g jord, økning i forhold til jord uten slam, ekvivalente CaO mengder i kg CaO/dekar og kg pr tonn tørrstoff.

Tonn slam tørrstoff pr dekar					Kalk	
	D	E	G	K	kg CaO/da	
2	12,6	9,1	3,7	4,4	4,1	200
4	16,6	12,3	5,4	3,9	4,8	400
8	24,2	21,3	8,2	6,3	5,2	800
16	29,5	45,1	11,3	6,8	6,8	2000
Økt NO ₃ -innh. i jord m. kalkslam						
2	10,0	6,5	1,1	1,8	1,4	200
4	13,9	9,6	2,8	1,2	2,2	400
8	21,5	18,7	5,6	3,7	2,4	800
16	26,8	42,5	8,7	4,2	4,2	2000
NO ₃ -produksjonen tilsv. kg CaO/da i syreeffekt						
2	10	65	11	18	14	200
4	139	96	28	12	22	400
8	215	187	56	37	24	800
16	268	425	87	42	42	2000
Kg CaO/da pr tonn tørrstoff (pr 100 kg CaO)						
2	5	33	6	9	7	200
4	35	24	7	3	6	400
8	27	23	7	5	3	800
16	17	27	5	3	2	2000

Fig. 5. Måleresultater for pH ved stigende mengde kalk og stigende mengde kalkslam. Ut fra kurvene kan en finne slammets kalkvirkning.



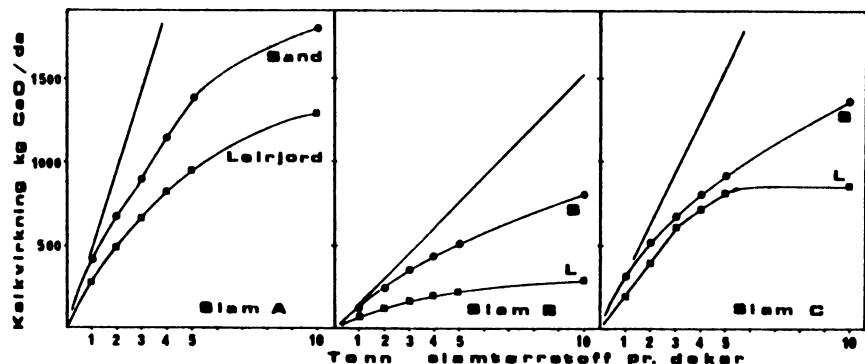


Fig. 7. Målt kalkvirkning av stigende mengde kalkslam til sandjord og leirjord. Rett linje antyder kalktilsats eller Ca-innhold.

Bestemmelse av kalkeffekt, forsøk 2

Tilsvarende undersøkelser er seinere gjentatt med slam fra andre renseanlegg, i første rekke fordi renseanleggene burde kunne gi en praktisk rettledning om kalkeffekten. Det ble brukt 8 mengder av h.h.v. kalk og slam. Kalkeffekten i kg CaO er avlest fra kurver etter pH-målinger, som i foregående forsøk. Det ble brukt leirholdig sandjord med pH 5,1. Når det gjelder mekanisk sammensetning eller innhold av finstoff, kan vi si at denne jorda ligger mellom jordartene brukt i første forsøket.

Forsøket er gjennomført med to paralleller og for hvert kar er det foretatt dobbeltbestemmelse av pH. I tabell 3 er gjengitt tall for kalkeffekt etter pH-målinger 3 uker og ½ år etter forsøksstart. (Tabell 3).

Forsøksresultatene stadfester at flere forhold påvirker hvilken kalkeffekt kalkslammet har.

Slam fra Nes, Brumunddal og Kapp renseanlegg er avvannet i kammerfilterpresse, og kalken er tilsatt før avvanning. Drammen og Bamble renseanlegg har kalkfelling, Kristiansand renseanlegg har kalksjøvannsfelling. Til sammenligning har vi også tatt med septiktankslam fra Kristiansand tilsatt kalk før avvanning og slam fra Kambo renseanlegg (uten kalk).

Etter kalsiumanalyser, korrigert for naturlig kalsiuminnhold i slam er innholdet av CaO i slammet bestemt. Kalkvirkningen av slam (i forhold til kalk) er tydelig mindre enn beregnet kalkinnhold skulle tilsi og avtar ved stigende slammengder. Målinger av pH utført et halvt år seinere viser regelmessig større kalkvirkning for alle typene av kalkslam. Middeltall for kalkvirkningen i kg CaO pr tonn tørstoff er vist i fig. 8.

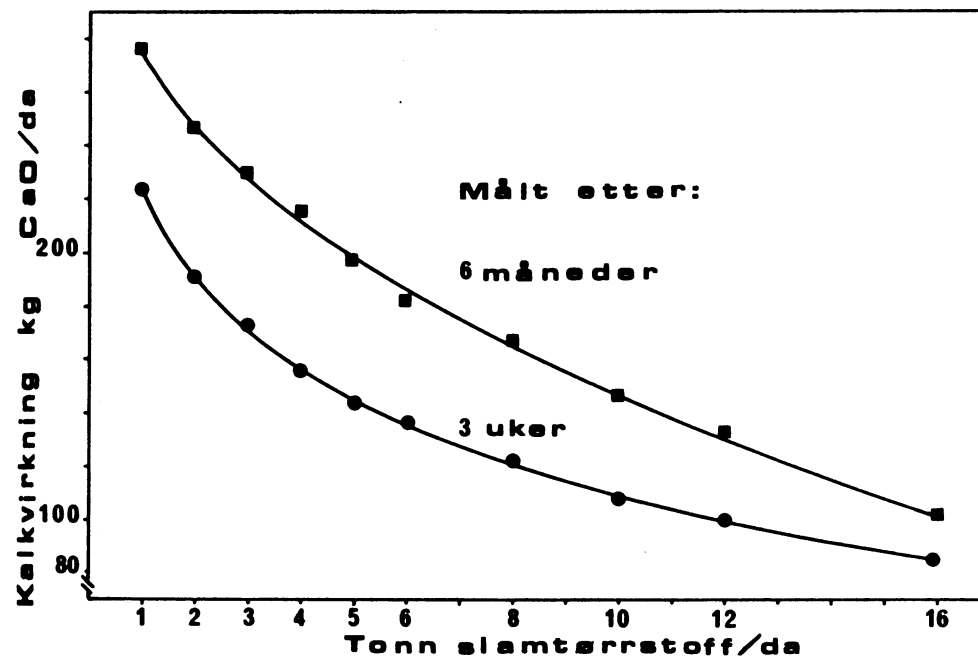


Fig. 8. Kalkvirkning av kalkslam målt etter 3 uker og 1/2 år.

Tabell 2. Kalkeffekt i kg CaO pr. tonn slamtørrstoff.

Tonn slam-tørrstoff	S A N D J O R D			L E I R J O R D		
	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	pH KCl	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	pH KCl
SLAM A						
1	430	400	420	300	240	300
2	680	700	700	470	460	500
5	1370	1320	1190	900	800	950
10	1700	2200	1560	1400	1240	1420
SLAM B						
1	120	130	195	70	90	100
2	260	280	340	100	115	220
5	520	610	650	200	230	410
10	800	930	930	290	460	590
SLAM C						
1	320	280	300	200	200	240
2	530	500	500	400	370	480
5	900	900	890	800	730	480
10	1350	1220	1200	840	1030	1180

Virkingen av kalkslam på jordas pH er altså vurdert i forhold til kalk. En skulle da vente at kalkeffekten pr. tonn tørrstoff var uavhengig av mengde tilført slam, målemetode for pH og jordart.

Tabellen viser at i forhold til kalk så har kalkslam mindre effekt på leirjord enn på sandjord. Kalkeffekten pr. tonn tørrstoff avtar også sterkt med stigende slammengder. (Se fig. 7).

Målemetoden for pH har derimot liten betydning for resultatene.

Slam A er kalkfelt. Vi kjenner ikke kalktilsetningen i kg kalk pr tonn tørrstoff, men som nevnt vil en stor del av kalk tilsatt til avløpsvann bli utvasket. Kalsiuminnholdet i slammet er bestemt til 34 pst av tørrstoffet. Normalt kalsiuminnhold i slam er ca 1,5 pst, det betyr at anslagsvis 32,5 pst Ca er tilført med slam, det skulle svare til 455 kg CaO pr tonn tørrstoff.

Slam B er tilsatt en kalkmengde før avvaning som svarer til 150 kg CaO pr tonn tørrstoff. Av denne kalkmengden vil en viss del følge rejektivannet.

Slam C er etter opplysningene tilsatt en mengde CaO som svarer til 33 pst av tørrstoffet. Etter analyser av kalsium har vi anslått mengden til 310 kg CaO pr tonn tørrstoff. Vi hadde ventet at dette omtrent skulle være netto-kalkeffekt av slammet.

Fig. 7 viser at kalkeffekten av slamtypene kan avvike til dels sterkt fra det en beregningsmessig skulle vente.

Tabell 3. Kalkeffekt i kalkslam fra ulike renseanlegg, målt etter 3 uker og etter et halvt år.

Renseanlegg	Beregnet CaO-innh. etter analyse	Målt etter 3 uker				Målt etter 1/2 år			
		1	2	5	10	1	2	5	10
D Brumunddal (pH H ₂ O)	202	70	150	400	780	100	210	640	990
" " (pH KCl)	"	130	220	560	1050				
E Nes (pH H ₂ O)	206	160	250	620	1020	150	480	840	1320
F Kapp "	242	170	290	690	930				
G Drammen(2)	264	220	500	760	1080	330	520	1040	1630
H Bamble		240	350	770	1000				
I Kristiansand	264	280	400	1030	1250	400	620	1320	1800
J Septiltankslam	264	380	600	1000	1400	420	580	1200	1700
K Kambo (uten kalk)	0	±30	±50	±100	±130	0	0	0	0