

Jordbruksanvendelse og deponering av kommunalt slam

Av forskningsleder Terje Simensen

Terje Simensen er siv.ing. fra University of Durham, King's College i 1954. Han er ansatt som forskningsleder ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråds Utvalg for fast avfall.

*Foredrag holdt i Norsk Forening
for Vassdragspleie og Vannhygiene
i Oslo 7. oktober 1974.*

I. Innledning

Om den totale mengde av kommunalt slam, med antatt midlere tørrstoffinnhold (T.S.) på ca. 20 %, sammenholdes med våtvekt av andre organiske avfallsmengder, så som husholdningsavfall, industriavfall, bark og husdyrgjødsel (15 % T.S.), vil slammet utgjøre bare 0,5—1,0 vektprosent av den samlede avfallsmengden. Husdyrgjødsel derimot beløper seg til omlag 75 % av den totale avfallsmengden. Dette forholdet indikerer at oppgaven med å finne hensiktsmessige behandlings- og disponeringsmetoder for slammet egentlig ikke representerer et generelt mengdeproblem. Det er imidlertid til forhold som er avgjørende og tildels problematiske for kommunenes håndtering av slamproblemet, nemlig:

1. Hygieniske følger av å utnytte slammet i jordbruksmessig sammenheng eller å henlegge det i deponi.

2. En geografisk konsentrering av slam i urbane områder — et forhold som kan sette visse begrensninger for en problemløs utnyttelse av terristriske *resipienter*.

Når man skal foreta en prinsipiell vurdering av hvilket behandlings- og disponeringsalternativ som lokalt bør velges, er det først og fremst hensynet til forurensning av naturmiljøet og økonomi som vil være utslagsgivende.

Det ressursmessige aspektet kan vanskelig sies å være avgjørende i denne sammenheng så lenge jordbruket skaffes gjødselstoffer på billigere og enklere måter, og behovet for humustilskudd til dyrket mark ikke er påtrengende og enklest kan skaffes ved utnyttelse av jord- og skogbrukets egne store avfallsmengder. Spesielle lokale utnyttelsesmuligheter vil imidlertid kunne rettferdiggjøre argumentet for en ressursmessig utnyttelse av slammet.

Alternativene til en planmessig utnyttelse av bestemte jordarealer som resipient for organisk materiale,

enten ved deponering eller utnyttelse i jord- og skogbruk, er at slammet forbrennes eller konverteres til dyrefôr.

Forbrenningen vil redusere stoffmengdene såvidt sterkt at deponeringen av de sterile restproduktene kan foretas uten alt for store problemer.

For å oppnå en økonomisk gunstig løsning bør imidlertid energien fra forbrenning av annet organisk avfall kunne utnyttes.

Vedrørende spørsmålet om en eventuell utnyttelse av slammets organiske komponenter gjennom mikrobiologisk konvertering til dyrefôr, er det ikke hverken regningssvarende eller praktisk mulig å tenke seg slike metoder anvendt i dag.

Uansett hvordan man vurderer slamdisponeringsspørsmålet vil imidlertid en jordbruksmessig anvendelse av dette avfallet bli stående som en sentral og ofte hensiktsmessig mulighet, så lenge de hygieniske hensynene kan tilfredsstilles. Det må på den annen side være riktig å foreta en full alternativ vurdering av dette spørsmålet på bakgrunn av foreliggende lokale muligheter og forutsetninger, så som kommunenes nåværende eller planlagte behandlingsmønstre for annet type avfall, og jordas egnethet som resipient ved deponering eller utnyttelse av slam.

I fig. 1 er genereringen og behandlingen av slam forsøkt satt i forhold til andre avfallsstoffer, ved å fremstille forholdet som mulige materialstrømmer gjennom eventuelle behandlings- eller disponeringsledd. De materialstrømmene hvor slam kan inngå er vist innenfor det skraverte området.

Det er åpenbart at det finnes mange kombinasjonsmønstre og at slamproblemet bør vurderes i sammenheng med behandlingsopplegget for annet organisk avfall. Den praktiske problemstillingen blir da hvordan man kan foreta et alternativt valg når det tas hensyn til:

- a) Hygieniske (inkl. toksiskologiske) problemer.
- b) Jordbruksarealers behov for jordforbedringsmidler.
- c) Jordbruksarealers tilgjengelighet.
- d) Behov for jordforbedrende midler til urbane områder.
- e) Vannforurensning ved disponering av slam på landarealer.
- f) Økede sivevannsproblemer ved deponering av slam i fyllinger.
- g) Driftstekniske spørsmål.
- h) Økonomi.

II. Jordbruksanvendelse av slam.

Jordbruksarealenes behov for slam (organisk avfall).

- Slam som humustilskudd er viktigere enn hensynet til dets gjødselverdi, vurdert ut fra dagens priser på kunstgjødsel. Forholdet kan endres.
- Gode humusforhold i Norge — spesielt i kyststrøkene.
- Områder med betydelige mengder husdyrgjødsel (kyststrøkene) vil ha begrenset kapasitet til å ta imot slam.
- Arealer med utstrakt korndyrking, så som det sentrale Østlandsområdet og deler av Trøndelag må anses best egnet for anvendelse av slam.

Avfall — Materialstrømmer

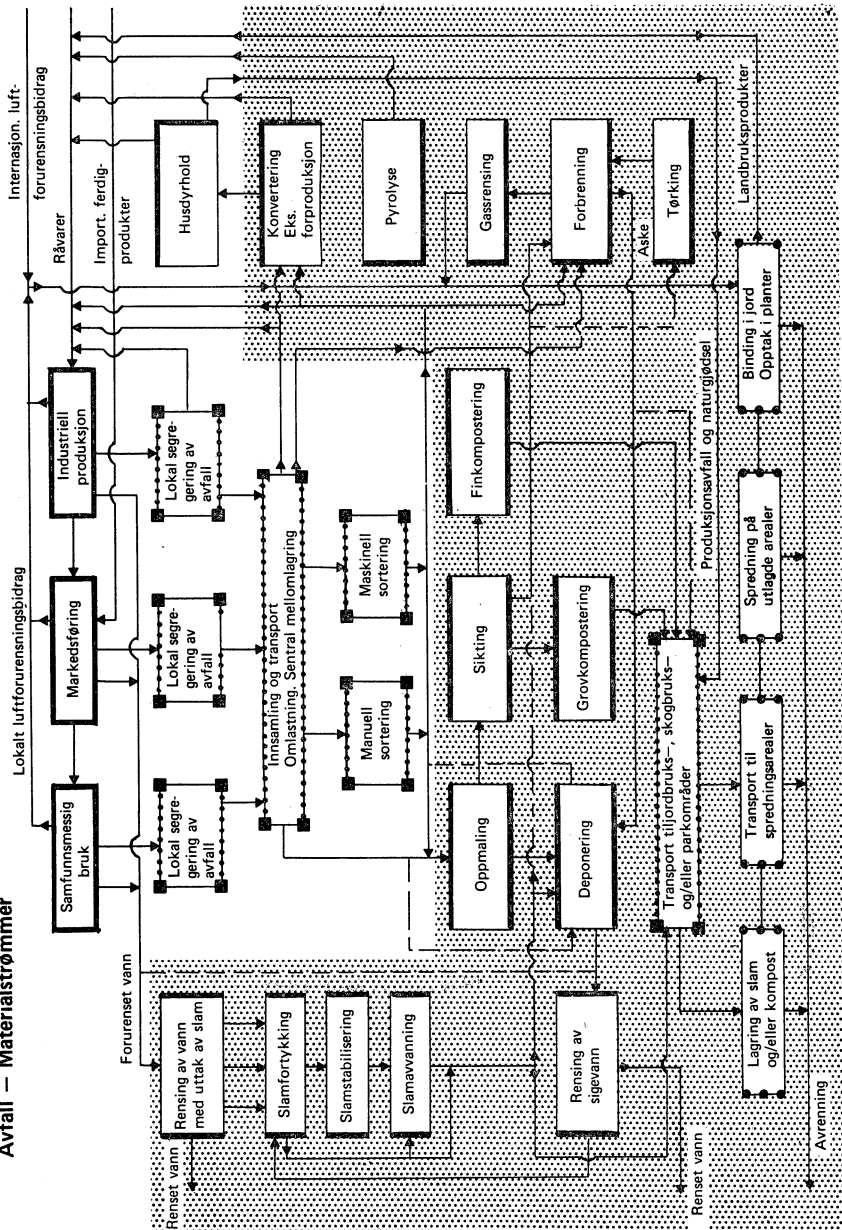


Fig. 1.

- Som følge av vanskelighetene med å ta vare på all matjorda på bakkeplanerte områder (eks. Romerike, områder i Trøndelag), vil slike arealer ha stort behov for humustilskuddet fra slam.
- På nydyrket mineraljord vil det normalt ta lang tid å bygge opp matjordlaget. Slam vil her kunne representere et betydelig humustilskudd.
- Innen tettsteder er behovet for matjord etter hvert stort. Det er tildels vanskelig å skaffe matjord og det omsettes også jord av dårlig kvalitet.
- Under tettstedsforhold kan organisk avfall utnyttes til flere formål:
 - Utbyggingsområder
 - Parker
 - Hager
 - Sportsplasser
 - For terrengutforming og som dekkmasse (eks. fyllinger)
- For slike formål kan slam inngå som jordforbedringsmiddel i flere former:
 - Slam blandet med sand
 - Slam i grovkompost (malt avfall)
 - Slam i kompostert avfall

Slamtillførsel til jord

Vannbalansens avhengighet av vegetasjon og utnyttelsesforhold

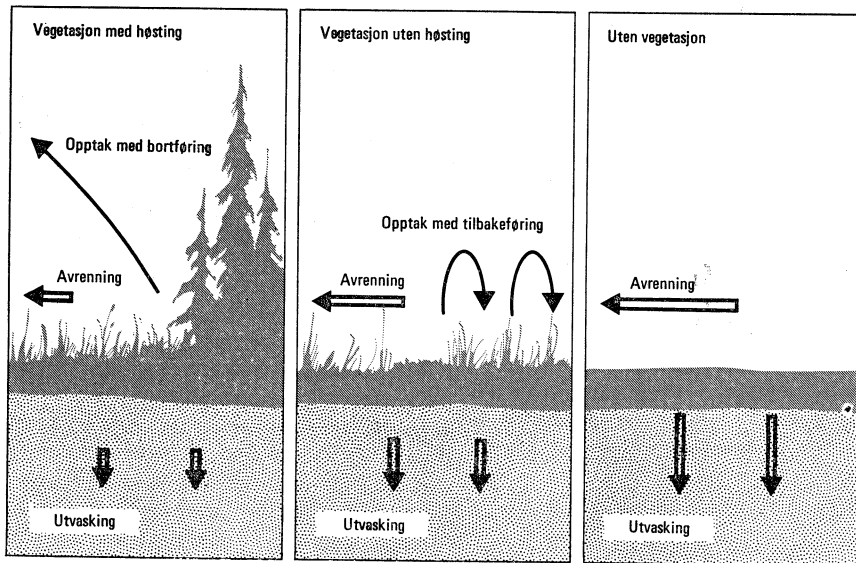


Fig. 2.

— I tettsteder må slambelastningen pr. arealenhet kunne være langt større enn i jordbruket så sant det ikke benyttes i forbindelse med produksjon av mat, f.eks. i private hager.

Prinsipielle problemstillinger ved vurdering av slamavvendelse.

- 1) Innvirkning på jord, avling og vannressurser.
- 2) Driftstekniske hensyn.
- 3) Hygiene.
- 4) Toksiske effekter.

1. Innvirkning på jord, avdeling og vannressurser.

Viktige faktorer er:

- Jordart
- Humusinnhold
- Jordreaksjon
- Stoffenes løslighet
- Bindingsforhold
- Plantearter
m. fl.

Betydning av et areals vegetasjons- og utnyttelsesforhold m.h.t. vannbalanse (avrenning, avopotranspirasjon og infiltrasjon) er vist i fig. 2. Eksemplet uten vegetasjon er sammenlignbart med deponeringssituasjonen (1).

Forsøk med slam i jordbruket utføres i alle de fire nordiske land. Arbeidet forsøkes nå koordinert gjennom Nordiska Jordbruksforskarens Förening (NJF). I Norge utføres arbeidet ved Norges Landbrukshøgskole, Ås — Institutt for jordkultur.

- Forsøk utføres som
- Markforsøk
(teknisk skala)
 - Karforsøk
(veksthus)
 - Lysimeterforsøk
(vannbalanse — friland)

Foreløbige resultater viser
(2) (4) (5):

- Det er vanskelig å skille mellom den relative effekten på jordforbedringsegenskaper, gjødselvirkning og virkning på jordas fysiske egenskaper.
- Forsøk i andre land er stort sett utført med anaerobt stabilisert slam. Slamsettingen har til dels hatt større positiv virkning enn husdyrgjødsel.
- Mistanken om at Fe- og Al-holdig slam fra kjemiske fellingsanlegg kunne forårsake sterkere binding av fosfor i jorda — og dermed gjøre det vanskeligere tilgjengelig for planteproduksjonen, synes å være ubegrunnet. Spørsmålet vil bli nærmere klarlagt.
- Fe- og Al-slam har ikke vist seg å gi spesielle problemer. Dette skyldes et normalt høyt innhold av disse metallene i jord.
- Det er ennå ikke utført forsøk med kalkstabilisert slam, men dette antas å kunne ha en positiv innvirkning på enkelte sure jordtyper. Følgende spørsmål trenger avklaring:
 - Vil OH-ionene følge avløpsvannet?
 - Vil N unnslippe som ammoniakk ved høye pH-verdier?

Anvendelsen av kalkstabilisert slam må vurderes på bakgrunn av de enkelte arealenes kalktilstand.

- Anvendelse av råslam har en negativ virkning på planteveksten i den første tiden etter innblanding. Effekten er avhengig av doseringen. Foreløbig antas at små mengder råslam nedmyllet i jorda om høsten har liten eller ingen negativ virkning på neste sommers avling.
- På grunn av vanskelighetene med å få avvannet septiktankslam under forhold med spredt bebyggelse, må det settes store krav m.h.t. å hindre avrenning ved eventuell anvendelse i jordbruk. I likhet med råslam må septiktankslammet mylles ned året før arealet skal utnytted.

Denne slamtypen, med et jevnt over uendret innhold av tungmetaller, krever små arealer i forhold til kommunalt slam. Mulig belastning er innholdet av 100 septiktanker (2,5 m³) pr. dekar pr. år (200—300 m) under forhold med små nedbørshøyder (3).

2. Driftstekniske hensyn.

- Spredning av uavvannet slam krever flate arealer for å unngå eller begrense avrenning. Det bør dessuten ikke skje på frossen mark og må derfor stort sett begrenses til vår og høst. Dette medfører behov for store og egnede arealer for mellomlagring før spredning (laguner). Bruk av uavvannet slam anses derfor dår-

lig egnet under norske forhold.

- Spredning av avvannet slam med 20—25 % tørrstoff kan utføres med vanlig spredeutstyr for husdyrgjødsel (4). Avvannet slam er vanligvis noe tørrere og seigere enn gjødsel fra storfe, og kan derfor kreve enkel ombygging av sprederen.
- Mellomlagringsplasser bør ligge nær jordbruksarealene. Dette kan tilsi behov for mange små lagringsplasser.
- Ved lokalisering av mellomlagringsplasser må det tas hensyn til:
 - a) grunnforhold og topografi for å sikre mot vannforurensning.
 - b) fremherskende vindretning for å unngå luktplager ved nærliggende bebyggelse eller andre aktivitetsområder.

- Avrenning fra selve deponiet av avvannet slam, som følge av nedbør, synes i flere tilfeller å komme fra slamoverflaten på grunn av at det dannes en «hinne» på slammet i kontaktflaten mot luft. Ved uttørring og oppskrekking vil imidlertid denne effekten reduseres.

3. Hygiene.

- De viktigste organismetyperne ved vurdering av mulighetene for smittespredning når slam anvendes på dyrket mark eller deponeres i fylling, er parasittegg, salmonella-bakterier og virus.
- Nedenfor er vist patogenforekomst avhengig av behandlingsmetode for slammet:

Innhold av	Slamtype				
	Råslam	Aerobt stab. slam	Anaerobt stab. slam	Kalket slam pH >II	Pasteuris. slam 65°, 20 min.
Parasittegg (helminter)	++	+	+	(+)	(+)
Virus	++	+	+	(+)	—
Salmonella	++	+(+)	+	—	—

++ hyppig forekommende. + relativt vanlig forekommende.
(+) påvisbar i enkelte tilfeller. — ikke påvisbar (11).

- Etter tørking, forbrenning og kompostering av slam kan det forutsettes at patogener ikke er påvisbare hvis prosessen styres korrekt.
 - Det er foreløbig uklart hvor lenge ulike patogener overlever i jord etter spredning og nedmylling.
 - Det er heller ikke klarlagt hvordan deponering av avvannet slam på mellomlagringsplasser innvirker på patogeninnholdet.
4. Toksiske effekter.
- De viktigste uorganiske giftstoffer i kommunalt kloakkslam antas å være bly (Pb), kadmium (Cd) og kvikksølv (Hg). Disse henhører blant de stoffer som betegnes tunge metaller.
 - Det foreligger foreløbig få målinger av disse stoffer i norsk slam (5) (9). Tabell 1 viser sammenstilling av en del analyseresultater fra Sverige og Danmark.

Tabell 1.
Konsentrasjon av endel tungmetaller i kommunalt kloakkslam
i Danmark og Sverige (Pauly, Odén).

Antall anlegg og prøver	Stoff	Mg stoff pr. kg slamtørrstoff	
		Median	Maks.
Danmark 22 anlegg 240 prøver	Pb	355	5 130
	Cd	9	85
	Hg	6	34
Sverige 100 anlegg 600 prøver	Pb	200	5 100
	Cd	7	350
	Hg	6	110

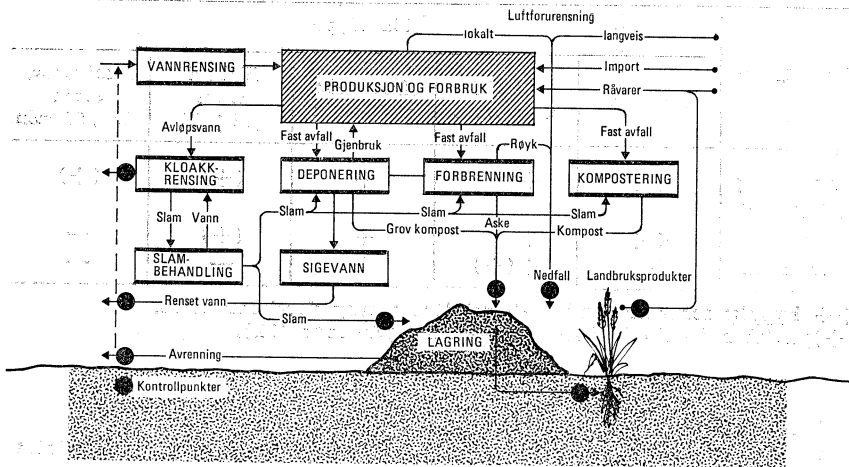


Fig. 3.

- Blant de tunge metaller er det foreløpig bare Pb og Cd som kan benyttes for å vurdere om slammet belaster jordarealene i ønsket grad. Dette skyldes at det bare for disse foreligger anbefalinger til «akseptabel daglig dose» (Acceptable Daily Intake ADI) (11).
- Slam til jordbruket er én av mange kilder til næringsmidlers innhold av Pb og Cd. Konferer materialstrømmene i fig. 3, og illustrasjonen av jordens naturlige innhold av tunge metaller kan bidra, fig. 4. Fremstillingsformen i fig. 4 er hentet fra Pauly (10). Det bør nevnes at belastningstallet 1 t/ha både for husdyrgjødsel og kloakkslam bare er benyttet som et eksempel. Den relative mengden vil variere betydelig, avhengig av lokale forhold.
- Selv om slammets relative betydning i denne forbindelse foreløpig er uavklart, kan det synes forsvarlig å gå inn for sluttdeponering i jordbruket hvis dette skjer under kontrollerte betingelser.
- Den svenske Socialstyrelsens råd og anvisninger for anvendelse av slam som jordforbedringsmiddel, foreslår en tillatt belastning på 1 tTS/ha-år av slam med «normalinnhold» av tungmetaller. For Pb og Cd oppgis dette «normalinnholdet» å være henholdsvis 100—300 ppm og 5—15 ppm (8).
- Ved lavere konsentrasjoner i slammet bør belastningen kunne økes tilsvarende. Om slammet kjøres ut på samme areal bare annet hvert år, må belastningen kunne dobles.
- Ved kontrollert anvendelse av slam i skogbruk, parker, veganlegg o.l., bør den spesifikke belastning kunne være betydelig

BELASTNING AV LEIRJORD MED TUNGMETALLER

Diverse anslåtte verdier

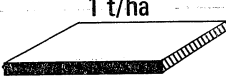
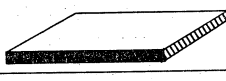
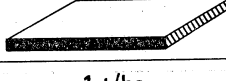
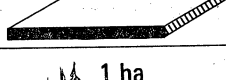
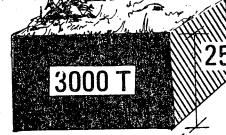
		Gram/ha	
		Cd	Pb
	Husdyr-gjødsel	1 – 2	15
	Kunst-gjødsel	5 – 50	0 – 500
	Atmosf. nedfall	5 – 18	150 – 450
	Kloakk-slam	5 – 10	100 – 400
	Marin leirjord	ca. 600	ca. 75 000

Fig. 4.

høyere enn for jordbruksarealer, vurdert ut fra hensynet til tungmetallenes giftvirkning.

- Betydningen av organisk mikroforensninger, spesielt klorerte hydrokarboner, er foreløbig ikke avklart.
- Innledende undersøkelser har vist at slammene inneholder i tillegg til PCB, også en del uidentifiserte komponenter.
- Spørsmålet om eventuelt opptak av slike stoffer i avling er nå under utforskning.

III. Kompostering og deponering av slam.

Ved kompostering og/eller deponering av slam må problemene ses i sammenheng med behandling av annet organisk avfall — først og fremst kommunalt søppel (16). Enten slammene inngår i en omfattende prosess for fremstilling av fin-kompost eller det deponeres i fylling sammen med søppel, er det ønskelig å få i stand en effektiv biologisk nedbryting av det lett nedbrytbare organiske stoffet. Prosessen er prinsipielt den samme enten den foregår i en styrt reakt-

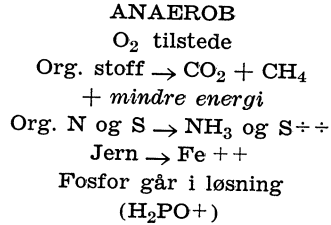
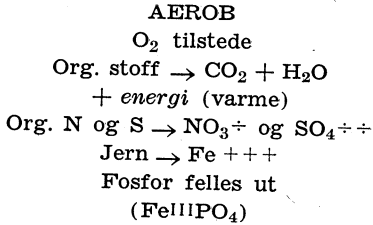
tor for maskinell kompostering, i en vel organisert frilandskompostering eller i en kontrollert fylling.

Det er primært tre forhold som har betydning for hvordan prosessen for-

løper i komposten/fyllingen:

- Oksygenforholdene
- Vanninnholdet
- Forholdet mellom karbon og nitrogen

Oksygenforhold



Ved en aerob prosess vil følgelig sigevann inneholde mindre konsentrasjoner av forurensende stoffer i oppløst form. Dessuten vil nedbrytningsprosessen gå langt hurtigere under aerobe forhold, blant annet p.g.a. varmeutviklingen. *Det er derfor viktig å tilstrebe aerobe forhold.*

— Avvannet slam kan vanskelig komposteres uten tilsetning av et

annet og tørrere materiale, som f.eks. søppel. Dette skyldes først og fremst at det klebrige slammene hindrer en effektiv O_2 -tilgang.

— Den samlede mengde søppel og avvannet slam hentet fra samme befolkningsenhet, vil tilnærmet kunne gi optimale fuktighetsforhold for dekomponering under forutsetning av effektiv blanding.

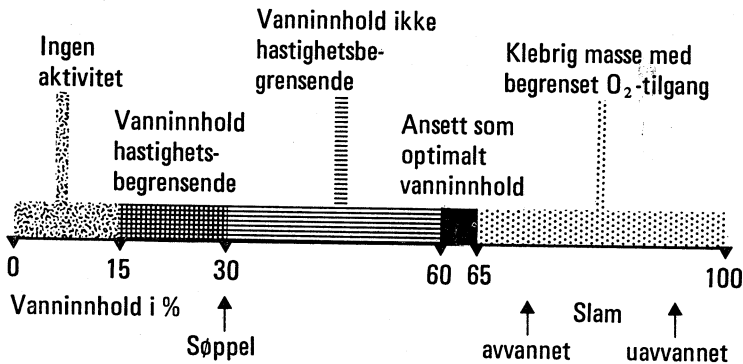


Fig. 5.

Karbon/Nitrogen-forholdet

Ved kompostering bør C/N < 30

C/N (søppel) = 80 — 100

C/N (slam) < 12

Slam inneholder mer nitrogen enn søppel og vil derfor gi det nødvendige tilskuddet for å effektivisere den biologiske nedbrytingen av søppel.

Praktisk utførelse.

Som tidligere fremholdt er det vanskelig å trekke noen klare grenser mellom de nedbrytingsprosessene som foregår i forskjellige former for fyllinger og komposteringsanlegg.

Nedenfor er det imidlertid foretatt en oppstilling av mulige metoder for nedbryting av organisk avfall i søppel og slam. Metodene er listet i henhold til sin økende grad av aerobi og avtagende sigevannsmengder.

1. Ukontrollert fylling.

- Deponering av søppel i 2—6 m tykke lag.
- Kompaktering med sikte på en vesentlig volumreduksjon er ofte utilstrekkelig.
- Utilstrekkelig eller ingen overdekning.
- Anaerobe forhold i fyllingen.
- Sigevann med stort innhold av forurensninger i løsning.
- Slamtilsetning, avvannet eller uavvannet bidrar til økte sigevannsproblemer.
- Alt regnvann på fyllingen infiltreres.
- Ujevn vanngjennomgang inne i fyllingen grunnet «kanal»-dannelser.
- Vil forurense med sigevann i meget lang tid.

2. Kontrollert fylling med overdekning og umiddelbar komprimering.

- Deponering av søppel i 1½—2 m tykke lag.
- Betydelig volumreduksjon (anslag 50 % i forhold til metode 1).
- Anaerobe forhold i fyllingen.
- Avtørring av en del regnvann på fyllingsoverflaten.
- Mindre sigevannsmengder i forhold til metode 1.
- Større forurensningskonsentrasjoner i sigevann i forhold til metode 1.
- Vedr. slamtilsetning som for metode 1.

3. Kontrollert fylling med senere komprimering (6).

- Deponering som for metode 2.
- Ingen eller bare beskjedne overdekning.
- Stort sett aerobe forhold i fyllingen.
- Relativt hurtig nedbryting av organisk stoff med tilhørende varmeutvikling.
- Komprimering etter at den vesentligste nedbrytingen er gjennomført.
- Sigevannsporene mindre enn for metode 1 og 2.
- På grunn av aerobe forhold mer egnet for slamtilsetning enn metode 1 og 2.

4. Fylling av oppmalt avfall med komprimering.

- Deponering av oppmalt avfall i 2 m tykke lag.
- Betydelig volumreduksjon i forhold til metode 1. (70—90 %).
- Maskinell innblanding av avvan-

- net eller uavvannet slam gir homogen fylling.
- Kan m.h.t. sigevannsproblemer sammenlignes med metode 2 og 3.
 - Oppmaling og komprimering reduserer problemer med branner, flyveavfall og utøyt.
5. *Utlegging av oppmalt avfall i tynne lag over store arealer (13).*
- Utlegging av oppmalt avfall i ca. 1 m tykt lag, uten komprimering.
 - Betydelig volumreduksjon i forhold til metode 1. (60—80 %).
 - Krever store arealer og gir urasjonell drift i forhold til metode 4.
 - Betydelig aerob nedbryting av organiske stoffer (3—6 mndr.).
 - Egnet for slamtilsetning på grunn av C/N-forhold og vanninnhold.
 - Slammets vanninnhold reguleres i henhold til relativ mengde søppel og slam samt nedbørforhold.
 - Begrensede sigevannsproblemer.
6. *Nedbryting av oppmalt avfall ved utlegging i strenger.*
- Egnet metode for grovkompostering av avfall til bruk som dekkmasser og eventuelt vekstsjikt i skogsområder.
 - Er ellers sammenlignbart med metode 5 med hensyn til slamtilsetning og sigevann.
7. *Maskinell hurtigkompostering.*
- Reaktorkompostering av oppmalt avfall.
 - Sluttprodukt sammenlignbart med produktet i metode 6.
 - Kort nedbrytningstid (½—2 uker).
 - Egnet for kontrollert slamtilsetning hvor mengde og vanninnhold bestemmes av prosess tekniske hensyn.
 - Ved sikting av grovkomposten og påfølgende modning i opplag fremskaffes et egnet jordforbedringsmiddel til mange forskjellige formål.

REFERANSER

1. *Vigerust, E.* (1972): Jorda som resipient for avfallsstoffer. Kart og Plan, nr. 3, 1972.
2. *Vigerust, E.* (1973): Jordbruksanvendelse av slam og avfall. NIF-kurs: Behandling, deponering og anvendelse av avfall, Røros, desember 1973.
3. *Vigerust, E. og Sorteberg, A.* (1973): Slam fra septiktankene. Kommunalt Tidsskrift nr. 11.
4. *Vigerust, E.* (1974): Personlig kommunikasjon.
5. *Sorteberg, A.* (1974): Slam til jordbruksformål. Miljøvernkurs, NLH, Vårsemesteret.
6. *Hovsenius, G.* (1974): Slam och hushållsavfall — tu blir ett vid kompostering. Kem. Tidskr. nr. 7—8.
7. *Balmér, P.* (1973): Kombinert behandling av slam og søppel. NITO-kurs: Behandling og deponering av slam. Hurdalsjøen, mars 1973.
8. *Socialstyrelsen, Sverige,* (1973): Råd och anvisningar för användning av våtslam som jordförbättringsmedel. Meddelande nr. 30.

9. *Sorteberg, A. (1972): Kloakkslam og tungmetaller.*
Norsk Landbruk nr. 22.
10. *Pauly, H. (1974): Metaller i slam. Notat fra Mineralogisk Institutt, DtH, Danmark.*
11. *Nordforsk (1974): Hygieniske problemer vedrørende deponering og jordbruksanvendelse av kommunalt slam. Publikasjon 1974:2.*
12. *Wigdel, G. (1972): Deponering og destruksjon av avfall. Vurdering av metoder og miljømessige konsekvenser. Forelesning i VA-teknikk, NTH.*
13. *Knoll, K. H. (1973): Deponie und Kompostierung von Abfall 73, Avfall 73, Jönköping, Sverige.*