



Kompostering av avloppsslam för produktion av anläggningsjord

Denise Fahlander



Examensarbete

Handledare: Stig Ledin, Avd. för hydroteknik
Anna Mårtensson, Avd. för växtnäringslära
Annika Jonsson, SITA

Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Avdelningsmeddelande 04:1
Communications

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics

Uppsala 2004

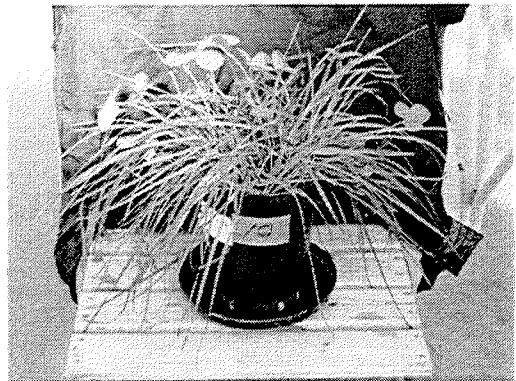
ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--04/1--SE



Kompostering av avloppsslam för produktion av anläggningsjord

Denise Fahlander



Examensarbete

Handledare: Stig Ledin, Avd. för hydroteknik
Anna Mårtensson, Avd. för växtnäringslära
Annika Jonsson, SITA

Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics

Avdelningsmeddelande 04:1
Communications

Uppsala 2004

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--04/1--SE

FÖRORD

Jag vill tacka min handledare på SITA, Annika Jonsson, dels för den intressanta frågeställningen och de givande diskussionerna dels också för att jag fått tillfälle att stifta bekantskap med och se hur företagen, Gästrike Avfallshantering och SITA, arbetar på deponin. Ett stort tack vill jag också ge till Per Olsson, driftchef på Forsbacka Avfallsanläggning, för all hjälp och för ett stort visat intresse och engagemang för mitt examensarbete. Doktorand Cecilia Sundberg på Institutionen för lantbruksteknik, SLU, vill jag tacka för mycket värdefull information om kompostering och för den praktiska hjälpen med stabilitetstesten. Slutligen vill jag tacka mina handledare på Institutionen för markvetenskap, Stig Ledin och Anna Mårtensson, som sakkunnigt och tålmodigt väglett mig genom arbetet och svarat på mina frågor. Tack.

2003-08-30

Denise Fahlander

INNEHÅLL

	Sid. Nr.
REFERAT	7
ABSTRACT	8
INLEDNING	9
Syfte	9
Förklaring av ord i rapporten	10
BAKGRUND	11
Gästrike Avfallshantering AB	11
Metod för utförande av komposten idag	12
Blandning	12
Vändningar	12
Eftermognad och lagring	13
Problem med dagens kompostering	13
LITTERATURÖVERSIKT	13
Betydelse och benämning av material i komposter	14
Kompostering	14
Naturvårdsverkets allmänna råd för kompostering av avloppsslam	15
Olika parametrars betydelse för komposteringsprocessen och kompostrestens kvalitet	15
Växthusgaser	17
Organiska miljögifter	18
Kompostrest	18
Stabilitet	19
Mognad	19
Komposteringsmetoder	20
Reaktorer	20
Statisk hög (Static pile)	21
Strängkompostering (Windrow)	21
Exempel på komposteringsmetoder med avloppsslam	21
Avloppsslam	22
Tungmetaller	23
Patogener	24
Exempel på kompostodling i Malmö	24
Kriterier avseende anläggningsjord	25
Organiskt material	25
Organiska miljögifter	26
Tungmetaller	26
MATERIAL OCH METODER	26
Kompostförsök (försök 1)	26
Material	26
Homogenisering av jordmaterial	27
Stabilitetstest	27
Beredning och analys av prover	27
Provinsamling av råmaterial till försökskomposter	27
Utförande av försökskomposter	28
Kompostrest (försök 2)	30
Material	30
Insamling av prover	30
Utförda analyser	30
Groningsförsök	30
Växtförsök i anläggningsjordar (försök 3)	31

Material	31
Insamling och beskrivning av anläggningsjordarna i försöket	31
Tillredning av anläggningsjordarna K4% och K8%	31
Utförande av växthusförsök	32
Analys av anläggningsjordar	33
Analys av växter	33
RESULTAT	34
Kompostförsök	34
Kol- kvävekvor, pH och stabilitet	34
Temperatur	35
Kompostrest	37
Näringsämnen, tungmetaller och stabilitet	37
Groningsförsök	38
Växtförsök i anläggningsjordar	38
Analys av anläggningsjordar	39
Tillväxt och skörd	39
Metallinnehåll i gröda	40
DISKUSSION	41
Kompostförsök	42
Kompostrest	43
Växtförsök i anläggningsjordar	44
Metaller	45
Näringsämnen	45
Slutsats	46
KÄLLFÖRTECKNING	48
BILAGOR	51
Bilaga A. Avloppsslam till Forsbacka Avfallsanläggning	51
Bilaga B. Växthusförsök - Krukschema	52
Bilaga C. Försökskomposter	53
Bilaga D. Analysresultat över Gästrikre Avfallshanterings kompostrest	54
Bilaga E. Anläggningsjordar	55
Bilaga F. Signifikanta samband mellan växtvikt och metallinnehåll	56

REFERAT

Kompostering kan vara ett kretsloppsanpassat alternativ för att ta hand om det avloppsslam som genereras vid svenska reningsverk. Avloppsslam är annars en restprodukt som det är svårt att ta hand om, eftersom det saknas väl utarbetade metoder och slammet innehåller metaller, patogener samt mer eller mindre kända kemikalier från samhället. Tidigare var deponering ett sätt att bli av med problemet men efter 2004 får organiskt avfall, vilket slam är, inte deponeras.

I det här arbetet har tre praktiska försök genomförts för att utvärdera Gästrike Avfallshanterings kompostering av avloppsslam vid Forsbacka Avfallsanläggning och slutprodukten (kompostresten). Försökskomposter gjordes för att utvärdera komposteringsmetoden (försök 1), kompostresten analyserades på bl.a. tungmetaller och mognadsgrad (försök 2), det tredje försöket var ett växthusförsök med anläggningsjordar, där Forsbacka Avfallsanläggnings kompostrest ingick som organisk fraktion.

Nedbrytningen av det organiska materialet i försökskomposterna gick långsamt, främst till följd av att råmaterialen blandats i dåliga proportioner, vilket medförde kolfattiga och struktursvaga försökskompostblandningar (försök 1). De ogynnsamma blandningarna resulterade därmed i låg mikrobiell aktivitet (ineffektiv kompostering). Temperaturerna i försökskomposterna var så låga att man kan diskutera om det verkligen förelåg någon egentlig kompostering. De låga temperaturerna berodde till viss del på att de små försökshögarna (ca 6 ton) kylde av utifrån. Eftersom en av försökskomposterna hade samma råmaterialblandning som Gästrike Avfallshantering använde sig av, talar mina resultat för att mer kolrikt och strukturstarkt råmaterial bör användas även där. För att öka syrehalten i de stora komposthögarna som finns på Forsbacka Avfallsanläggning bör storleken på komposthögarna minska. Nämnade ändringar behövs för att uppnå en god kompostering, vilket innebär t.ex. hygienisering, luktminskning och snabbare omsättning av materialen. Ett bra alternativ på råmaterial är det blandslam (fiberslam) från ett kartongbruk, som användes i försökskomposterna. Blandslammet innehåller troligtvis mycket lättillgängligt kol och kan med fördel tillsättas, speciellt under vintermånaderna då vädret kyler komposten utifrån, för att uppnå en effektiv kompostering.

Gästrike Avfallshanterings kompostrest uppfyllde metallhaltskraven och mognadskraven i SPCR 120, dessa certifieringsregler gäller dock inte för kompostrest baserad på avloppsslam, men har använts i rapporten eftersom det var regler som fanns att tillgå för kompostrest (försök 2). Kompostresten kunde också liknas med andra kompostrester, både baserade på matavfall, och andra, baserade på avloppsslam. Kompostresten hade ett rikt innehåll av fosfor och kväve. Näringsämneshalterna varierade mycket mellan olika tider och platser, både för den aktuella kompostresten och för andra.

Mitt växthusförsök visade att blandad med mineraljord fungerade kompostresten mycket bra som anläggningsjord (försök 3). Tillväxten var god och metallinnehållet i växterna var inte oroväckande högt även om koppar och zinkhalterna var relativt höga. I växthusförsöket, med två andra jordar, var zinkhalten i en av de andra jordarna högre. I försöket avspeglade jordarnas zink- och kopparhalter ganska väl det metallupptag som skedde i växten, vilket innebar att högre metallhalter i jorden också generellt resulterade i ökat metallupptag hos växten. Försöket utfördes med rödklöver och rajgräs. Alla zink och kopparhalter i växterna låg tydligt inom normala värden.

ABSTRACT

Composting could be an environmentally acceptable alternative to take care of the sewage sludge that is generated at Swedish sewage treatment works. The sludge contains metals, pathogens and more or less known chemicals from the society. There are no well developed methods to take care of the residual sewage sludge. Earlier landfilling was an alternative to take care of the problem, but after the year 2004 it will not be allowed to deposit organic compounds.

This study comprises three practical parts to evaluate the composting of sewage sludge performed by Gästrike Avfallshantering at the site Forsbacka Avfallsanläggning. Experimental composts were made to evaluate the method used by the company (Experiment 1), the compost residue was analyzed for heavy metals and degree of maturity (Experiment 2), the third experiment (Experiment 3) was a greenhouse experiment where the compost residue of Gästrike Avfallshantering made up the organic fraction of two different plant substrates.

The degradation of the organic material was slow in the experimental composts, primarily because of the bad proportions of the starting feedstocks, which led to poor carbon content and weak structure of the compost mixtures (Experiment 1). The disadvantageous mixtures resulted in low microbial activity (ineffective composting). The low temperatures in the experimental composts made one wonder if there were any actual composting processes going on. The low temperatures partly depended on the small sizes of the experimental composts (ca 6 tons) which were cooled off from the ambient air. Though one of the experimental composts consisted of the same feedstock proportion as the mixture of Gästrike Avfallshantering, the results indicate that more carbon rich substrate and more bulk material, to improve the structure of the composts, should be added. To increase the oxygen content in the large piles at Forsbacka Avfallsanläggning the size of the compost piles should be reduced. Proposed alterations would be needed to achieve a good composting process, which involves e.g. sanitation, odor reduction and a faster turnover by the substrates. A good alternative feedstock is the fibrous material residue (from a carton mill) used in the experimental composts. The fibrous material probably contains lots of easily accessible carbon, and may well be used during the winter season to achieve effective composting.

The compost residue of Gästrike Avfallshantering achieved the metal and maturity demand of certification "SPCR 120", although this certification does not include compost residue based on sewage sludge, but SPCR 120 was used because it was the regulation obtainable to compost residue (Experiment 2). The compost residue was similar to other compost residues irrespective of it being based on sewage sludge or other organic materials. The compost residue was rich in phosphorus and nitrogen. Nutrient content varied a lot between different places.

The greenhouse experiment showed that mixed with mineral soil the compost residue was a very good growth substrate (Experiment 3). The plant growth was good and the metal content was acceptable, though copper and zinc content were relatively high. During the greenhouse experiment, with two other plant soils, one of those soils had higher zinc content. The experiment indicated fairly well that the metal uptake in the crop depended on the metal content in the soil. The plants used in the experiment were red clover and rye grass. The zinc and copper contents in both species were evidently within normal values.

INLEDNING

Avloppsslam är en organisk restprodukt som ständigt bildas i stora mängder via reningsverk. 1998 producerades ca en miljon ton slam (våt substans) vid Sveriges kommunala avloppsreningsverk (Naturvårdsverket, hemsida, 2003-04-14). Mängden slam och det faktum att det är ont om avsättningsområden för slammet gör det till ett samhällsproblem som man idag inte har någon distinkt lösning för. Tidigare deponerades slammet i stor utsträckning och till viss del spreds det ut på åkrar. Båda dessa alternativ är idag så gott som otänkbara eftersom organiskt avfall enligt förordningen om deponering (2001:512, notisum, hemsida, 2003) inte får deponeras efter 2004, och att LRF (Lantbrukarnas Riksförbund) sedan 1999 infört ett slamstopp vilket innebär att de rekommenderar sina medlemmar att inte använda avloppsslam på jordbruksmark. I de fall där fosfor inte tillvaratas ur slammet vid förbränning av avloppsslam bör inte heller det alternativet användas anser Naturvårdsverket (Naturvårdsverket, 2002). Detta tillsammans med att deponiskatten höjts skapar incitament för att återvinna avfall genom biologisk behandling (Lundberg & Cederlöf, 2002).

En tänkbar lösning på det ackumulerade slamöverskottet är att kompostera slammet, för att sedan tillverka en tillförlitlig jordprodukt av kompostprodukten (kompostresten) för användning på mark där näringen behövs. Kompostresten har flera fördelar, förutom de näringsämnen som förekommer i slammet och därmed i kompostresten erhålls också en långsiktig positiv mulleffekt, vilket innebär att jordens egenskaper förbättras. Kompostresten innehåller mycket organiskt material som kan öka jordens vattenhållande förmåga, buffringkapacitet och generellt förbättra jordstrukturen med porer och aggregat. Näring frigörs kontinuerligt från det organiska materialet. Tillsatt kompostrest ökar växters möjlighet att växa i jorden. Kompostering av avloppsslam för tillverkning av anläggningsjord har en långvarig tradition i Sverige.

Detta examensarbete uppkom på förfrågan av Gästrike Avfallshantering, ett dotterbolag till SITA (ett bolag med miljöriktiga totallösningar för avfalls- och restprodukthantering). Bolaget driver en avfallsanläggning belägen i Forsbacka, mellan Gävle och Sandviken, bland annat komposterar bolaget reningsverkens avloppsslam från kommuner i närområdet. Avsikten är att förädla slammet till en jordprodukt, vilken man sedan ska kunna sälja t.ex. tillbaka till kommunerna.

Syfte

Syftet med examensarbetet är att svara på bolagets förfrågan, vilken nedan sammanställts i tre frågor, angående Gästrike Avfallshanterings kompostrest.

1. Utvärdering av komposteringsmetoden, kan komposteringsprocessen förbättras med inblandning av nya tillsatsmaterial och/eller ändrat praktiskt tillvägagångssätt?
2. Status på kompostresten, är den jämförbar med andra kompostrester och uppfyller den de krav som finns?
3. Är kompostresten, blandad med mineraljord, jämförbar med andra anläggningsjordar och uppfyller den ställda krav på anläggningsjordar?

Tre praktiska moment har utförts för bedömning av Gästrike Avfallshanterings kompostrest. Kompostförsök, kvalitetsgranskning av kompostresten och växtförsök i en tänkbar

anläggningsjord (i växthus). Avsikten med dessa är att försöka ge svar på syftets frågor och se om hypoteserna nedan stämmer.

En kompost bör ha en bra sammansättning av de ingående materialen (råmaterialen) för att ge en tillfredställande kompostering och slutprodukt. Strukturen är viktig med tanke på t.ex. partikelstorlek, luft och vattenhalt. TS-halten för startblandningen bör ligga runt 50 %. Blandslam från Stora Ensos kartongbruk i Fors i Dalarna, är ett tillsatsmaterial som troligtvis bidrar med struktur, kol och lägre vattenhalt. Blandslammet är en blandning av två restprodukter som innehåller mycket pappersfibrer. För att undersöka om detta är ett bra tillsatsmaterial och utvärdera komposteringsmetoden samt betydelsen av olika tillsatsmaterial utfördes ett komposteringsförsök (i mindre skala, ca 6 ton) på Forsbacka Avfallsanläggning. De material som studerades var avloppsslam, grönflis, gödsel och blandslam i olika kombinationer. En sammanställning av hur komposterna utvecklats under tiden har gjorts.

Kompostresten bör vara av tillfredställande kvalitet och klara de krav och regler som finns. Certifieringsregler för kompost och rötrest, SPCR 120 (SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut) har varit utgångspunkt för undersökningen av Gästrikre Avfallshanterings kompostrest. Certifieringsreglerna gäller ej för kompostrest baserad på rötat avloppsslam, men de har i denna rapport använts som riktvärden för Gästrikre Avfallshanterings kompostrest. SPCR 120 gäller praktiskt taget allt organiskt material utom avloppsslam, exempelvis: gödsel från husdjur, bark, matrester från hushåll och restauranger, växthusrens m.m. SPCR 120 är ganska nya regler och de första kompostresterna certifierades våren 2003. Regler och riktvärden saknas för kompostrest baserad på avloppsslam. Kompostrestens kvalitet undersöktes därför genom analyser av kompostresten, och därefter en jämförelse mot andra kompostrester samt mot kraven i SPCR 120.

Växter som odlas i jord med kompostrest baserad på avloppsslam antas innehålla mer fosfor och metaller än de växter som odlats i andra anläggningsjordar. Avloppsslam innehåller mycket fosfor vilket borde leda till en ökad tillväxt för de plantor som odlas i jordar med kompostrest, baserad på avloppsslam, jämfört med plantor som växer i andra substrat med lägre fosforhalt. Avloppsslam innehåller även relativt mycket metaller. Klöver kan bilda rizobium (särskilda rotknölar) med en bakterie. Denna symbios gör att klöver kan utnyttja luftens kväve och därmed förmodligen lättare tillgodogöra sig tillgängligt fosfor. Tillväxten i kompostjordarna antas vara högre än för de andra jordarna eftersom fosfor ofta är ett begränsande näringsämne. Effekten på växters metallupptag från anläggningsjordar antas vara att metallinnehållet i växten avspeglar jordens metallinnehåll.

Förklaring av ord i rapporten

Anläggningsjord – växtsubstrat, bestående av mineraljord och organiskt material, används som växtbädd vid anläggning av grönytor.

Kompost – blandning av organiskt material där en aktiv komposteringsprocess pågår.

Kompostrest – färdig kompostprodukt.

Råmaterial – en övergripande benämning på alla material som blandas in i komposten.

Tillsatsmaterial – ett material som tillsätts komposten för att förbättra förutsättningarna för komposteringsprocessen.

BAKGRUND

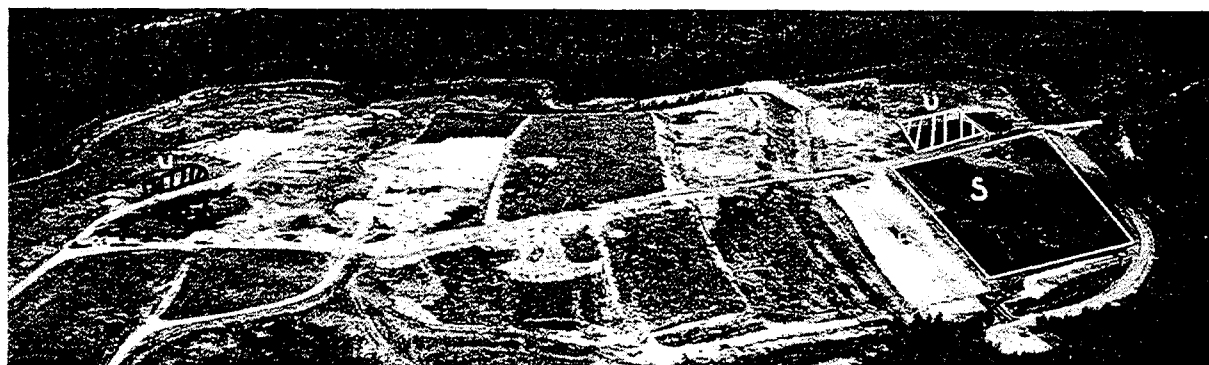
Gästrike Avfallshantering AB

Bolaget, Gästrike Avfallshantering AB, bedriver sin huvudsakliga verksamhet på Forsbacka Avfallsanläggning som omfattar 37 ha med bland annat deponi, mellanlagringsplats för produkter med producentansvar och kompostering av avloppsslam.

Sedan sommaren 2001 sker kompostering av avloppsslam i Forsbacka på en asfalterad slamplatta (figur 1). Från början var det Dewatech AB som var ansvarig för tillverkningen men sedan den 1 januari 2003 är det Gästrike Avfallshantering AB som bedriver verksamheten. Inom anläggningsområdet, på två platser, finns det ganska stora mängder kompostrest som ligger på eftermognad (figur 1), dessa lades upp under sommaren 2002. Kompostresten som var klar i januari 2003 tillverkades alltså inte av Gästrike Avfallshantering, men det är de som förvaltar kompostresten på anläggningen, sedan komposteringen övertogs från Dewatech.

Den komposteringsprocess som används idag är inte så effektiv och det tar lång tid att uppnå ett önskvärt resultat. Man strävar efter att uppnå effektiv kompostering, för att snabbare åstadkomma en kompostrest som kan forslas från slamplattan och ge plats till nyinkommet material. Effektiv kompostering skulle öka möjligheterna till att utnyttja den yta som finns tillgänglig på slamplattan (12000 m²) där det hittills varit relativt trångt. Gästrike Avfallshantering önskar också att kompostresten ska vara lämplig att använda som organisk fraktion i anläggningsjordar. Den bör då vara hygieniserad, har låga halter av tungmetaller och andra föroreningar samt att produkten ska vara stabil och långsamt frigöra näringsämnen.

Avsikten med kompostresten, är att den ska säljas som anläggningsjord till t.ex. kommuner och anläggningsfirmor. Förutsättningarna för detta är att producenten vet vilken kvalitetsnivå komposten har och vilka krav som kan tänkas ställas på den kompostrest de tillverkar om den ska användas som anläggningsjord. Man är även intresserad av vad potentiella kunder önskar och vilka krav och regler som finns för jordprodukter. Det används mängder av jord vid anläggning och skötsel av parker, grönområden och t.ex. golfbanor runt om i landet varje år. Det är vid dessa tillfällen man tänker sig att den tillverkade kompostresten kan vara ett väl så bra alternativ som någon annan jord.



Figur 1. Upplagringsplatser för kompostresten på Forsbacka Avfallsanläggning är markerade med U. Slamplattan där komposteringen utförs är markerad med S.

Metod för utförande av komposten idag

Komposteringen på Forsbacka Avfallsanläggning utförs med en blandning av huvudsakligen tre råmaterial, avloppsslam, stallgödsel och flis. Ibland kan andra organiska material blandas med som t.ex. svampkompost, bark eller fiberslam.

Blandning

Slammet blandas, oftast samma dag som det kommer in, med gödsel och flis på slamplattan. Blandningen sker med lastmaskin. Lastmaskinens utformning gör det svårt att tillreda en homogen blandning. Detta gör att råmaterialen ofta ligger i tydligt urskiljbara sjok av vartdera materialet efter första blandningen. Den dåliga blandningen beror förstås även på de ingående materialens struktur. Trots att man försöker tippa lite av materialen åt gången för att få in luft och öka blandningen, så håller materialet ganska hårt sin egen struktur och packning, och faller i stora klumpar. De tre materialslagen beskrivs mer ingående nedan.

Avloppsslam kommer in nästan dagligen, och tippas direkt på slamplattan. Den största andelen slam som kommer till anläggningen är rötat (12000 ton/år) men även endast avvattnat slam anländer från vissa kommuner (8000 ton/år). År 2002 tog anläggningen emot totalt 23 000 ton reningsverksslam (SITA suez, 2003). Slammet som kommer från reningsverken är blött (TS ca 17-25 %) och består endast av mycket små partiklar. Detta ger slammet en mycket plastisk och homogen sammansättning. Slammets egenskaper gör det till ett kompakt material som är besvärligt att kompostera, dels på grund av att det är svårt att blanda in luft, och dels på grund av det låga energiinnehållet.

Gödsel tippas också direkt på slamplattan. Den största delen av gödseln som kommer in är stallgödsel från Gävle Travet och består således till stor del av spån och hästdynga. Även gödsel från andra häststall används. Ibland tar man även emot stallgödsel från Furuviksparken. Stallgödsel förekommer inte i tillräckligt stora kvantiteter för komposteringen i förhållande till mängden slam. År 2002 kom det in ca 5000 ton stallgödsel till anläggningen.

Flis består till största delen av kommunernas park- och trädgårdsavfall. Materialet krossas på anläggningen innan det används till kompostering. Det är på sina håll blött och man kan känna på lukten att nedbrytningsprocesserna har börjat. Här i ligger ofta en del föroreningar som glasflaskor, snusdosor och plastpåsar. Dessa följer med under komposteringen men siktas ut ur den färdiga komposten tillsammans med de stora kvistarna. Periodvis är det svårt att få tag på materialet, främst beroende på årstid. År 2002 kom det in 3500 ton till anläggningen.

Vändningar

Idag läggs stora strängar (ca fyra meter höga, åtta meter breda och 30 meter långa) upp i samband med komposteringen. Dessa försöker man vända var fjortonde dag. Under vintern vänder man färre gånger, för att inte vända in kyla, och gör då större högar för att hålla dem tjälfria. Komposteringen går långsammare under vintern. Under 2001 och 2002 vändes de ca tre gånger under hela komposteringstiden som varade fyra till sex månader beroende på årstid. Det är dessa komposter som utgör dagens sållade och färdiga kompostrest.

Processen antas gå fortare när materialet torkat upp något. Därför vänds strängarna vid torrt väder och när ytan är torr. När strängen vänts torkar det torra materialet upp inifrån, samtidigt som annat blött material vänds ut och torkas av vind och luft. Det tunga, blöta materialet och den stora volymen i en sträng, kompakterar snabbt de luftfickor som bildas i högarna vid

vändning. Lufttillförseln under vändningarna tror man därför inte har någon större positiv effekt för torkningen. Vändningarna ser man till att utföra vid så varmt väder som möjligt för årstiden, för att inte minska temperaturen inne i komposten. Ju fler gånger materialet vänds och ju torrare materialet blir desto mer homogen blir blandningen. Varje sträng vänds minst tre gånger under komposteringsprocessen.

Eftermognad och lagring

Den färdiga komposten flyttas ofta från slamplattan för att eftermognas (se Mognad) på annat ställe på anläggningen. Därefter sållas och siktas komposten med trumsikt, detta sker under torra och varma förhållanden. Vid regn blir materialet svårhanterligt för maskinen. I vissa fall sållas komposten innan den läggs upp för eftermognad. Högarnas storlek varierar mycket, ca 40*40*4 m var en som fanns våren 2003.

Problem med dagens kompostering

Ett problem är att temperaturen i kompoststrängarna är låg, särskilt under vintermånaderna. Ett annat problem är att den yta som finns till förfogande för komposteringen är liten i förhållande till den mängd slam (23 000 ton, 2002) som kommer in. Ett tredje problem är att det är förhållandevis ont om tillsatsmaterial till komposten, i detta fall gödsel och flis.

Det finns önskemål om att kunna förstå varför processen går långsamt och därmed också kunna lösa problemet med praktiskt användbara metoder. Slamplattan på 12 000 m² är den yta man har till förfogande för avlastning, blandning och kompostering av de tre materialen. Den begränsade tillgången på tillsatsmaterial gör det intressant att kolla upp möjligheterna av annat tillsatsmaterial. Ett förslag från Stora Enso, i Fors i Dalarna, är att använda deras blandslam (fiberslam) som är en restprodukt ifrån deras kartongbruk.

LITTERATURÖVERSIKT

Kompostering är en aerob biologisk process som innebär att organiskt material omvandlas till en humusliknande produkt. Nedbrytning av material och värmeutveckling i en kompost sker naturligt av de mikroorganismer som finns närvarande. Komposteringshastigheten kan kontrolleras genom att ändra på faktorer som påverkar de involverade mikroorganismerna (Haug, 1993). Processen och slutprodukten kan också praktiskt påverkas till följd av de ingående materialens innehåll av näringsämnen och föroreningar. Dessutom har råmaterialens fysikaliska egenskaper betydelse för t.ex. hur komposteringsprocessen kommer att framskrida. En kontrollerad kompostering med kända ingående material gör att man med större sannolikhet kan säga något om kompostresten. För att uppnå en god kompostering och kompostrest bör därför lämpliga tillsatsmaterial väljas.

Vid kompostering utgår man från olika material av biologiskt ursprung. Råmaterialet kan t.ex. utgöras av fraktionen ”komposterbart” i kommuner som tillämpar utsortering av komposterbart hushållsavfall, parkavfall eller avloppsslam. Tyvärr sker det aldrig en 100 procentig separering av råmaterialet, vilket gör att oönskade delar som glas och plast kommer att följa med genom komposteringsprocessen om det finns med i råmaterialet. Ju bättre kvalitet det är på råmaterialet desto lättare är det att få en hög kvalitet på kompostresten. Det förhindrar dock inte att en säljbar produkt kan tillverkas utifrån ett heterogent material, dock krävs mer arbete vid själva komposteringen.

Betydelse och benämning av material i komposter

Material som tillförs komposten kan tjäna två syften, (1) att ge struktur och torka upp kompostmaterialet eller (2) fungera som energitillskott till komposten. För att uppnå det första syftet bör tillsatsmaterialet vara ett organiskt eller oorganiskt material som minskar bulkvikten och ökar porositeten. För att uppnå det andra syftet ska tillsatsmaterialet vara organiskt och energirikt (Haug, 1993).

Partikelstorleken på de ingående materialen i komposten är viktig eftersom den påverkar transporten av syre in i komposthögen. Av den anledningen är stora partiklar bra, men små partiklar är mer effektiva som energitillskott eftersom de bidrar med en större tillgänglig yta för mikroorganismerna och därmed kan energin i materialet utnyttjas bättre.

Substraten i komposten uppfyller en bra kvalitet när grundämnena förekommer i enkla molekyler. T.ex. består cellulosa och lignin av liknande andel kol och i övrigt bara väte och syre, ändå skiljer sig molekylerna mycket från varandra, lignin har en komplex struktur som det tar lång tid att bryta ned. Därför är cellulosa en kvalitativt bättre kolkälla än lignin eftersom kolet är mer lättillgängligt i cellulosa (Sylvia m.fl., 1999). Organiskt material består av komplexa strukturer till vilka många molekyler så som metaller, näringsämnen och föroreningar kan adsorberas (bindas) relativt hårt till.

Råmaterial (Feed) – Råmaterial är en övergripande benämning över alla material som blandas in i komposten.

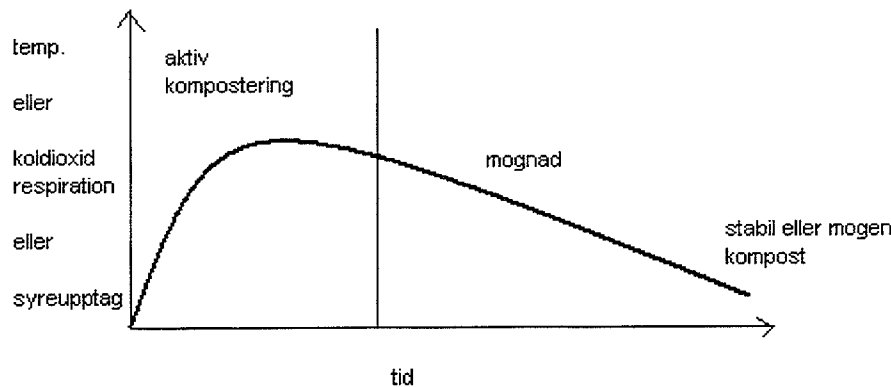
Tillsatsmaterial (Amendment) – Tillsatsmaterial är ett material som tillsätts för att förse komposten med bättre förutsättningar, t.ex. lättillgängligt kol och lämplig vattenhalt (40-60 %). Tillsatsmaterialet utgör en del av den färdiga kompostresten och sällas alltså inte bort vid något senare skede. Exempel på tillsatsmaterial är sågspån och halm. Sågspån fungerar bra som ett upptorkande tillsatsmaterial och kolkälla. Kol- kvävekvoten i sågspån av tall är 225 (Sylvia m.fl., 1999).

Bulkmaterial – Bulkmaterial är tillsatsmaterial som sorteras bort senare, organiskt eller oorganiskt. Kriteriet är att fragmenten ska vara tillräckligt stora för att utgöra ett tredimensionellt matrix och bidra med struktur och porer. Bulk materialet ger komposten en stabil struktur och förser därmed komposten med luftfickor (Haug, 1993). Vanligt är träflisor 2,5-5,1 cm. Om man tillsätter ett organiskt material tänkt som bulkmaterial, men det inte ger önskad effekt, då är det bättre att flisa ner det och använda det som tillsatsmaterial istället. Träflis är bra bulkmaterial inte bara för att bidra med luftfickor utan också som upptorkande material. Ett exempel på oorganiskt material är gamla flisade bildäck (Haug, 1993).

Recirkulat (Recycle) – Mer eller mindre färdig kompost som blandas med färskt material (C. Sundberg, pers. medd., 2003).

Kompostering

Kompostering är en process som sker i två huvudsteg som beror på den mikrobiella omsättningen av organiskt material. Alla ämnen börjar brytas ned samtidigt men hastigheten är olika, beroende på ämnens struktur. Enkla molekyler som t.ex. socker och vattenlösliga proteiner är ämnen som omsätts snabbast och bidrar med lättillgänglig energi. Viktiga faktorer som påverkar mikroorganismerna är vattenhalt, syre, temperatur och passande



Figur 2. Utvecklingen av temperatur och koldioxid samt syreupptag med tiden, under komposteringens aktiva fas och mognadsfas.

substrat. Genom att reglera dessa faktorer kan processen till stor del styras (Haug, 1993). Först sker ett snabbt nedbrytningssteg och därefter ett långsammare mognadssteg (eftermognad). Båda dessa steg har en betydande funktion för den slutliga kompostresten och därför är det av stor vikt att tänka på hur komposteringen utförs från startmaterial till slutprodukt. Det kan vara svårt att styra och med säkerhet säga, vad som kommer att ske och bildas under själva processen. Däremot är det värt att nämna att det material som blandas in vid start är det möjligt att ha god kontroll på.

Det första steget är en initial nedbrytning av den lättillgängliga energin, (aktiv kompostering, figur 2). I och med detta ökar temperaturen i komposten och mikroorganismaktiviteten ökar. Aktiviteten är som störst under de första sju dagarna (Epstein, 1997). När temperaturen ökar övergår mikroorganismpopulationen i att vara termofil. För en optimal process behövs god syretillförsel och relativt mycket kol. När temperaturen når 50-60°C blir processen självbegränsande och komposteringshastigheten minskar (Sylvia m.fl., 1999). Temperaturen bör ej överstiga 70°C (Epstein, 1997).

Det andra steget, eftermognaden eller mognaden, tar längre tid. Mognadssteget behövs för att överkomma de långsamma kinetiska effekterna d.v.s. den energi som behövs för att bryta ned svårnedbrytbara organiska föreningar (t.ex. aromatiska och alifatiska föreningar med låg molekylvikt samt lignin) och stabilisera de mesofila mikroorganismpopulationerna. Här sker ett mindre syreupptag än i initialsteget och temperaturen är lägre (figur 2).

Naturvårdsverkets allmänna råd för kompostering av avloppsslam

I Naturvårdsverkets allmänna råd (NFS 2003:15), (Naturvårdsverket, hemsida 2003-06-18) till 2 kap. 3 § miljöbalken (1998:808) om metoder för yrkesmässig lagring, rötning och kompostering av avfall, ges vägledning för metoder avseende yrkesmässig kompostering av avloppsslam (Naturvårdsverket, hemsida, 2003-06-18). Till exempel ska lakvattenhantering finnas, bildat lakvatten bör återföras till processen eller renas innan utsläpp till recipient. Efterbehandling och lagring av kompostrest bör ske så att bildning och utsläpp av oönskade ämnen minimeras.

Olika parametrars betydelse för komposteringsprocessen och kompostrestens kvalitet

Mikroorganismer – De allra flesta mikroorganismer i en kompost är bakterier. De är beroende av fukt och för att överleva förekommer de endast i den vattenfilm som omger partiklarna i

komposten. De flesta livnar sig främst på lättillgängliga organiska föreningar så som socker, proteiner och organiska syror. Färskt material ger i regel god tillgång på enkla kolföreningar och därmed en hög omsättning utav materialet genom de närvarande mikroorganismerna. Mikroorganismerna respirerar enligt $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. För att reaktionen ska ske fullständigt krävs god syretillgång, annars kan restprodukter (t.ex. metan) bildas.

Många bakterier kan bilda vilsporer vilket är en egenskap som ger möjlighet till överlevnad när miljön blir ogästvänlig, exempelvis torr. Vilsporererna gör att populationerna kan leva upp igen när miljön åter blir tillfredställande (Robertsson, 1994). Detta kan tänkas ha betydelse när det gäller förekomst av patogena mikroorganismer i kompostresten, eftersom det finns risk för att dessa kan spridas, om inte en effektiv avdödning, som upphettning i kompost sker (se Patogener).

Beroende på de ingående materialens struktur och sammansättning av näringsämnen så kommer den mikrobiella nedbrytningshastigheten och de ämnen som bildas i komposten att variera. Även de genetiska faktorerna hos organismerna har betydelse för hur lång tid nedbrytningen tar och vad som bildas (Madigan m.fl., 2000). Tillväxthastigheten, antalet bakterier per tidsenhet, kan antingen öka, minska eller vara konstant beroende på omgivande faktorer (näringstillgång, temperatur, luft, fukt m.m.).

Lukt – Olika ämnen kan bildas under kompostering och bidra med lukt t.ex. organiska syror, merkaptaner och ammoniak. Det är nedbrytningen av främst kväve- och svavelrika material i komposten som ger upphov till oangenäm lukt. Om det blir syrefritt under pågående kompostering kan lukt uppstå på grund av att restprodukter, som metan och ammoniak, bildas från anaerob nedbrytning. Risken för oangenäm lukt blir större om komposten inte omsatts under tillräckliga luftförhållanden. Mycket syre ger bra nedbrytning av materialet, och slutprodukter som t.ex. koldioxid, vatten och nitrat. Stora komposter uppnår oftare högre temperaturer och mindre lukt (Haug, 1993).

pH – pH i komposten ändras med tiden p.g.a. mikroorganismernas metabolism. Deaminering av proteiner kan snabbt öka pH p.g.a. ammoniumproduktion medan produktion av organiska syror under nedbrytning av kolhydrater och fetter minskar pH (Epstein, 1997). Vid en god kompostering frigörs kväve och ammoniak, vilka bidrar till ökat pH. En kompostrest baserad på kväverika material kan bli sur p.g.a. latent nitrifiering. För att undvika att kompostresten får ett ur växtsynpunkt lågt pH kan kalkning ske innan kompostresten används som del i en anläggningjord.

Vattenhalt – Mikroorganismernas aktivitet påverkas av vattenhalten. Beroende på grad av aktivitet kommer temperaturen och hastigheten för komposteringen att påverkas. Därmed ändras också syrekonsumtionen beroende på kompostens vattenhalt. Det är viktigt med en balans mellan vatten- och lufttillgång. En kompost behöver vara fuktig för att hålla mikroorganismerna levande. Dels direkt genom att enzymerna som behövs vid metabolismen är mer effektiva när det är fuktigt dels indirekt på grund av att temperaturen hålls nere (Epstein, 1997; C. Sundberg, pers. medd., 2003). För hög temperatur hämmar organismerna och kan leda till uttorkning av materialet och därmed minskad aktivitet. Vid lagom vattenhalt, ca 45 % (Epstein, 1997), kan den mikrobiella aktiviteten bli väldigt hög, vilket resulterar i värmeutveckling med hög temperatur och en snabb nedbrytning som följd.

Avloppsslam och andra blöta material som har en vattenhalt på 70-80 %, kan orsaka stora problem vid kompostering. Vanliga följder av okontrollerbar vattenhalt kan vara minskade

komposteringstemperaturer och ineffektiv drift. Åtgärder för att motverka problemet är att blanda in upptorkande material t.ex. sågspån, halm, torv, trädgårdsavfall, gödsel och vermikulit. Alla metoder man använder sig av för att påverka tillståndet i komposten kallas "feed conditioning" och kan innefatta reglering av allt från ovan nämnda vattenhalt till typ av kolkälla, näringstillgång och mikroorganismer. En regel man kan använda sig av är att ju blötare det organiska materialet är desto större porvolym bör eftersträvas för att uppnå tillräcklig syresättning (Haug, 1993). Olika sätt att öka TS-halten för effektiv kompostering av blött material t.ex. slam, är att blanda in kompostrest, eller torrt tillsatsmaterial, torkning av rötslam till 40 % TS. Tillsatsmaterial förbättrar ofta energibalansen eftersom nytt organiskt material tillsätts processen.

Näringsämnen – Proportionen av grundämnena i komposten är av stor betydelse för nedbrytningshastigheten, särskilt proportionerna mellan kol, kväve, fosfor och svavel (Sylvia m.fl., 1999). Näringsämnena som finns i komposten bör också vara lättillgängliga, för att uppnå en effektiv kompostering (se Betydelse och benämning av material i komposter).

Olika kvävekällor har olika effekt på mikroorganismerna och därmed olika betydelse för i vilken form kvävet förekommer i komposten. En låg C/N-kvot (hög kvävehalt) som i avloppsslam (slammet i försökskomposter i denna rapport hade C/N-kvot 8,5) kan leda till kväveförluster via flyktigt ammonium till luften. Ökning av C/N-kvoten och minskning av kväveförluster kan åstadkommas genom tillsats av kvävefattiga material. Halm är ett sådant material med en C/N-kvot på 40 (Sylvia m.fl., 1999).

En initial C/N-kvot i komposten på runt 25-30 är önskvärd för en effektiv kompostering (Sylvia m.fl., 1999). Kväveupptaget i mikroorganismer är vid denna kvot som störst och nedbrytning av substraten går som fortast. Högre kvot än 40 ger kvävebrist för mikroorganismerna. Vilka då inte kan tillverka de nödvändiga molekyler som proteiner och enzymer som de behöver för att vara aktiva. Trots riklig tillgång till kol kan mikroorganismerna alltså inte tillgodogöra sig kolet om kvävehalten är för låg. En låg kvävehalt i komposten kan avhjälpas genom tillsats av proteinrikt tillsatsmaterial eftersom proteiner innehåller mycket kväve (Robertsson, 1994).

Tungmetaller – De tungmetallhalter som förekommer i komposten är ibland höga, men generellt inte så höga att mikroorganismaktiviteten hämmas (Sylvia m.fl., 1999).

Patogener – Salmonellakrav kommer att införas på avloppsslam år 2005 (A. Ekvall, pers. medd., 2003). Det finns ingen befintlig metod att analysera patogener som är tillförlitlig. Svårigheten är att detektera patogener, eftersom de kanske bara förekommer i en viss del av komposten. Finns de i ett prov kan man säga att de finns, men finns de inte i provet kanske det ändå förekommer patogener i komposten.

Växthusgaser

En negativ effekt av kompostering på miljön är att växthusgaser som ammoniak (NH_3), metan (CH_4) och dikväveoxid (N_2O) bildas. Dessa gaser släpps ut i luften och bidrar till växthuseffekten. Ammonium, NH_4^+ , bildas under syrefattiga förhållanden och rik kvävehalt i komposten. Ämnet är basiskt och avgår lätt till luften i form av ammoniak. Enligt Gunnarsdotter Beck-Friis (2001) avgår gaserna vid olika tillfällen under komposteringen. Kväveoxider avgår de första dagarna av komposteringen och under eftermognaden då även nitrat bildas och syretillgången inte är optimal. Ammoniak frigörs när proteiner bryts ned under den aktiva fasen. Metan kan bildas under den termofila fasen. Utsläppen av

växthusgaser kan vara ett problem vid kompostering men problemen kan begränsas med god syretillförsel och ett inte för högt pH. Bäst kontroll på gaserna får man om komposteringen sker i slutna reaktorer, där frånluften tas omhand och renas i biofilter.

Organiska miljögifter

PAH (polycyklisk organisk förening eller polyaromatiskt kolväte) förekommer i samhället och kan därmed även förväntas finnas i avloppsslam. PAH innehåller två eller fler aromatiska ringar, vissa PAH anses vara cancerogena. Sex stycken av dessa ämnen analyseras i slammet från reningsverk. Organiska miljögifters närvaro i komposter har hittills inte undersökts så frekvent. Det beror bl.a. på den höga analyskostnaden av dessa ämnen.

Förekomsten av toxiska organiska föreningar i kompost beror på råmaterialen (Epstein, 1997). Pesticider förekommer i park- och trädgårdsavfall. Avloppsslam innehåller organiska rester från industri, hushåll och kommersiell verksamhet. Ftalater finns i plast tillsammans med färger och andra organiska föreningar. De uppkommer även naturligt t.ex. vid skogsbränder.

Många toxiska organiska föreningar kan brytas ned av mikroorganismer under aeroba förhållanden. Ett laboratorieförsök visade att många toxiska organiska ämnen (t.ex. anilin och diklorobensen) helt bröts ned efter 30 dagar i kompost. Ämnena kan även bli flyktiga och försvinna upp i luften, eller genomgå fotolys i komposten, vilket i så fall också bidrar till minskningen (Epstein, 1997). Lösningemedel, pesticider och andra organiska kemikalier genomgår vanligtvis någon omvandling under kompostering men bryts kanske inte helt ned (Sylvia m.fl., 1999). Komposteringsmetoden har betydelse för nedbrytningen av organiska föreningar. För att uppnå minskade halter av organiska föreningar genom kompostering bör syretillgången vara stor. Stora delar av strängkomposter kan vara anaeroba och i botten av dessa blir syrehalten efter en vändning snabbt 0 % (Epstein, 1997). Vissa organiska ämnen kan brytas ned trots att det inte är någon riklig tillgång på syre, men då är det inte heller någon optimal kompostering.

Kompostrest

En produkt av bra kvalitet ställs det mängder av kriterier på. Partikelstorleksfördelning, textur, färg, lukt, vattenhalt, fytotoxiska komponenter (giftiga för växter) och allmänt intryck (Haug, 1993), näringsinnehåll, synliga föroreningar, tungmetaller, grobara växtdelar (SP Sveriges Provnings och forskningsinstitut, 2001) m.m. Produkten bör uppnå tillfredställande mognadsgrad och vara stabil. Mognadsfasen är den tid som behövs bland annat för att omsätta fytotoxiska substanser (Epstein, 1997). En mogen och stabil kompost som placeras i en termos kommer inte att värms upp mer än till ca 30°C. Om komposten däremot inte är stabil kommer materialet att själv uppvärmas till 65 eller 70°C på två till tre dagar (Sylvia m.fl., 1999).

Kvaliteten på kompostresten beror på det tillsatta materialets karaktär, vilken metod som tillämpas under den initiala fasen och mognadsfasen, de driftförhållanden som råder inom tillämpat system och om materialet för- och efterkomposteras (Haug, 1993).

Tabell 1. Nedbrytningsgrad av kompostmaterialet i relation till potentiell maxtemperatur (Epstein, 1997)

Uppnådd maxtemperatur	Nedbrytningsgrad
Över 70°C	Råmaterial, väldigt lite nedbrutet
60-70°C	Måttligt nedbrutet
45-60°C	Medel nedbrutet
30-45°C	Bra nedbrutet
Under 30°C	Nedbrytning helt eller nästan helt slutförd

Kompostresten kan med fördel brukas ned i åkermark eller blandas med mineraljord till en näringsrik jord för markanvändning t.ex. toppdressing vid markbyggnad, grönområden och golfbanor. Efter tillförsel av kompostrest till marken fortsätter mineraliseringen i det organiska materialet lång tid framöver. Ca 10 % av den tillsatta komposten mineraliseras under första året. Påföljande år mineraliseras 1-3 %, det är ungefär lika mycket som det organiska materialet i marken bryts ned per år. Kompostrest har också samma fördelar som annat organiskt material i jord, t.ex. att öka jordens aggregatbildning och stabilisering, lufttillförsel till marken, vatteninfiltration, vattenhållande förmåga, och katjonbyteskapacitet (Sylvia m.fl., 1999).

Stabilitet

Stabilitet är ett mått på den biologiska aktiviteten i komposten. I början av komposteringen när det finns mycket lättillgängligt kol är den mikrobiella aktiviteten hög. I detta läge är komposten väldigt reaktiv, det vill säga den undergår snabba förändringar. Efter att en temperaturtopp nåtts avtar den mikrobiella aktiviteten i takt med att nedbrytningen fortgår, och andelen lättnedbrytbara kolföreningar minskar. Komposten stabiliseras när nedbrytningshastigheten avtar. En kompost genomgår flera nedbrytningsfaser, förutsatt att den initiala kompostblandningen uppfyller förutsättningarna för kompostering (t.ex. C/N-kvot på 30). Vilken fas komposten befinner sig i kan undersökas med ett stabilitetstest (se Stabilitetstest). Olika grader av stabilitet visas i tabell 1. Stabiliteten kan ses som en funktion av den biologiska aktiviteten med tiden (figur 2). När det lättnedbrytbara kolet börjar ta slut och den biologiska aktiviteten minskar går de biologiska processerna långsammare och komposten svalnar. Komposten blir stabil först när den biologiska aktiviteten avtagit så mycket att det inte går att notera någon skillnad i aktivitet, det vill säga att ingen nämnvärd temperaturutveckling sker trots att komposten ges goda förhållanden med t.ex. fukt och syre. I en stabil kompost är den näring som finns i komposten växttillgänglig och det organiska materialet väl omsatt. Ju mer stabil komposten blir desto mindre syre konsumeras och mindre koldioxid bildas (figur 2).

Mognad

Mognad är det organisk/kemiska förhållande som råder och indikerar närvaro eller frånvaro av fytotoxiska organiska syror (Epstein, 1997). I inledningsskedet medan det fortfarande finns stor tillgång på enkla kolföreningar och näringsämnen i komposten pågår en hög mikrobiell aktivitet, vilken bidrar till uppkomst av fytotoxiska syror. De fytotoxiska syorna i en omogen kompost gör att växter skulle hämmas i komposten trots en stor tillgång på näringsämnen i detta skede. Mängden cellulosa är ett sätt att mäta mognadsgrad, eftersom cellulosa bryts ned under komposteringen. Några andra sätt att utvärdera mognadsgraden är att utvärdera de fytotoxiska substanserna samt grobara frön och växtdelar (Sylvia m.fl., 1999; A. Ekwall, pers. medd., 2003). Mognadsperioden bör vara minst 60 dagar, helst fyra till sex månader (F. Forcier, pers. medd., 1995).

Komposteringsmetoder

Målet med komposteringen kan vara flera. Kanske är råmaterialet ett speciellt organiskt material (en restprodukt) som ska omsättas eller så är det kvaliteten på produkten som är det huvudsakliga målet och då bör lämplig metod väljas utifrån det (Haug, 1993). Olika metoder för den initiala snabba nedbrytningen som tillämpas är t.ex. strängkompostering (windrow), luftad statisk sträng (static pile) eller reaktorprocesser. Dessa metoder beskrivs mer detaljerat nedan.

Metoder och tekniker kan bero på olika omständigheter, ekonomisk situation, geografiskt läge och klimat, traditioner, erfarenheter o.s.v. Haug (1993) anser att det är viktigt att komma ihåg att komposteringsmetoden utvecklas för att leverera en produkt av given kvalitet och att man därför ska bestämma produktens kvalitet innan man bestämmer metod.

Metoder som innefattar hel eller delvis inneslutning av komposten har den fördelen att det är lättare att kontrollera processen. Vatten- och syrehalt, temperatur och gasavgång är några exempel på vad man kan reglera.

Reaktorer

Det finns väldigt många utvecklade kompostreaktorer. Gemensamt för dem alla är en väl kontrollerad process. Råmaterial tillsätts i en ände och materialet omsätts sedan medan det forslas framåt, efter en tid (vanligen några dagar) levereras mer eller mindre färdig produkt ut från en annan del av reaktorn (Haug, 1993).

Vertikala reaktorer – Dessa har formen av antingen ett torn eller en silo. Materialet syresätts aningen genom omrörning av materialet på dess väg ned genom reaktorn, eller genom den luft det mixade bäddmaterialet utsätts för när det periodvis förflyttas framåt. Materialdjupet inne i reaktorn är vanligen 6-9 m. ”Transporterande packad kompostbädd” används i stor utsträckning för kompostering av avloppsslam med tillsatt sågspån och annat material. Ett skäl till att denna metod är populär är den relativt låga arbetskostnaden per volymenhet (Haug, 1993).

Horisontella och lutande reaktorer – Dessa system används till bl.a. kommunalt avfall, jordbruksavfall och avloppsslam. ”Roterande trummor” finns det minst tre olika typer av. I två typer forslas komposten framåt i trumman som antingen är öppen eller indelad i celler. Cellerna förhindrar tillbakagång av materialet. I dessa typer sker en periodvis tillsättning av råmaterial på ena sidan och uttag på andra sidan. I en annan modell med total mixning blandas nytt och äldre material i hela trumman. In- och utflöde sker kontinuerligt för att hålla volymen konstant. Materialet som tas ut är, teoretiskt sett, inte tillräckligt nedbrutet och hygieniserat. Vilket innebär att en fortsatt process måste ske för att ge en patogenfri produkt. Ett sätt att lindra problemet är att mata reaktorn periodvis och ta ut material innan nytt tillsätts. För ”Burkar med omrörning” skiftar storlek och form mycket. Både påtvingad luftning och mekanisk omrörning för luftning används. Behållarna är ofta öppna upptill och hålls inomhus, för bättre kontroll och för att undvika problem med vädret. Vanligen tillsätts nytt material en gång per dag och då i kanterna av reaktorn, lite i taget blandas sedan i den pågående processen. Materialet omsätts medan det förs i en riktning, mot uttagsplatsen. ”Reaktorer utan omrörning” har använts för kompostering av slam, gödsel och kommunalt avfall. Reaktorvolymen är mellan 10-500 m³. Det är viktigt att det är skilda celler. Reaktorn fylls på dagligen så mycket den första cellen rymmer och materialet trycks framåt av en flyttbar vägg som utgör cellväggen.

Statisk hög (Static pile)

Material som blandas en gång och därefter läggs upp i någon stor formation kallas static pile. Här försörjs komposten med syre genom påtvingad eller inducerad luftning. Påtvingad luftning är när omgivande luft tvingas genom materialet med positivt tryck. Inducerad luftning är när gaser dras från materialet under negativt tryck. Det här är en optimal icke reaktor metod, särskild använd vid kompostering av avloppsslam i USA (Haug, 1993).

Avloppsslam mixas sällan med recirkulat (se Betydelse och benämning av material i komposter) utan oftare med bulkmaterial som t.ex. träflis, (volymförhållanden 2:1 eller 3:1 (Haug, 1993)) vilket torkar upp och bidrar med stabilitet, struktur och luftfickor. Utförande av komposteringen sker enligt olika steg. Först mixas bulkmaterial och slam. Ca 30 cm bulkmaterial läggs över luftanordningen, på detta läggs mixen i en hög. Ytan täcks med recirkulat. Luftningen sätts igång. Efter ca 21 dagar tas täckningen av, materialet kan behöva torkas, innan bulkmaterialet sållas bort. Hastigheten på lufttillförsel är väldigt viktig. Ju mer luft som kan dras genom komposten desto optimalare komposteringstemperatur kan nås. En bra temperatur ökar nedbrytningshastigheten och värmeutvecklingen vilket i sin tur ökar avdunstningen som i sin tur förbättrar sållningsmöjligheterna och kontrollen över hela processen. I mitten av komposten kan det bli syrefritt vilket ökar tiden för omsättning av materialet (Sylvia m.fl., 1999). Luftad statisk hög kan vara fördelaktig vid inducerad luftning eftersom det minskar lukten från komposten och gaserna kan tas omhand och renas.

Strängkompostering (Windrow)

Detta är den vanligaste ickereaktor-metoden för kompostering. Material blandas och läggs i parallella rader. Materialet i raderna vänds regelbundet. Vändningarna gör att materialet blandas om, men främst inom en begränsad volym av strängen, i höjded och på bredden. Blandning i stor skala sker mekaniskt ofta med speciellt anpassad mobil utrustning, s.k. kompostvändare, vilka förekommer i varierande utformning. Både materialens beskaffenhet (partikelstorlek och konsistens) och vändningsutrustning påverkar strängens utformning och profilen kan ha formen av t.ex. höstack, triangel, rektangel eller trapetsoid. Önskvärd storlek på snittytan på trapetsoider är: 1,4 m hög, 0,7 m bred i toppen och 3,7 m i basen eller 1,7 m hög, 1,2 m i toppen och 4,9 m i basen och avstånden mellan strängarna 2,7-3,0 m. Den skattade volymen av kompost ligger då mellan 5000-5700 m³/hektar. I speciella fall med rektangulär snittyta och 60 cm mellan raderna blir volymen 20 000 m³/hektar.

Den huvudsakliga luftningen sker genom att bildade varma gaser i komposten avgår och tillåter luft strömma in, och till en mindre del av den luft som tillkommer vid vändningarna (Haug, 1993). Vändningarna av raderna utförs för att uppnå homogena blandningar, lufttillförsel och effektiv omsättning av komposten och oskadliggörande av patogener.

Exempel på komposteringsmetoder med avloppsslam

Los Angeles County Sanitation District (LACSD), startade med kompostering av avloppsslam på 70-talet. Erfarenheten visade att större strängar som lagts upp med stora kompostvändare fungerade bättre än småskalig verksamhet. Kraftigare maskiner arbetade effektivare vilket bl.a. bidrog till att komposten blev bra blandad. LACSD utvecklade en tvåstegsprocess. Steg ett var mindre strängkompostering och steg två var en sammanslagning av 2-3 mindre strängar till en stor. Två olika materialblandningar användes, (1) slamkaka (avvattnat rötslam) och sågspån (volymförhållande 1:1,2), och (2) slamkaka, recirkulat och sågspån (volymförhållande 1,0:0,8:0,4). Den sista blandningen användes under maj till september, denna blandning blev för ineffektiv under vintermånaderna. Den första blandningen nådde

inte heller alltid 55°C men användes året om. Vändningar utfördes 3-4 ggr/vecka. Efter 2-3 veckor hade de uppnått initial upptorkning, luftning och inledande pastörisering (upphettning till högre temperatur under kortare tid, t.ex. 70°C under en timme). När det stadiet uppnått för 2-3 närliggande strängar slogs de ihop och extra tillsatsmaterial kunde tillsättas beroende på tidigare temperaturutveckling. Det andra steget, med större strängar, gynnade temperaturutveckling, (som behövdes för termisk inaktivering av patogener), ytterligare dehydrering av komposten och jämn mixning av substratet. Sidorna på de större strängarna var mindre sluttande vilket hjälpte till att hålla regn och omgivande temperatur ute. Mindre temperaturförlust och högre temperatur under längre perioder var ett resultat av de större högarna. Kompostering och vändningar skedde tre till tio veckor i steg två beroende på tid-, vändnings- och temperaturbehov. De stora strängarna vändes också ca 3 ggr/vecka.

I Tuna Hästberg finns en komposteringsanläggning för avloppsslam. De tar emot ca 10000 ton avloppsslam per år. Produktionen har pågått sedan 1995. Slammet blandas med bark i volymförhållande 1:2. Strängarna är 10-15 m i basen och ca 5 m höga och vänds ungefär var tredje månad med lastmaskin. Efter ca tre år, när kompostresten bedöms vara färdig, blandar de in en del sand. Innan leverans tar man ut prover för analys på varje 2000 ton färdig produkt.

Avloppsslam

Avloppsslam är det huvudsakliga råmaterial i Gästrikre Avfallshanterings kompost, därför är det angeläget att reda ut vad slam innehåller och vilka fördelarna med kompostering är.

Avloppsslam är en restprodukt som finns i stora mängder över hela världen. Sverige har världens renaste avloppsslam (Naturvårdsverket, hemsida, 2003-04-14) dock finns det flera risker och problem med slammet. Främst är det mängden metaller, organiska gifter och patogener man vill minska innan användning på åkermark eller annan mark sker. De nya kemikalier som ständigt tillförs samhället kommer även att finnas i slammet. Ett exempel är de bromerade flamskyddsmedlen, som kan liknas vid PCB. Det var denna upptäckt som gjorde att LRF (1999) gav rådet att inte sprida slammet på åkrar (Karlsson, 2002).

En stor del av det avloppsslam som genereras, särskilt vid de stora reningsverken, rötas. Röttningsprocessen innebär att den snabba energin som finns i avloppsslammet t.ex. proteiner, kolhydrater och fetter, bryts ned i olika steg av olika bakterier (Ivarsson, 2001). Först upplöses dessa molekyler av hydrolytiska bakterier. Det vill säga molekylerna spjälkas till enklare föreningar så som socker, fettsyror och aminosyror. Därefter sönderdelas dessa produkter utav acidogena- syrabildande bakterier till ännu enklare molekyler som alkoholer, aldehyder, mjölksyra och ättiksyra. Under det sista steget bildas metan. Det är en långsam process som sker av de metanogena bakterierna. Det är absolut nödvändigt med anaeroba förhållanden vid rötning, eftersom bakterierna, särskilt metanogena, som utför processerna är obligat anaeroba. Vid rötning tillsätts därför vatten (TS-halt 5-30 %) för att avlägsna syret. Eftersom vatten är en av produkterna som kommer ut genom processen och det dessutom inte sker någon större vattenavgång kan torrsubstansen vara så låg som 2 % i slutet av rötningen (Ivarsson, 2001).

Det förekommer att avloppsslam endast avvattnas, så är fallet främst vid små reningsverk och för slam från trekammarbrunnar. Trekammarbrunnsslam genomgår oftast avvattning på reningsverket dit det transporterats. Avvattning innebär att slammet centrifugeras och ibland

Tabell 2. Gällande svenska riktlinjer för spridning av avloppsslam på åkermark

Metall	Naturvårdsverkets riktvärden år 2000 (g/ha*år)	Naturvårdsverkets gräns- och riktvärden för användning på åkermark 1998- (mg/kg TS)
Bly	25	100
Kadmium	0,75	2
Koppar	300	600
Krom	40	100
Kvicksilver	1,5	2,5
Nickel	25	50
Zink	600	800

ligger det i högar på reningsverket innan det körs iväg. Avvattnat slam har lägre TS och större andel patogener än rötat slam. C/N-kvoten är relativt hög och kolet är lättillgängligt.

Människor i allmänhet verkar ganska negativa i sin inställning till att använda avloppsslam i jord, dels för att det anses ohygieniskt och dels för att de är medvetna om metallförekomsten. Vid en undersökning av konsumenternas åsikter till att gödsla åkermark med slam (Hansson, 1997) var dock 44 % positiva till användningen, det visade sig också att frågan berörde de tillfrågade mycket. SKIS (Sveriges Konsumenter i Samverkan) är kritisk till spridning av avloppsslam på åkermark eftersom reningsverken har koncentrerat föroreningarna i slammet. SKIS anser då att det är illa att åter sprida ut föroreningarna (Sveriges Konsumenter i Samverkan, hemsida, 2003).

Tungmetaller

Flera studier visar på att det finns betydande mängder metaller i avloppsslam. Metaller försvinner inte men halterna i olika slamfraktioner varierar beroende på behandling. Råslam som rötas innebär en koncentring av metaller när lättillgängligt material bryts ned. Kompostering av rå- och rötslam resulterar i en utspädning av metallerna. Utspädningen beror på att dessa två fraktioner blandas med material med lägre metallhalt. En studie på avloppsslam i Washington visade att Zn-halten var högst (1760 mg/kg) i rötat slam och minskade när det komposterades (1000 mg/kg). Råslam innehöll 980 mg/kg och när det komposterats var halten 770 mg/kg. Kopparhalterna för samma slam och behandlingar var 725 mg/kg i rötat slam, när det komposterats var halten 250 mg/kg. Råslammet hade 425 mg/kg och när det komposterats var halten 300 mg/kg (Epstein, 1997).

Trots metallhalterna finns det fördelar med att återföra avloppsslam in i kretsloppet bl.a. att det innehåller mycket fosfor och mullbildande ämnen. Längre tillbaka på 80-talet var metallhalterna höga i avloppsslam. Under de senaste åren har man gjort betydande förbättringar i reningsprocessen av avloppsslam med t.ex. kemisk rening. Och vissa metaller minskar i avloppsslam eftersom användningen i samhället minskar, som för t.ex. kvicksilver i amalgam. Avloppsslam kan på frivillig basis certifieras av SP (A Ekvall, pers. medd., 2003). Naturvårdsverkets föreskrift, 1994:2, (Naturvårdsverket, hemsida, 2003-06-18) visar svenska riktvärden som finns för spridning av avloppsslam till åkermark (se tabell 2, metallhalterna är genomsnittsvärden för sju år och visas i gram per hektar och år). Naturvårdsverkets riktvärden för metallhalter i avloppsslam, i milligram per kilo torrsustans, visas också i tabell 2 (Naturvårdsverket, hemsida, 2003-04-14).

Patogener

Patogener (sjukdomsalstrande mikroorganismer) förekommer i avloppsslam. Bakterier är de enda mikroorganismer som kan tillväxa i slammet, andra förekommande patogener är virus, parasitära protozoer och maskar (Schönning, 2003). Bakteriesporer och parasitägg är särskilt motståndskraftiga mot höga temperaturer. Kompostering är ett relativt effektivt sätt att minska patogenpoolen. Det är framförallt termofila temperaturer under komposteringen som eliminerar patogener, men även variationen i pH och den konkurrerande mikrofloran påverkar (Haug, 1993). Det finns dock nästan alltid delar av komposter som inte uppnår de önskade temperaturerna. Återväxt av patogener kan ske om patogenerna inte helt avdödas under komposteringen. Återinfektion kan dock ske om hanteringen är bristfällig, t.ex. att samma eller ej rengjord utrustning används till komposten och den hygieniserade produkten (Schönning, 2003).

Exempel på kompostodling i Malmö

Vid en undersökning som gjorts av Malmö kommun har avloppsslam inarbetats i en försöksjord, så kallad kompostodling (Naturvårdsverket, 1996). Tanken var att kunna använda slammet direkt för tillverkning av anläggningsjord. Man jämför fyra försöksled mot ett nollprov. Försöksleden är 100 ton TS/ha*år och 200 ton TS/ha*år, båda dessa givor ges med respektive utan grödor. Analysresultaten visar på att jordens status inte påverkas särskilt mycket, trots slamgivor på 200 ton ts/år. Slammet TS varierade mellan 21,3 och 28,3 % vid spridningstillfällena. Det var avvattnat och förtjockat. Slammet som användes under första året (1991) var biologiskt- mekaniskt- renat, de följande åren (1992-1993) hade även kemisk rening med järnkloridfällning införts. Kvävereningen utfördes som efterdenitrifikation med olika externa kolkällor under åren. Metallinnehållet (Cu, Cd, Hg, Pb, Zn) i slammet minskade genom åren. Fe och Mn hade dock ökat mycket på grund av införandet av den kemiska reningen.

Normalvärden (1993) för svenska slam var; PAH 1-4 mg/kg TS, PCB 0,06-0,25 mg/kg TS, Nonylfenol 50-150 mg/kg TS, Toluén 1-10 mg/kg TS.

Årlig analys av tungmetaller, växtnäring och organiska miljöstörande ämnen utfördes på jorden. Skördeutfallet registrerades för växterna samt analyser av närsalter, tungmetaller och organiska miljöstörande ämnen (summa PCB (7 kongener), summa PAH (6 kongener), nonylfenol och toluén). Det har inte skett någon bortförsl av gröda ifrån fälten, således inte heller av näringsämnen eller t.ex. metaller.

Bärigheten efter tre års spridning, totalt 726 ton TS/ha på ytan med den högsta givan, försämrades. De organiska ämnena var lägre på de beväxta än de obeväxta ytorna men generellt ökade de inte, vilket förklaras med att den biologiska aktiviteten hjälper till att bryta ner ämnena. Varken tungmetaller eller miljöstörande organiska ämnen ökade i jämförelse med nollprovet i skiktet under matjorden, dock ökade kväve- och fosfor- förekomsten.

Den största påverkan skedde i de översta 30 cm, där slammet blandats in. Totalkvävehalten i jorden var högst vid den högsta slamgivan. Lätlösligt fosfor i jorden ökade mest på de obeväxta platserna. Cu ökade 35 gånger, Hg och Zn 5-6 gånger, Pb och Cd 2-3 gånger. Fukthalten ökade liksom organisk halt/mullhalt, dock påverkades inte pH nämnvärt.

Tabell 3. Näringsinnehåll i tre olika jordar. Jord 1 och 2 är lerrika jordar, jord 3 innehåller kompostrest av avloppsslam

Tillverkare	pH	P	K	Mg	Ca	NO ₃ -N
Lättlösligt/växtillgängligt (mg/kg lufttorr jord)						
Jord 1	7,1	34	65	157	12900	240
Jord 2	7,2	380	140	154	6360	100
Jord 3	6,6	1000	370	620		94

Kriterier avseende anläggningsjord

Det finns inte någon klar definition på vad en anläggningsjord ska uppfylla för kriterier. För att få en uppfattning om vad jordar som används inom anläggning innehåller för näringsämnen, kornstorleksfördelning och föroreningsnivåer så redovisas här några olika jordars beskaffenhet. Även företag som tillverkar jordar och olika organisationers rikt- och gränsvärden för jordar och kompostrester redovisas.

I Anläggnings AMA (1999), är kraven som nämns bland annat halten av olika mineralfraktioner och mullhalten som ska ingå i växtbädd för gräsytor respektive växtbädd för busk- och trädskikt. Den största skillnaden mellan kraven på växtbäddarna, med tanke på fraktionerna, var mullhalten. Växtbädd får inte innehålla fenol, olja, betong- eller asfaltrester, eller andra skadliga eller olämpliga ämnen för växter. Det ges t.ex. inte några maxvärden för metallhalter i jorden. Den enda begränsningen i ämnesförekomst är för svavelsulfid (20 mg/kg torr jord).

Kompostrest kan blandas med mineralfraktioner i olika proportioner för tillredning av en önskvärd jord. Riktvärden som kan användas för kompostrester finns i certifieringsreglerna, SPCR 120. Det är Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut som har tagit fram dessa certifieringsregler för kompost och rötrest (SPCR 120), dock gäller de inte för kompostrest baserad på avloppsslam. I reglerna finns krav på vilka näringsämnen som ska undersökas, gränser för tungmetallhalter, krav på mognad och stabilitet (en del av kraven visas i resultatdelen, Kompostrest). SPCR är på gång att utveckla en ny certifieringsmetod som ska gälla generellt för jordar, oavsett ursprungligt råmaterial.

Det finns inga uppställda kriterier för näringshalter i jordar (Hallberg, pers. medd., 2003). För att få en liten uppfattning om vilka växtnäringshalter som är lämpliga i en jord redovisas i tabell 3, uppmätta lättillgängliga (ammoniumacetat-laktat lösliga) näringsämnen från tre olika jordar. Jord 1 och 2 är lerrika jordar framtagna av en trädgårdsanläggare för ett speciellt ändamål. Jord 3 är tillverkad av avloppsslam och har en mullhalt på ca 14 % av TS.

Alla växter behöver ett liknande innehåll av näringsämnen i proportionen 100:7:65:8,5:13:9 mellan N:Ca:K:Mg:P:S (Ericsson, pers. medd., 2003). Brist eller överskott av något ämne medför problem och begränsningar för växten. Kväve (N) brist ger långsam tillväxt, liksom fosfor (P) och svavel (S) brist. Kalcium (Ca) brist ger symptom i skottspets. Magnesium (Mg) finns i klorofyll och behövs för fotosyntesen.

Organiskt material

Det växttillgängliga vattnet i en väl-dränerad jord med 5 % organiskt material är generellt högre än i en jord med 3 % organiskt material. Den positiva effekten beror både på den direkta vattentillgången och den indirekta positiva effekten organiskt material har på jordstruktur och porvolym (Brady & Weil, 1999).

Organiska miljögifter

Toxiska organiska föreningar som följer med kompostresten till jord genomgår ytterligare kemiska och biologiska reaktioner. Den allra viktigaste mekanismen för vad som händer med ämnena är sorption till jordpartiklar, och särskilt till det organiska materialet (Epstein, 1997). Många mikrober kan utvinna energi ur ämnena. Utlakning till grundvatten och upptag i växter är väldigt litet. Eftersom utlakning kan relateras till lösligheten av organiska material och ämnets sorption och desorption till kolloidala ytor, är strukturen på ämnet viktigt. Ämnena kan adsorberas till jordpartiklar, förflyktigas, utlakas till grundvatten, följa med vatten vid ytavrinning till ytvatten, brytas ned: mikrobiellt, kemiskt eller fotokemiskt, eller tas upp i växter, mikro- och makro-organismer.

Tungmetaller

Jordar som tillverkas av kompostrest baserat på avloppsslam bidrar med sitt metallinnehåll till marken. Dock är det så att när metallerna väl nått marken så läggs de fast där, inte ens utlakning eller växtupptag sker i någon större utsträckning (Eriksson, 2001). Organiskt material begränsar vissa metallers löslighet genom att komplexbinda dem (McBride, 1994). Ju högre pH desto starkare binds metallerna, dessa frigörs alltså lättare ju surare marken blir.

Metallhalt mellan uppvisat bristsymptom och fytotoxiskt tillstånd i växten, varierar kraftigt för vissa metaller. Vanliga koppar- och zinkhalter i växter visas nedan.

Kopparhalten i växter varierar vanligen mellan 2-25 mg/kg TS (Epstein, 1997). Plantor med lägre halt än 2-5 mg/kg kan ha kopparbrist. Toxiska symptom kan uppträda vid högre halter än 25-40 mg/kg TS.

Zinkhalter på mindre än 15-20 mg/kg (TS) tyder ofta på brist (Epstein, 1997). Är halterna över 400 mg/kg börjar däremot halten bli fytotoxisk. I väldigt sura jordar kan zink vara fytotoxiskt, (t.ex. i ett försök där pH sänktes till <5,5 övergick zinkhalten till att vara fytotoxisk för känsliga grödor).

MATERIAL OCH METODER

Tre försök har utförts: kompostförsök, kompostrest och växtförsök i anläggningsjord, dessa presenteras i nämnd ordning nedan. Vissa metoder har varit lika i ett par eller alla försök och beskrivs då i början av det försök där metoden förekommer första gången.

Kompostförsök (försök 1)

Försöket utfördes på Forsbacka Avfallsanläggning under tiden mars till maj 2003. För att avgöra om skillnader i komposteringseffektivitet beroende på råmaterialen, blandades fyra olika komposthögar till av minst tre av de fyra råmaterialen: avloppsslam, blandslam, flis och gödsel.

Material

Avloppsslam – rötat och avvattnat från reningsverk (se Bilaga A)

Blandslam – fibermassa från kartongbruk i Fors.

Park och trädgårdsavfall – främst från Gävle kommun.

Gödsel – främst från häststall, t.ex. Gävletravet, gödseln innehåller mycket sågspån.

Homogenisering av jordmaterial

Vid flera tillfällen i försöken, beskrivna i denna rapport, har olika material (kompostrest, tillsatsmaterial, jord m.m.) homogeniserats av olika anledningar, homogeniseringen har utförts på i stort sett samma sätt, denna metod beskrivs här. En plasticsopsäck klipptes upp längs ena sida och i botten så att den utgjorde en 160*120 cm plastduk, vilken spreds ut på marken. På denna östes provet. Materialet fördelades med en rengjord plasticskopa över ytan och stora klumpar hackades sönder. För att få en bra blandning lyftes ett hörn i taget och materialet fick rulla mot mitten. När det var gjort från de fyra hörnen låg materialet i en hög på mitten, då spreds materialet ut igen och klumpar hackades sönder. Proceduren utfördes minst tre gånger. Därefter frystes flera mindre prover (vardera ca en liter) in för att använda vid kommande analyser.

Stabilitetstest

Testet utfördes för försökskomposterna (försök 1) och för kompostresten (försök 2), vid Institutionen för Lantbruksteknik enligt instruktioner av Sundberg (personligt meddelande, 2003). Ett stabilitetstest visar vilken potential komposten har att komposteras, eller, hur långt komposten kommit i utvecklingen. En kompost som i början av komposteringstiden visar sig stabil i ett stabilitetstest, behöver inte ha genomgått någon egentlig kompostering. Det stabila tillståndet kan bero på att råmaterialblandningen från början hade en ogynnsam sammansättning för kompostering (t.ex. en låg C/N-kvot). Praktiskt är det den temperatur komposten har kapacitet att uppnå, under optimala förhållanden, som mäts i testet. I en komposttermos lades 400 g lagom fuktig kompost och en termometer stoppades i. Temperaturen loggades varje halvtimme. Komposten är lagom fuktig när den klarar kramtestet, vilket innebär att en liten näve kompost kramas hårt i handen utan att vatten pressas ut mellan fingrarna, (komposten ska inte heller smetas ut mellan fingrarna), när handen öppnas ska materialet falla isär efter ett lagom hårt tryck på kompostklumpen, det är för torrt om den rasar isär väldigt lätt. Mätningar pågick i ca sju dagar, när en temperaturtopp och en avsvalningsperiod kunde ses. Maxtemperaturen under försöket visar hur stabil komposten är. Tabell 1 visar olika nivåer av stabilitet i relation till maxtemperaturer.

Beredning och analys av prover

Provberedning, torkning och malning, liksom pH, glödförlust och torrsubstansbestämning utfördes enligt instruktioner på institutionen för markvetenskap, SLU. Alla laborationsanalyser som gjordes på de torkade och malda proverna utfördes av laboratoriet på avdelningen för växtnärlära vid institutionen för Markvetenskap, SLU (om inte annat anges).

Torrsubstansen bestämdes genom uppvärmning av jordarna i 105°C i ett dygn. Jordarna fick svalna i exikator ca en timme innan vägning. Därefter utfördes glödförlust i 520°C i fyra timmar. Tiden mättes sedan ugnen nått en temperatur av 200°C. Det antogs att all vikt som försvann under glödgningen var organiskt material.

pH-mätning utfördes på ett prov där 5 ml jordmaterial skakats med 25 ml destillerat vatten i fem minuter och sedan fått stå i tre timmar.

Provinsamling av råmaterial till försökskomposter

Insamlingsmetoden var lika för de fyra materialen, flis, gödsel, avloppsslam och blandslam. Innan tillredning av de fyra försökskomposterna, blandades varje material för sig (den totala mängden som var tänkt att användas i försöket) med lastmaskin. Detta utfördes för att minska

skillnaderna i varje materials egenskaper mellan de fyra försökskomposterna. Ca tio prover, sammanlagt ca 20 liter, från varje materialslag togs ut med spade från de blandade högarna. Materialet homogeniserades (se Homogenisering av jordmaterial). Spadtagen togs med så jämna mellanrum som möjligt runt om högen eftersom det vid tillfället inte fanns någon genomtänkt slumpningsmetod. Totalkol, totalkväve, lättillgänglig fosfor, ammonium-kväve ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) och nitrat-kväve ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) analyserades på materialen enligt utförande beskriven under rubriken ”Beredning och analys av prover”.

Utförande av försökskomposter

Fyra olika blandningar av råmaterialen avloppsslam, grönflis, gödsel och blandslam tillreddes på slamplattan i Forsbacka för att följa utvecklingen i komposteringsprocessen. Kompost 1, (K1), blandades som Gästrike Avfallshantering brukar, med volymförhållandet 1:1:1 av slam:gödsel:flis. Vid blandningen antogs det att de vanligen använda råmaterialen hade för lite lättillgängligt kol. För att undersöka om kolet i blandslammet var mer lättillgängligt än i flis och gödsel, så byttes volymandelen gödsel respektive flis ut i försökskomposterna 2 och 4 mot blandslam. Alla fyra material ingick i försökskompost 3 (K3). Blandningen utfördes med lastmaskin. Innan materialen blandades in i någon hög vägdes de, för att beräkna mängden av de enskilda materialen i varje kompost (K1-K4). Vikterna visas i avrundade procenttal av den totala vikten för varje hög i tabell 4. Omräknat till TS ändrades inte procenthalterna speciellt mycket av de olika materialen.

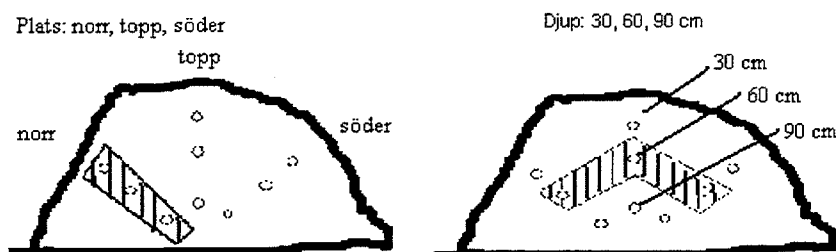
Vid sex tillfällen vändes komposterna, det var 8, 22, 32, 55, 63 och 71 dagar efter start. Komposternas utveckling studerades under totalt tolv veckor. Vändningar var tänkta att utföras en gång i veckan de första 6 - 8 veckorna och därefter varannan vecka. Men eftersom vädret var mycket kallt vid vissa tänkta vändningstillfällen, vändes komposterna mer sällan, för att inte hämma komposteringsprocessen med vinterkyla. Ett mått på hur långt komposteringsprocessen gått erhöles efter utförande av stabilitetstest (se Stabilitetstest) efter fyra veckor på de fyra försökskomposterna.

Tabell 4. Mängden av de ingående råmaterialen (i avrundade procenttal av total färskvikt) för de fyra försökskomposterna (K1-K4). K3 innehåller alla fyra råmaterial, K1 har Gästrike Avfallshanterings vanliga blandning, K2 var utan gödsel och K4 var utan flis

Försökskompost	Råmaterial, vikt % (av total färskvikt) av			
	Slam	Gödsel	Flis	Blandslam
K1	70	20	10	
K2	60		20	20
K3	60	15	5	20
K4	60	20		20



Figur 3. Försökskompost 2, temperaturspjutet stacks in i pilens riktning med start där pilen pekar. De vita punkterna indikerar ungefärliga djup där temperaturmätningar utfördes.



Figur 4. Skiss över försökskomposterna, i tvärsnitt. Ringarna visar mätpunkter och de streckade områdena indikerar områden för vilka temperaturmedelvärden beräknats.

Temperaturen mättes på nio punkter med ett en meter långt temperaturspjut. Tre punkter, (toppen på komposten, mitten på norra och mitten på södra sidan, (figur 3)) i varje hög utgjorde platser där temperaturspjutet stacks in och temperaturen mättes på 30, 60 och 90 cm djup. Från toppen stacks spjutet rakt ned men från sidorna stacks spjutet vinkelrätt mot ytan. Till en början mättes temperaturen varje dag för att undersöka om den initiala temperaturutvecklingen steg snabbt, som förväntat. Därefter utfördes temperaturmätningar i regel varannan dag.

Temperaturvariationen utvärderades genom att beräkna standardavvikelsen för ett område (figur 4) i komposten (plats eller djup), för varje dag. Vilket alltså visade hur många grader i varje punkt som avviker från medelvärdet av de tre punkterna i ett område per dag. Om det då var stor skillnad mellan punkterna inom en plats kan det tänkas bero på att 30 cm djupet påverkats mycket av vädret utifrån till följd av att högarna var små. Temperaturskillnaden förväntades vara mindre inom 60 och 90 cm djupen än på 30 cm djup, och därmed skulle medelvärden över temperaturen på dessa djup bättre visa effekten av råmaterialblandningarna.

Samma dag som vändningarna utförts togs ett samlingsprov om ca 25 liter ut från varje försökskompost. Samlingsproven slumpades ut med 25 metallbrickor som kastades bakom ryggen, fem stycken kastades från fem sidor av komposten. Då någon landade på backen togs

den upp och kastades igen. När alla brickor låg på ytan av den nyvända komposten samlades prov in med en ren 1-litersskopa från de platser där brickorna landat. De 25 litrarna homogeniserades (se Homogenisering av jordmaterial) och prov för analys av vardera komposten samlades in.

De analyser som utfördes på försökskomposterna under komposteringen var pH, TS, glödförlust och kol- kvävekvorter (se Beredning och analys av prover).

Kompostrest (försök 2)

En undersökning av metallhalt, näringsämnen, stabilitet och mognadsgrad av Gästrike Avfallshanterings kompostrest utfördes. Värdena jämfördes med andra kompostrester och SPCR 120 (certifieringsregler för kompostrest som inte innehåller avloppsslam).

Material

Gästrike Avfallshanterings kompostrest, från fyra olika plaster på avfallsanläggningen (märkta A-D).

Insamling av prover

Fyra provplatser valdes med tanke på spridning från varandra och lämplighet för provtagning. A och B valdes i hörn diagonalt ifrån varandra, för att vara så skilda från varandra som möjlig i rummet (se den vita streckade rutan i figur 1). Från den mindre högen togs också två samlingsprov (C och D) från vardera kortsidan. 20 liter kompostrest togs ut från varje provplats. Med hjälp av en lastmaskin med skopa kunde provet tas en bra bit in i högen. Kompostresten försökte tas jämnt från den öppna ytan. De 20 litrarna homogeniserades (se Homogenisering av jordmaterial) och prover togs ut dels för laborationsanalyser dels för ett groningsförsök. Till groningsförsöket togs det tio liter färsk kompostrest av varje prov, i hinkar.

Utförda analyser

Totalhalter av näringsämnena: Kväve, kol, ammonium-kväve ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrat-kväve ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), fosfor, kalcium, kalium, magnesium, och svavel analyserades (se Beredning och analys av prover) liksom pH, TS, glödförlust och totalhalter av tungmetallerna bly, kadmium, koppar, krom, nickel, och zink. Förekomsten av kvicksilver utfördes av laboratoriet Analytica i Luleå. TS utfördes på fryst prov och pH mättes på tinat prov.

Groningsförsök

Ett groningsförsök utfördes på de insamlade färsk kompostresterna, för att kolla mognadsgrad. En liter från varje provplats (hink A-D) vägdes och fördes till en emaljerad metallskål där det spreds ut. Tjockleken på kompostrestlagret var ca två centimeter. Över skålarna drogs en plastfolie. Fyra upprepningar gjordes på varje prov. Försöken vattnades med destillerat vatten. Den vattenmängd som avdunstat tillsattes ungefär var fjärde dag.

Efter 14 dagar såddes en analyskred av rajgräs i hälften av skålarna. Vattningen fortsatte som tidigare.

Växtförsök i anläggningsjordar (försök 3)

Två olika anläggningsjordar tillreddes av kompostrest från Forsbacka Avfallsanläggning och en mineraljord. I dessa två jordar, och två andra, odlades växter för att undersöka om växtsubstratens (anläggningsjordarnas) metallinnehåll påverkade metallupptaget i plantorna.

Material

Mursand (mineraljord med kornstorlek 0-4 mm)
Rödklöverfrön
Rajgräsfrön

Fyra olika jordar:

K4% - mursand med kompostrest, ca 4 viktprocent (TS) organiskt material
K8% - mursand med kompostrest, ca 8 viktprocent (TS) org. mtrl.
Torvjord – anläggningsjord med torv, ca 12 viktprocent (TS) org. mtrl.
Matjord – mursand med trädgårdskompostrest, ca 5 viktprocent (TS) org. mtrl.

Insamling och beskrivning av anläggningsjordarna i försöket

Torvjord - Det här var en anläggningsjord som fanns på marknaden. 20 liter av den hämtades på tillverkningsplatsen (vid en torvtäkt). Vid den här platsen fanns ingen lastmaskin att tillgå, och eftersom det var vinter vid insamlingstillfället användes spett och spade för att ta sig igenom tjälen i en jordhög. Detta gjorde att jorden togs i kanten av högen och från endast ett ställe. Provet samlades in med spade. Den organiska fraktionen bestod av torv och utgjorde 12 % av TS (torrsubstansen).

Matjord - Matjorden fanns färdigblandad på institutionen. Den bestod av mursand och en kompostrest av park- och trädgårdsavfall. Matjorden var så gott som lufttorr där den stod, och den organiska halten var 5 %.

K4% och K8% - anläggningsjordarna kallas så för att de skulle innehålla, kompostrest (K) med fyra respektive åtta viktprocent (4% resp. 8%) organiskt material (TS). De tillreddes av Gästrike Avfallshanterings kompostrest (se Tillredning av anläggningsjordarna K4% och K8%). 20 liter kompostrest hämtades på Forsbacka Avfallsanläggning från en plats (en bra bit in den stora högen, figur 1). Kompostresten togs med spade från flera ställen på den öppna ytan och lades i två hinkar med lock. Temperaturen var knappt 20°C. Genom att blanda kompostrest och mursand i stort sett enligt krav på växtbädd (tabell DCL/1) i Anläggnings AMA (1999) erhöles anläggningsjordarna, K4% och K8%.

Den insamlade jorden (Torvjorden, Matjorden och kompostrest) blandades noga var för sig (se Homogenisering av jordmaterial). Kompostresten innehöll ganska många grövre delar både, stenar och kvistar. Några plockades ur för att de inte skulle inverka på försöket. Jordarna fördes därefter tillbaka till ursprungshinkarna. Mängden kompostrest som blandades med mursanden, grundade sig på den homogeniserade kompostresten. Därför försökte den uppmätta vattenhalten i kompostresten hållas konstant (drygt ett dygn) tills beräkningar för tillredning av anläggningsjordarna, K4% och K8%, var färdig.

Tillredning av anläggningsjordarna K4% och K8%

Kompostjordarna K4% och K8% tillreddes enligt Anläggnings AMA:s två krav på växtbäddar, "växtbädd för gräsytor", respektive "växtbädd för busk- och trädskikt" (Anläggnings AMA, tabell DCL/1). Mineralfraktionerna och mullhalten som nämns för de två

Tabell 5. Andelen (viktprocent) mull- och mineralfraktioner som anges för växtbäddar i Anläggnings AMA (1999) och mineralfraktionerna i mursanden som använts i försöket

Jord-/ mineral- blandning	Viktprocent						
	Mull	Ler	Mjåla	Mo	Sand	Grus	Block
Mark AMA, gräsytor	3 – 5	2 – 12	0 – 12	0 – 15	30 - 70	0-15	-
Mark AMA, busk o trädskikt	5 – 8	5 – 15	0 – 12	0 – 12	10 - 70	0 – 20	0-15
Mursand		2,39	1,26	25,89	64,51	5,94	-

typerna visas i (tabell 5), liksom mineralfraktionerna för mursanden, vilken användes i försöket. Mineralfraktionerna i båda typerna av växtbädd var ganska lika, och mursanden överensstämde relativt bra med dessa. Däremot fanns en tydlig skillnad i mullhalten mellan de två växtbäddskraven (3-5 % mot 5-8 %). Till försöket önskades anläggningsjordar enligt de två typerna, därför valdes mullhalterna fyra och åtta procent, där båda jordarna baserades på mursanden.

För tillredning av anläggningsjordarna, K4% och K8%, undersöktes mängden organiskt material i kompostresten, samt vattenhalt och densitet för kompostresten och mursanden. Densiteten på kompostresten respektive mursanden uppskattades genom att väga 50 ml av båda materialen. Vattenhalten och det organiska innehållet bestämdes (se Beredning och analys av prover). Mängden organiskt material (TS) antogs motsvara mullhalten i den slutgiltiga anläggningsjorden.

Mursanden antogs inte innehålla något organiskt material och ha en TS nära 100 %. För att få åtta viktprocent organiskt material blandades 11,0 kg mursand med 6,1 kg kompostrest. För att få fyra viktprocent organiskt material blandades 11 kg mursand med 2,8 kg kompostrest. En försiktig blandning av mursand och kompostrest för att undvika damning, skedde på plastdukar. Även en blomspruta med destillerat vatten användes för att duscha över den torra sanden. Materialet blandades väl (se Homogenisering av jordmaterial). K4%, är alltså en anläggningsjord enligt Anläggnings AMA (1999), där fyra viktprocent av TS (torrsubstansen) i jorden är organiskt material. Trots noggranna beräkningar blev halten av organiskt material i anläggningsjorden som benämns K8%, nio viktprocent.

Utförande av växthusförsök

De fyra jordarna blandas noga (se Homogenisering av jordmaterial) med destillerat vatten tills de fick en vattenhalt som kändes lagom att så i. Ingen extra näringstillsats skedde. De fyra anläggningsjordarna fylldes i vardera sex krukor, i botten lades en tygbit för att jordpartiklarna skulle hållas kvar i krukorna, sedan ställdes de på fat. Krukorna vägdes innan och efter att jord lagts i dem. Jord för analys togs ut mitt under pågående beredning av krukorna. Krukorna numrerades från 1 till 24. Dessa placerades sedan på brickor så spritt som möjligt, för att undvika variation på grund av behandlingen. Brickorna ställdes på en bänk i växthus där krukor med samma jord, placerades på olika brickor. Krukorna med en och samma jord fick olika placering på brickorna, (se Bilaga B). Brickorna cirkuleras varje vecka för att minska skillnaderna i behandlingen mellan plantorna. Faten fylldes med destillerat vatten och de tillredda krukorna stod på plats i växthus ca 36 timmar innan sådd. Växtförsöket pågick i nio veckor. Fotografering skedde efter första gallringen och innan skörd.

Plantering - Två analyskedor rajgräs och knappt en analysked rödklöver såddes i fem av de sex krukorna av varje anläggningsjord. De udda fyra krukorna ställdes på samma bänk men på en låda, bredvid brickorna med krukorna för växtförsöket. Dessa krukor används för att kolla grobara frön och växtdelar i de fyra anläggningsjordarna (ogräsförsök). De behandlas lika som de andra krukorna. Efter sådd täcktes varje yta med lite jord och plastpåsar trädde över krukorna, detta för att göra det gynnsamt för fröna. Ingen extra jordtillsats skedde till ogräsförsöket.

Växterna i försöket vattnades vid behov med destillerat vatten. I början medan växterna var mycket små vattnades de på faten, senare vattnades de uppifrån. Alla krukor fick lika mycket vatten varje gång, utom de sista veckorna då de större växterna fick en större dos för att inte torka.

Väldigt många frön grodde och omfattande gallring utfördes under försöket. Första gallringen skedde efter en vecka (främst klöver togs bort). Den andra gallringen utfördes tre dagar senare (främst gräs togs bort). Efter 20 växt dagar begränsades antalet till 12 plantor rajgräs och 7 plantor rödklöver i varje kruka. Därefter gallrades krukorna en gång i veckan för att hålla samma antal plantor i alla krukor. Fördelningen mellan plantor och mellan arter i krukorna försökte hållas jämn. Efter 28 växt dagar gallrades det till 10 plantor rajgräs och 5 plantor rödklöver, dessa plantor fick växa fram till skörd.

Efter nio veckor skördades plantorna. Alla krukor behandlades lika. Rajgräset från krukorna lades i en tygpåse och rödklövern i en annan. Dessa påsar lades i torkugn och fick torka i ca 45°C i fyra dagar. För varje kruka noterades torrvikten av de båda arternas plantor.

Växtproverna maldes i en växtkvarn och lades i plastburkar. Från varje prov togs ca ett gram (där det fanns mer än ett gram) och användes för uppslutning av tungmetaller, i HNO₃ enligt instruktioner från avdelningen för markkemi, Institutionen för Markvetenskap, SLU. Extraktet lämnades för analys.

Analys av anläggningsjordar

Totalhalter av kol och kväve samt näringsämnen fosfor, kalcium, kalium, magnesium, och svavel analyserades (se Beredning och analys av prover) liksom pH, TS, glödförlust och totalhalter av tungmetallerna bly, kadmium, koppar, krom, nickel, och zink.

Analys av växter

Totalhalten av tungmetallerna bly, kadmium, koppar, krom, nickel, och zink i plantorna analyserades av Markvetenskapliga Institutionen, SLU, avdelningen för markkemi. Halterna anges i mg/kg av lufttork (lt) biomassa, vilken kan liknas vid mg/kg TS. Analyserna utfördes för rajgräs och rödklöver för sig. Växter från fyra av de fem krukorna (för varje anläggningsjord) analyserades. En anledning till att analysera fyra av fem möjliga prov var den höga analyskostnaden. En annan anledning var att växtvikten för plantorna i flera krukor i försöket var för liten för att göra någon analys på. I K4% var det låga rödklövervikter (<1 g) i tre krukor. Detta gjorde att rödklövern från krukorna nummer 1 och 2 slogs ihop för analys, rajgräset i dessa två krukor analyserades var för sig. Kruka 4 togs bort helt (varken rödklöver eller rajgräs analyserades). Det blev då totalt tre analyser för rödklöver och fyra för rajgräs, för K4%-jorden (från krukor nr. 1, 2, 3 och 5). För K8% slumpades nummer 11 bort. För Torvjorden var rajgräsvikten låg i nummer 15 och därför togs även rödklövern bort för detta nummer. För Matjorden slumpades nummer 20 bort.

RESULTAT

Resultaten från de tre försöken presenteras i ordningen kompostförsök, kompostrest och växthusförsök i anläggningsjord. En del förklaringar till varför vissa utföranden gjorts och diskussion till resultaten visas här i resultatdelen, medan de huvudsakliga slutsatserna från försöken presenteras i diskussionsavsnittet. Detaljerade analysresultat finns i bilagor, hänvisade till i texten nedan.

Kompostförsök

Kol- kvävekvoter, pH och stabilitet

Kol- kvävekvoter (C/N-kvoter) för materialslagen flis, blandslam, avloppsslam (slam) och gödsel varierade kraftigt. Slammet hade den lägsta kvoten (9), medan gödseln hade den högsta (75). Anledningen till att gödsel låg så högt var nog att den till största delen bestod av spån. Utifrån dessa värden beräknades C/N-kvoterna i startskedet för försökskomposterna, K1-K4, (tabell 6). C/N-kvoterna för försökskomposterna låg mellan 14 och 18, och var alltså redan i inledningsskedet riktigt låga. Analysresultaten av C/N-kvoter visar inte någon tydlig trend nedåt i C/N-kvoten från ett mätillfälle till nästa. Det skulle dock ha förväntats om ingångsvärdena för C/N-kvoterna legat närmare 30.

Alla försökskomposter hade hög andel slam (tabell 4) vilket resulterade i rätt höga vattenhalter i komposterna, det vill säga låg torrsubstanshalt (TS), i inledningsskedet (se tabell 6), p.g.a. att slammets TS var låg (22 %). Gödsel var det materialslag som hade högst

Tabell 6. Kol- kvävekvoter och TS-halter för de enskilda råmaterialen (slam, gödsel, flis och blandslam) samt för försökskomposterna, K1-K4, vid start

Material/ kompost	TS (%)	C/N	Org. mtrl.	Org. mtrl.
			(% av TS) Uppmätt	(% av TS) Beräknat
Slam	22	9	53	
Gödsel	37	75	59	
Flis	31	30	71	
Blandslam	30	32	92	
K1	23	16	65	64
K2	24	14	59	59
K3	24	18	63	66
K4	25	17	69	67

Tabell 7. Förändringar i pH för försökskomposterna (K1-K4) över tiden

Kompost	pH			
	14 mars	25 mars	16 april	15 maj
K1	-	8,0	7,8	7,0
K2	-	8,0	7,8	7,1
K3	7,8	7,6	7,4	6,9
K4	-	7,7	7,3	7,0

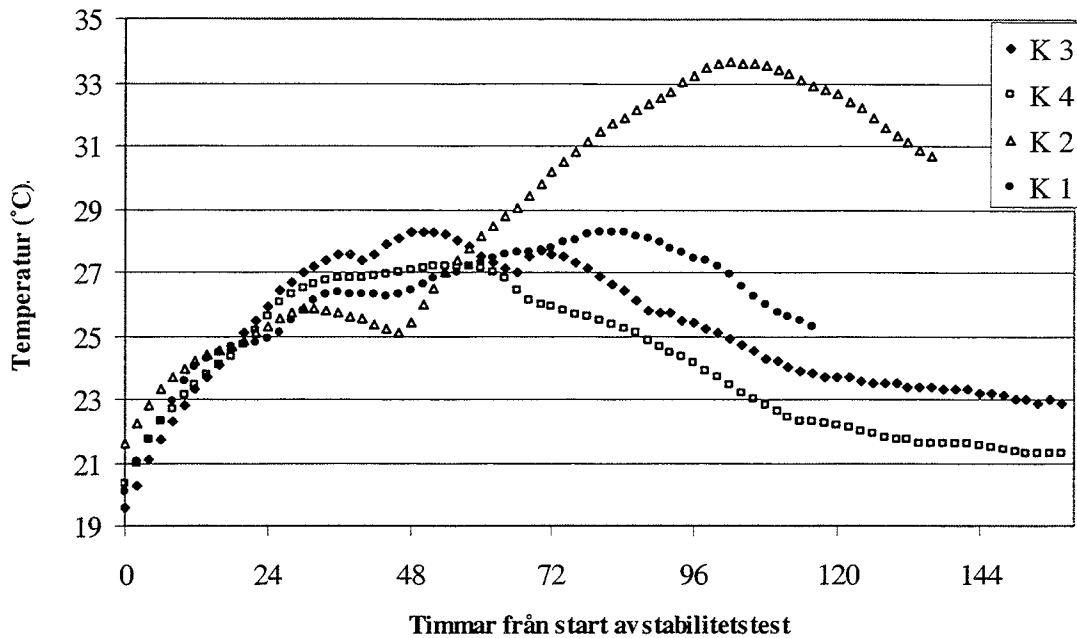
TS (37 %). TS-halterna i komposterna ökade med några procent, i takt med komposteringen som förväntat, (dock finns ett avvikande analysvärde, Bilaga C, tabell 15).

Den organiska halten i försökskomposterna var mycket högre när de var nyblandade än när försöket avslutades. Omsättning av materialet sker alltså med komposteringen. Minskningen (ca 10 till 20 % av TS) skedde snabbt i början av komposteringen. Halterna av organiskt material i K1-K4 (både beräknade och uppmätta värden) låg mellan 59 och 69 % vid start (tabell 6), (jmf. Org. mtrl. Bilaga C, tabell 15). Beräkningarna skedde utifrån uppmätta värden av organiskt material i slam, gödsel, blandslam och flis. pH i komposterna minskade något över tiden (tabell 7).

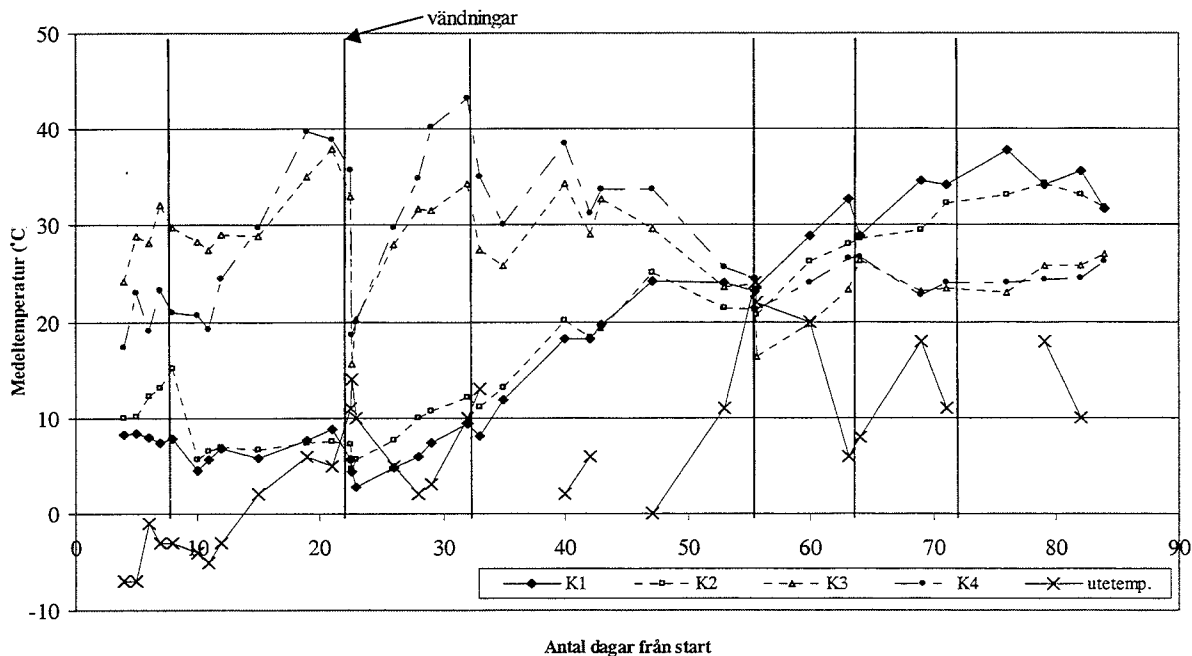
Temperaturutvecklingen i stabilitetstestet som utfördes på försökskomposterna efter fyra veckor visas i figur 5. Ingen av komposterna uppnådde, i testet, en temperatur över 34 °C, och var alltså stabila efter fyra veckor (jmf tabell 1). Alla fyra komposterna var för blöta direkt efter insamlingen enligt kramtestet, så de fick ligga i rumstemperatur och torka några timmar innan K3 och K4 placerades i termosarna. Komposterna K2 och K1 var fortfarande för blöta och fick därför ligga öppet och torka ytterligare ett respektive två dygn innan de lades i termosar för temperaturmätning (det är förklaringen till varför dessa grafer i figur 5 är kortare, mätningarna avslutades samtidigt). K2 hade den lägsta vattenhalten (TS 30 %) vid starttillfället i testet, konsistensen vid kramtestet var också bäst av de fyra. Detta kanske kan förklara varför det var den kompost där temperaturen steg mest. (De andra TS-halterna vid stabilitetstestets början var för K1 28 %, K3 26 % och K4 27 %.)

Temperatur

Temperaturen i de nio punkterna i varje hög, varierade mycket. Detta berodde på skillnaden mellan platsernas lägen (topp, söder och norr) samt skillnaderna mellan djupen: 30, 60 och 90 cm (figur 4). Högarnas stora ytor i förhållande till dess små volymer bidrog mycket till temperaturskillnaderna eftersom värmen i komposten påverkades av utetemperaturen. Temperaturmedelvärdet från de nio punkterna i varje hög ansågs ändå vara relativt representativa, för de enskilda blandningarna, eftersom vädrets inverkan på komposterna var densamma. Skillnaderna i medeltemperatur mellan de olika försökskomposterna kan ses i figur 6. Blandningarna K3 och K4 hade en betydligt effektivare temperaturutveckling med högre temperaturer än försökskomposterna K1 och K2.



Figur 5. Temperaturutveckling av försökskomposter i komposttermosar.



Figur 6. Temperaturutveckling i försökskomposterna (K1-K4) över komposteringstiden. Varje punkt är ett medelvärde, av de nio punkterna i en försökskompost, per dag.

Platsernas temperaturer varierade genom att söderpunkter oftast var varmare än norrpunkter. Förväntan på temperaturskillnaden mellan de tre punkterna på 60 cm djup, i en hög, var att de

skulle visa ganska lika gradtal. Dock var variationen störst på 60 cm djup, särskilt tydligt var det för K3 och K4. Temperaturvariationen för K1 och K2 var liten både inom platserna och inom djupen, och de uppmätta temperaturerna var låga jämfört med K3 och K4. Temperaturen på 30 cm djup berodde mycket på väder och lufttemperatur. Temperaturen mättes oftast mitt på dagen eller på eftermiddagen och då hade södra sidan värmts upp av solen och var varmare än den andra sidan. Under en period när det var riktigt kallt var det däremot tjäle en bit in på södra sidan av komposterna.

Innan högarna vänts några gånger och materialen fortfarande var blöta, låg råmaterialen i sjok (av t.ex. bara rötslam) där det inte pågick någon aktiv kompostering, i en sådan punkt var det troligen lägre temperatur än i en punkt med bra materialblandning och en aktiv mikrobiell process. K4 var den kompost som nådde högsta temperaturen (54°C), K4 var också den hög som hade störst temperaturvariation både inom platserna och inom djupen. De fem första veckorna var K3 och K4 betydligt varmare än K1 och K2 (figur 6).

Blandslammet hade en temperatur på över 30°C vid blandningstillfället och bidrog förmodligen till att komposterna där blandslammet ingick kom igång bättre. Därmed kunde dessa komposter bättre stå emot den omgivande kylan. Närmast markytan under K1 och K2 upptäcktes ett tunt lager packad snö, vid andra vändningstillfället. Förmodligen var det så att när K1 och K2 vändes första gången lades de på detta snölager, vilket kan ha påverkat temperaturutvecklingen.

Kompostrest

Näringsämnen, tungmetaller och stabilitet

Spridningen i halter av näringsämnen och tungmetaller mellan de fyra platserna var ganska stor (Bilaga D, tabellerna 17 och 18). $\text{NH}_4^+\text{-N}$ och $\text{NO}_3^-\text{-N}$ hade störst spridning mellan platserna. En orsak till detta är att näringsämneshalter generellt varierar mellan platser och tidpunkter beroende på de processer som ständigt sker i organiskt material. Den omgivande miljön, t.ex. om det är aerobt eller anaerobt, påverkar förekomsten av näringsämneshalter.

I jämförelse mot andra kompostrest tillverkade i Sverige, "Komp. 1" (matavfall) och "Komp. 2" (avloppsslam), var Gästrike Avfallshanterings kompostrest likvärdiga ifråga om närings- och metallinnehåll (tabellerna 8 och 9). Koppars (Cu) och zink (Zn) är tungmetaller som har höga värden i kompostresterna, oavsett om de baserats på avloppsslam eller matavfall. Gästrike Avfallshanterings kompostrest klarade certifieringsreglerna (SPCR 120) för tungmetaller under åren 2002 och 2003. I jämförelse med de krav som gäller efter 2003 var zinkhalterna däremot för höga, vilket också var fallet för "Komp. 1" och "Komp. 2 2001". Även kopparhalterna var för de flesta kontrollerade kompostresterna högre än de tillåtna efter 2003.

Stabilitetstestet visade att kompostresten (A-D) var stabil, materialet var "nästan helt nedbrutet". Ingen av platserna A-D nådde en temperatur över 23°C i termosarna. D och B lades in i termos samma dag som de samlades in. A och C var för blöta och lades in i termosar dagen efter. D innehöll mycket mer mineralpartiklar än de andra tre platserna. Troligen gjorde den det därför att kompostresten hade blandats med mineralpartiklar i samband med att kompostresten (C-D) lades upp på en mineralbädd.

Tabell 8. Tillåtna maxvärden i SPCR 120 (certifieringsregler för kompostrest utan avloppsslam) för metaller i kompostrest jämfört med metallinnehåll i kompostrester från, Gästrikre Avfallshantering (GAAB, år 2002 och 2003), Komp. 1 (tillverkad av matavfall) och Komp. 2 (tillverkad av avloppsslam). De grå fälten visar värden som överskridit certifieringsreglerna

Metaller (mg/kg TS)	max halt (SPCR 120)	GAAB 2002	GAAB 2003	Komp. 1 1995	Komp. 2 2001	Komp. 2 2002
Cd	1	0,70	0,55	1,3	0,87	0,51
Cr	100	12	20	19	108	19,7
Cu	*100	31	209	240	187	108
Hg	1	0,25	0,44	0,67	0,4	0,34
Ni	50	8,9	15	15	22	11,5
Pb	100	41	31	37	41	29,7
Zn	*300	320	342	420	522	216

* t.o.m. 2003 är tillåten Cu-halt 600 mg/kg TS och Zn 800 mg/kg TS

Tabell 9. Näringsinnehåll i kompostresterna: Komp. 1 (av matavfall), Komp. 2 (av avloppsslam) och Gästrikre Avfallshantering (GAAB)

Näringsämnen	GAAB 2002	GAAB 2003	Komp. 1 1995	Komp. 2 2001	Komp. 2 2002
Ca Tot. halt (% av TS)		1,46	2,2	2,15	1,24
K Tot. halt (% av TS)		0,35	0,43	0,37	0,27
Mg Tot. halt (% av TS)	0,23	0,34	0,45	0,37	0,24
P Tot. halt (% av TS)	1,1	1,05	1,6	1,29	0,84
S Tot. halt (% av TS)		0,37		0,50	0,33
NH ₄ -N (% av TS)		0,25	0,12	0,06	0,09
NO ₃ -N (% av TS)		0,037	0,062	0,018	0,032
N Tot. halt (% av TS)	0,89	1,11	1,5		
C Tot. halt (% av TS)		18	24	20	12
C/N		17	16	12	11

Groningsförsök

Inte ett frö grodde i något av de 16 provkärlen. Det var alltså <2 grobara frön eller växtdelar per liter kompostrest, vilket var kraven för SPCR 120. pH för platserna A-D, var 8,4; 6,3; 8,6 respektive 7,2. Efter 14 dagar såddes en analysked rajgräs i 8 av de 16 kärlen för att se om frön kunde gro i samma kompostrest och under samma förutsättningar. Rajgräset grodde och växte i de åtta kärl som de såtts i. Ca 80 frön grodde i A och D:s båda skålar, för C grodde ca 50 i en och 80 i den andra skålen. För B grodde endast 40 respektive 50 stycken frön i skålarna, denna kompostrest hade både högst vattenhalt och lägst pH.

Växtförsök i anläggningsjordar

Signifikanstest har utförts för tillväxt och metallinnehåll i växter. Signifikans kan liknas med sannolikheten att det faktiskt finns ett samband mellan de undersökta parametrarna. Sambandet anses troligare ju lägre p-värdet är som kommer ut av testen. Om p-värdet är större än 0,05 är osäkerheten alltför stor för att sluta sig till det undersökta sambandet.

Analys av anläggningsjordar

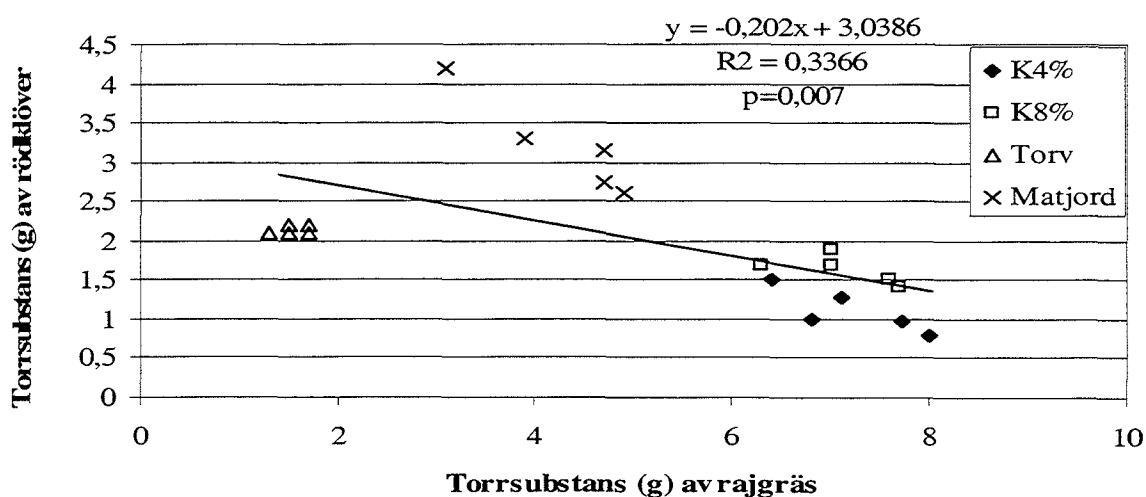
Det var stor skillnad mellan de fyra jordarnas innehåll av tungmetaller (tabell 10). pH, TS, organisk halt samt växtnäringssämnen för jordarna visas i Bilaga E.

Tillväxt och skörd

Tillväxten i krukorna mellan jordarna skilde sig mycket. Inom en jord var dock tillväxten för de båda arterna väldigt lika (figur 7). Grödornas sammanlagda vikt (TS) var högst i krukorna med Gästrike Avfallshanterings kompostrest, K4% och K8%. I dessa var vikten på rajgräset betydligt högre än för rödklövern. I Matjorden var den totala skördevikten nästan lika stor, men vikterna för rödklöver och rajgräs i denna jord var ganska lika varandra. Torvjorden hade lägst totala skördevikt, rödklövervikten var något högre än rajgräsets. Kanske den höga halten av organiskt innehåll (12 % av TS) i Torvjorden hjälpte till att hålla det vatten som tillsattes och därmed blev vattenhalten i den jorden väldigt hög. En kruka som innehöll mycket rajgräs hade lite rödklöver och tvärs om, ($p=0,007$). I K4% och K8% där pH var 7,6-7,8 växte rajgräset bra, men klövern dåligt, klövern växte bäst i Matjorden med pH 8,4.

Tabell 10. Tungmetallinnehåll i anläggningsjordarna i växtförsöket

Anläggningsjord	Tungmetallinnehåll (mg/kg lufttorr jord)					
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
K4%	0,04	13,6	25,5	9,3	12	63
K8%	0,09	17,2	43,3	11	18	101
Matjord	0,1	12,2	16,2	8,9	11	57
Torvjord	0,4	22,2	28,4	13,8	32	147



Figur 7. Sambandet mellan rajgräsvikten (g TS) och rödklövervikten. Varje punkt visar vikterna av rajgräs och rödklöver i en kruka. Växtvikterna i Torvjorden (Torv) indikeras med trianglar, i Matjorden med kryss, i K8% med kvadrater och i K4% med romber.

Metallinnehåll i gröda

Beräknat med envägsanova upptäcktes signifikanta samband mellan metallinnehåll i gröda och jordtyp, för metallerna koppar och zink (tabell 11).

Kopparhalterna i rajgräset låg mellan 4,2-11,33 mg/kg oavsett växtsubstrat. Rajgräset som växt i K8% hade de högsta kopparhalterna jämfört med rajgräs som växt i de andra jordarna ($p < 0,05$). Därefter kom K4%, Torvjord och Matjord med allt lägre kopparhalt. Kopparupptaget stämde ganska bra överens med växtsubstratens kopparinnehåll (tabell 10).

Kopparhalterna i rödklövern som växt i Matjord var mycket mindre än för de som växt i de andra jordarna ($p < 0,001$). Kopparhalten i Matjorden var också lägst. Halterna i rödklövern varierade mellan 5,6-11,7 mg/kg.

Zinkhalterna i rajgräset låg mellan 20,7-49,3 mg/kg. Rajgräset som växt i K8% och Torvjord hade de högsta zinkhalterna ($p = 0,05$). Zinkhalterna i dessa jordar (tabell 10) var också betydligt högre än för K4% och Matjord, vilket verkar ha betydelse för zinkupptaget i rajgräs.

Zinkhalterna i rödklöver varierade mellan 31,3-72,6 mg/kg. Upptaget i rödklöver som växt i jordarna K4% och K8% var högre än för de som växt i Torvjord och Matjord ($p < 0,05$).

Enligt regressionsanalys mellan grödans vikt och metallinnehåll upptäcktes även här signifikanta samband. Exempelvis verkade kopparhalten i rödklöver minska ju större biomassan var (figur 8). Men för rajgräset ökade kopparhalten med växtvikten. Zinkkoncentrationen minskade med vikten på grödan, särskilt tydligt var det för rödklöver (Bilaga F, figur 10 och 11). Punkterna i diagrammen förtydligades genom att markera vilka metallkoncentrationer som var kopplade till respektive substrat. Metallhalterna i växterna visade sig då vara ungefär lika om de växt i samma substrat. Troligen berodde metallkoncentrationen mest på vilket substrat grödan växt i, men även på växtvikten.

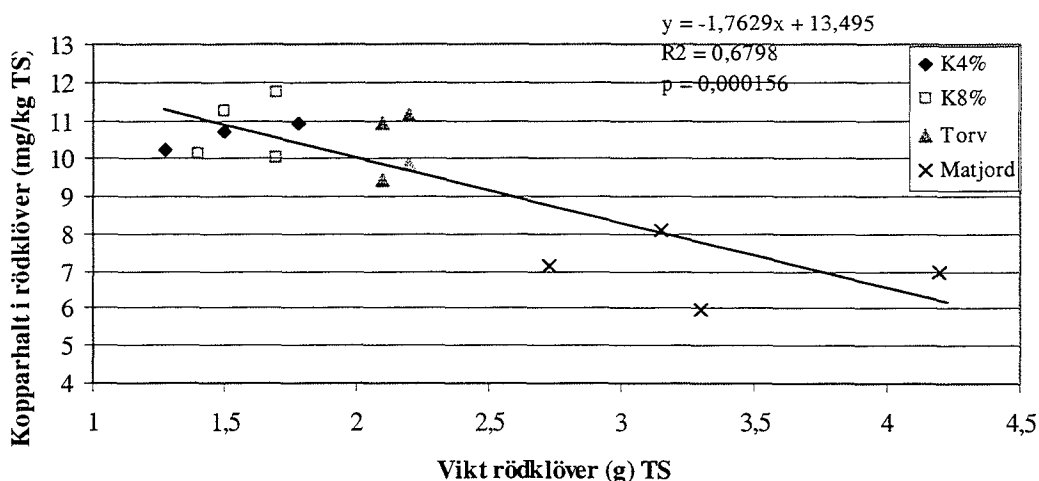
Tabell 11. Signifikanta skillnader för metallinnehåll i rajgräs och rödklöver, som växt i jordarna K4%, K8%, Torvjord och Matjord. Signifikansnivåerna visas med asterisk, (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$ och *** - $p < 0,001$), ingen signifikant skillnad indikeras med (-)

KOPPAR

Signifikansskillnad i Cu-halt för rajgräs som växt i två olika jordar			Signifikansskillnad i Cu-halt för rödklöver som växt i två olika jordar		
högre halt	lägre halt	Signifikansnivå	högre halt	lägre halt	Signifikansnivå
K8%	K4%	*	K8%	Matjord	***
K8%	Torvjord	***	K4%	Matjord	***
K8%	Matjord	***	Torvjord	Matjord	***
K4%	Torvjord	***	K8%	K4%	-
K4%	Matjord	***	K8%	Torvjord	-
Torvjord	Matjord	*	K4%	Torvjord	-

ZINK

Signifikansskillnad i Zn-halt för rajgräs, som växt i två olika jordar			Signifikansskillnad i Zn-halt för rödklöver, som växt i två olika jordar		
högre halt	lägre halt	Signifikansnivå	högre halt	Lägre halt	Signifikansnivå
K8%	K4%	**	K8%	Torvjord	**
K8%	Matjord	***	K8%	Matjord	**
Torvjord	K4%	*	K4%	Torvjord	*
Torvjord	Matjord	**	K4%	Matjord	*
K4%	Matjord	**	K8%	K4%	-
K8%	Torvjord	-	Torvjord	Matjord	-



Figur 8. Sambandet mellan kopparhalten i rödklöver och dess vikt. Ju större rödklövervikt desto lägre kopparhalt.

DISKUSSION

Kompostering innebär en ordentlig omsättning av organiskt material. Detta kan uppnås om kolrikt råmaterial, i tillräckligt stora kvantiteter, används och med en effektiv komposteringsmetod. Kolet som tillsätts måste vara lättillgängligt för mikroorganismerna för att en aktiv kompostering ska ske, vilket innebär att molekylstrukturen ska vara enkel, t.ex. är

cellulosa bättre än lignin, och kol- kvävekvoten bör i initialblandningen ligga runt 30. Detta kan uppnås med inblandning av råmaterial med hög C/N-kvot eller, i fallet med Gästrike Avfallshanterings kompostering, en mindre andel slam per hög. Vid en lägre kol- kvävekvot finns inte tillräckligt med energi (kol) för att mikroorganismerna ska kunna tillväxa och bidra med en effektiv kompostering.

Det skulle vara intressant att undersöka vad som sker med andra, mer eller mindre farliga och främmande ämnen, under kompostering, för att veta om kompostering är ett effektivt sätt att bryta ned även dessa. Dock är det känt, att i varje fall vissa ämnen, bryts ned åtminstone till viss del. Ett problem med nedbrytningen är att restprodukter ibland kan vara ännu värre.

Kompostering är en naturlig process som är mycket effektiv vid nedbrytning av organiskt material. Genom att styra processen dit man vill, med t.ex. temperatur, vattenhalt och syretillförsel och med kunskap om olika bakteriers förmåga att bryta ned främmande ämnen skulle kanske kompostering kunna bli ett mycket bra sätt att behandla avloppsslam. Kompostresten som blir kvar efter kompostering har hög humushalt och ger långtidsverkande näring till jorden.

Kompostförsök

Det hade varit önskvärt att anpassa högarna jämförbara med de storlekar som används på anläggningen, för att kunna utvärdera metoden ordentligt, men på grund av utrymmesskäl måste dock storleken på komposthögarna hållas nere. Av de fyra blandade komposterna K1-K4 som tillreddes på slamplattan i Forsbacka kunde följande utvärdering av Gästrike Avfallshanterings kompostering av avloppsslam göras. De erfarenheter som erhållits är att mängden kol är viktig, och i vilken form kolet förekommer. Syrehalten ska vara hög (gärna luftgenomströmning eller stora luftfickor) och vattenhalten ska vara låg (TS 45 %), i förhållande till slammets initiala tillstånd. Trots att förklaringar till den ineffektiva komposteringen på anläggningen har upptäckts i samband med försöket och litteraturen, har det varit svårt att dra säkra slutsatser om hur strängkompostering (metoden som används i Forsbacka) ska utföras optimalt. Kol- kvävekvoterna i K1-K4 var nämligen så låga (14-18) redan vid blandningstillfället att energi, i form av kol, för en effektiv kompostering saknades. Ytterligare förutsättningar att utvärdera metoden i Forsbacka, t.ex. betydelse av råmaterialens egenskaper, blev därmed svåra att tyda eftersom det inte ens fanns potential för en god mikrobiell process.

De låga C/N-kvoterna i K1-K4 berodde på den höga andelen slam som blandats i komposterna, mellan 60 och 70 % av kompostens totala vikt. Anledningen till att slammets C/N- kvot (9), är låg är att avloppsslam innehåller mycket kväve men också att den största delen av slammet som kommer till Forsbacka Avfallsanläggning är rötat. Rötat slam är ett material där det lättillgängliga kolet redan är omsatt och slammet är stabilt. Det går inte att få igång en kompostering av ett stabilt material. Det visade sig även i stabilitetstestet att komposterna var stabila redan efter fyra veckor. Vilket troligtvis beror på att råmaterialblandningarna inte gav möjlighet för komposteringen att komma igång, även om testet hade gjorts ännu tidigare så hade materialet troligtvis inte uppvisat någon större potential för nedbrytning. Testet var tänkt att genomföras även när försöket avslutades. Men eftersom materialet var stabilt efter fyra veckor var det ingen idé att göra ännu ett stabilitetstest. Komposterna fick fortsätta ändå för att undersöka om det var någon skillnad mellan de olika blandningarna.

En tydligt nedåtgående trend i C/N-kvoterna hade kunna förväntas om ingångsvärdena för C/N-kvoterna varit högre. Under dessa omständigheter med låga ingångsvärden var mikroorganismernas C/N-kvot för endast underhållsmetabolism tillgodosedd, men en mer aktiv process är omöjlig om kvoten inte är nästan det dubbla. Slutsatserna från kol-kvävehalterna i försöket var att eftersom K1 hade samma proportioner av råmaterialet som Gästrike Avfallshanterings kompost bör kol- kväveknoten i deras kompost ökas för en effektiv kompostering.

Temperaturutvecklingen är ett direkt mått på den biologiska aktiviteten i komposten. En förklaring till varierande och låga temperaturer i början av komposteringen var den dåliga blandningen av råmaterialen. Komposteringen startar först när miljön är lämplig för mikroorganismerna (syre, luftfickor, lättillgängligt kol, lagom vattenhalt m.m.) och det är den miljön man försöker skapa i en kompost. Vid en dålig blandning kan inte de mikrobiella processerna starta. Mikromiljöerna varierar förstås mycket, i en punkt kan det förekomma endast ett material medan det i en annan är en bra blandning av råmaterialen. Generellt sjönk temperaturerna i några dagar efter vändningarna men ökade sedan ganska rejält, vilket åtminstone kunde ses för K3 och K4 vid andra och tredje vändningen. Anledningen till att temperaturen sjönk var troligtvis att de kalla vintertemperaturerna ute, kylt av kompostytorna vilka utgjorde en stor del av den totala volymen. Efter första vändningen värmdes K3 och K4 upp sig själva och var efter ca en vecka uppe i samma temperaturer som innan vändningen, temperaturerna fortsatte att öka till den andra vändningen som skedde efter den 22:a komposteringsdagen. Troligtvis kunde detta ske eftersom kolet i blandslammet kunde utnyttjas effektivt. Den olyckliga placeringen av K1 och K2 på snötäcket efter den första vändningen kan ha påverkat dessa, särskilt K2. Det verkade som om temperaturen i den var på väg upp, innan första vändningen. De låga temperaturerna i K1 och K2 antyder att det inte pågår någon direkt kompostering. Att komposterna fick ligga i två veckor utan att vändas i början var inte bra, men vi ansåg att fördelarna med att vända (blandning av material, ökad syrehalt och luftfickor) inte skulle uppväga den kyla som skulle ha vänts in vid den planerade andra vändningen (efter ca 14 dagar).

Det lättillgängliga kolet som fanns i komposterna utnyttjades nog i början. Det kanske kan visas med att innehållet av organiskt material minskade mycket mellan komposteringens start och dag 33 och att temperaturerna fram till dess var högre och sedan avtog. Hade C/N-kvoten varit högre skulle kolmängden nog ha räckt till för att mikroorganismpopulationerna skulle tillväxt mer och högre maxtemperatur uppnåtts på grund av de termofila populationer som växt till.

De små försökskomposterna var som sagt svåra att jämföra med de fullstora på anläggningen. Uttemperaturen påverkade försökskomposterna mycket. Syretillförseln i försökskomposterna var nog inte fullgod, eftersom vändningarna verkade ha en positiv effekt på temperaturen, vilket kan tala för att syre måste in. Avloppsslam har svag struktur med hög vattenhalt och kompakteras lätt under sin egen vikt, vilket gör att om kompostering i fullstor skala ska ske så borde ordentligt bulkmaterial användas, t.ex. träflis som dessutom torkar upp och bidrar med kol till komposten.

Kompostrest

Jämfört med andra kompostrest i Sverige är varken metallhalterna eller näringshalterna i Gästrike Avfallshanterings kompostrest avvikande från de andra. Det finns inga krav på näringsämnessalter, kanske på grund av att kompostresten sällan används i "rent" tillstånd,

utan blandas med en mineraljord och då blir totalhalterna en annan. En annan anledning är att näringsämnen snabbt ändrar form när miljöbetingelserna ändras. I den undersökta kompostresten var t.ex. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ och $\text{NO}_3^-\text{-N}$ värdena vitt skilda mellan de fyra platserna. Nitrat bildas under syrerika förhållanden och ammonium när det är anaerobt, ammonium kan övergå i ammoniak (NH_3) och blir då flyktigt. Vilket kanske förklarar varför man inte kan sätta gränsvärden. Grödornas toleransnivåer är också vitt skilda.

Metallhalterna däremot kan det lättare sättas upp gränsvärden för, eftersom metaller nästan aldrig försvinner ur ett organiskt material. Kraven, SPCR 120, som kompostresten jämförts mot (trots att de inte gäller för kompostrest baserad på avloppsslam) uppfylls för båda åren 2002 och 2003 men inte för zink och koppar om man rättar sig efter de krav som gäller efter 2003.

Kompostresten var stabil, vilket inte var så konstigt med tanke på att rötslammet redan var stabilt vid inblandningen i komposten och att slammet dessutom utgjorde en så stor del av komposten. Vid jämförelse med kompostförsöket där komposten var stabil efter fyra veckor trots att ingen nämnvärd kompostering skett, påvisar att kompostresten vid Gästrike Avfallshantering kanske inte var en egentlig kompostrest per definition. I sådant fall borde råmaterialet ha genomgått en termofil fas, vilket det inte gjorde i K1 och K1 är den försökskompost som liknar Gästrike Avfallshanteringens kompost. Kompostresten skulle kanske kunna kallas "biologiskt omsatt organiskt material och rötrest".

Groningsförsöket visade på en form av moget tillstånd i kompostresten eftersom det inte fanns några grobara frön eller växtdelar. Resultatet var överraskande eftersom tomatfrön var att vänta, det verkade vara allmänt känt att grobara tomatfrön förekommer i avloppsslam. Lite funderingar kring behandlingen rådde, huruvida vattning skulle ske per gram TS, gram organiskt material eller hålla lika vattenhalt som vid initiering av försöket. Det sista tillämpades. Sådd av rajgräs i hälften av försökskärlen utfördes efter två veckor för att utvärdera om kompostresterna var fytotoxiska. Eftersom dessa frön grodde och växte ansågs kompostresterna grovännliga.

Växtförsök i anläggningsjordar

Tillväxten av de två arterna verkade påverka varandra. Det kan ha berott på att en av arterna växte till först och därmed skuggade, eller att stora rötter tog upp mer plats, och konkurrerade hårt med den andra arten. Plantorna som växt i Torvjorden var mycket mindre än de som växt i de andra tre jordarna, vid skörd, det kan ha berott på den höga vattenhalten i Torvjorden. Den höga vattenhalten kanske ledde till en sämre tillväxt, vilket ledde till en lägre vikt vid skörd. Avdunstningen från ytan på de mer mineralrika jordarna K4%, K8% och Matjord kan ha varit högre än från Torvjordytan. Även vattnet som rann igenom till fatet för de tre mineralrikare jordarna var i större volym och kan ha avdunstat i större utsträckning än ifrån krukorna med Torvjord.

Generellt ökar metallösligheten med minskat pH men det är nog inte förklaringen till metallupptaget i växtförsöket. Alla jordar låg mellan 7,3 och 8,4 i pH. I viss mån berodde nog metallinnehållet i plantorna på växtbiomassan. T.ex. fanns för zink en tydlig utspädningstrend, ju större gröda desto lägre zinkhalt. Men troligen handlar metallinnehållet i växterna främst om kelatbindning mellan metaller och det organiska materialet i jorden. Det organiska materialet i Gästrike Avfallshanteringens kompostrest har inte genomgått någon kraftig omsättning, som det önskas vid kompostering. Detta kan ha bidragit till att metallerna

inte har processas och bundits in i det organiska materialet utan förekommer mera fritt och lättillgängligt för växterna. Dock är inga metallhalter i försöket oroväckande höga.

Metaller

Jordarna K4% och K8% innehöll mycket metaller, men Torvjorden hade i vissa fall högre halter, särskilt när det gäller zink. Jordarnas metallinnehåll avspeglade sig till stor del i växternas metallupptag (t.ex. i en jord med högt metallinnehåll, hade växterna i den jorden de högsta metallhalterna), signifikanta samband fanns för zink och koppar. Kopparhalterna varierade i växterna mellan 4-12 mg/kg TS vilket enligt litteraturen är helt acceptabla värden för växter, normalvärden ligger mellan 5-25 mg/kg. Zinkhalterna var också helt acceptabla, 21-73 mg/kg, enligt litteraturen bör halterna ligga mellan 20-400 mg/kg.

Kopparupptaget i rajgräs stämmer rätt bra överens med växtsubstratens (anläggningsjordarnas) kopparinnehåll (tabell 10). Troligen är koppar hårdare bundet i det organiska materialet i Torv- än i K4%- och K8%- jordarna eftersom upptaget var litet i Torvjorden.

Kopparhalten i jordarna, K8%, Torvjord och K4% var högre än för Matjord vilket återspeglades i kopparupptaget hos rödklöver och stärktes utav att det inte fanns någon signifikant skillnad mellan Cu-upptaget i de tre förra jordarna, medan kopparhalten i rödklöver i Matjorden var signifikant lägst.

Det skulle vara intressant att veta om rajgräs tar upp stora mängder zink, eftersom arten i försöket tog upp mycket zink när det fanns mycket i substratet, som för Torvjorden och K8%.

Rödklöver innehöll mycket mindre zink när den växt i Torvjord, än när den växt i K8% eller K4%, (Bilaga F, figur 12) trots de höga halterna i Torvjorden. Anmärkningsvärt är att inte halten var högre för rödklövern som växt i Torvjorden. Kanske var zink kelatbundet i det organiska materialet i Torvjorden vilket rödklövern inte kunde lösa upp.

Näringsämnen

Om tillväxten, biomassan, ses som en respons på näringsinnehållet i jorden var näringen bäst i K8% och lite sämre i K4%. Växterna i Matjorden var något mindre än växterna i K4% och K8%, medan växterna i Torvjorden var nästan hälften så stora som de största. En bidragande orsak till den låga tillväxten i Torvjorden var nog den höga vattenhalten. Eftersom det finns samband mellan metallinnehåll i växten och dess vikt hade det varit intressant att göra ett större försök med skörd vid olika tillfällen för att undersöka metallinnehållet i växterna när växtvikten var den samma. Det kan ju tänkas att metallinnehållet späds ut eller ackumuleras med tiden.

Fosforinnehållet i K4% och K8% var som förväntat mycket högre än i de andra jordarna, vilket förmodligen bidrog till den största biomassatillväxten i dessa två jordar. Intressant är att det är rajgräset som växt bäst i dessa jordar inte rödklövern. Detta kanske kan förklaras genom att även kväveinnehållet i jordarna med kompostrest var högst. Det var kanske p.g.a. rizophium som rödklöver tillväxten var större än rajgräst tillväxten i Matjord eftersom det var ganska lågt kväveinnehåll men även mycket lågt fosforinnehåll.

Slutsats

Strängkomposteringen på Forsbacka Avfallsanläggning skulle kunna effektiviseras mycket. Mer kol bör blandas i, gärna lättillgängligt som i Fors blandslam, eller med hög kol-kvävekvot som i gödslet. I försökskomposterna med ganska lika kol- kvävekvot gick processerna långsammast i Gästrikre Avfallshanterings vanliga blandning. Temperaturen i komposten ökar samtidigt som syre förbrukas av mikroorganismerna, vilket leder till att när syret börjar ta slut minskar åter temperaturen. Rutinmässig mätning och dokumentering av temperaturen skulle förmodligen leda till att personalen själv skulle märka när komposterna behöver vändas. Vändningen bör ske efter att en temperaturtopp nåtts, d.v.s. när temperaturen minskar.

Det skulle vara önskvärt att minska kompoststorleken, närmare två meter i höjd och fem meter i basen. En minskad kompoststräng skulle minska risken för anaeroba förhållanden vilket lätt sker eftersom avloppsslam är ett så vått och finfördelat material att det snabbt kompakteras. Materialblandningen är viktig, särskilt första gången en sträng läggs upp. Kompostvändare har visat sig ge en god blandning. Blandningen bidrar med t.ex. luftfickor, syre, fukt och kol, alltså en god miljö för de organismer som bryter ned materialet. Det är den miljön som är viktig att uppnå! Är miljön bristfällig blir också komposteringen dålig. Kramtest bör utföras vid t.ex. den första blandningen, för att få klarhet i om mer upptorkande material behöver tillsättas. Om det nu blir riktig fart i komposten måste man se till att den inte blir för het. Över 70°C ska det inte vara. Hög temperatur kan minskas med större lufttillförsel (fler vändningar eller mindre högar), eller med vatten om komposten skulle vara torr.

Rötat avloppsslam är stabilt redan innan komposteringen. Fördelen med att kompostera slammet är att en kompostrest har fler fördelar än rötslammet som den organiska fraktionen i en anläggningsjord. Fördelarna är en bättre lukt och lättare hantering t.ex. vid inblandning i mineraljord, eftersom kompostresten är mer porös. Kompostrestens organiska material kan hålla vatten och bidra med mer porer och generellt bättre struktur i anläggningsjordar. Det har i mina försök visat sig att avloppsslam inte medför några stora nackdelar för kompostresten, åtminstone inte vad det gäller metallinnehåll, mognadsgrad (grobarhet) och stabilitet. Jag vill ändå rekommendera en ordentlig kompostering om verksamheten ska fortgå. Dels för att eliminera de problem som kan finnas med avloppsslam t.ex. patogener och organiska föreningar, dels också för att en effektiv kompostering bidrar till en snabbare omsättning av materialet på slamplattan, och därmed generera en positiv cirkel. Effektivare kompostering ger mer plats, medan mer utrymme kan ge bättre förutsättningar för effektivare kompostering. En effektiv kompostering minskar risken för bildning och utsläpp av oönskade ämnen, vilket även är en del av rekommendationen från Naturvårdsverkets allmänna råd för kompostering av avloppsslam (NFS 2003:15). Tillförseln av de andra organiska råmaterialen utöver avloppsslammet är egentligen de som gör att komposteringen kan ske, medan avloppsslammet mest bidrar med vatten, kväve och fosfor. Komposteringen av avloppsslam kanske främst kan ses som ett kretsloppsanpassat sätt att hantera ett avfall som finns i samhället.

Gästrikre Avfallshanterings kompostrest hade liknande närings- och metallhalter som andra kompostrester i Sverige, oavsett om de baserats på avloppsslam eller annat organiskt material. Halterna av näringsämnen varierar mycket inom och mellan olika kompostrester, vilket troligtvis beror mycket på att de mikrobiella processerna i organiskt material ständigt pågår, men förstås även på de ingående materialens innehåll av näringsämnen. Metallhalterna, främst koppar och zink, bör minskas i kompostresten för att de krav som finns i SPCR 120 ska uppfyllas efter 2003. Dessa regler gäller inte för kompostrest baserad avloppsslam men de verkar vara ett bra riktvärde att följa p.g.a. att Naturvårdsverket och SP (Sveriges Provningss-

och Forskningsinstitut) verkar ha planer på att inom en ganska snar framtid ge förslag till generella krav på kompostrest, oavsett vilka råmaterial som ingår. Jag anser det då troligt att kraven i SPCR 120 kan vara en grund till de nya reglerna. Lägre metallhalter i kompostresten kan uppnås genom att förbättra komposteringen. Om andelen avloppsslam i komposten minskas kan en bättre kompostering uppnås och metallhalterna kommer automatiskt att minskas i kompostresten p.g.a. en indirekt utspädningseffekt. Utspädningseffekten blir dock kanske inte väldigt märkbar eftersom en kompost med optimala förutsättningar (inklusive bra sammansättning av råmaterialen) ger en mindre volym färdig kompostrest än samma volym med sämre förutsättningar.

Det finns inga särskilda krav ställda på anläggningsjordar, vilket gör att de enda riktvärden som verkar finnas för producerad anläggningsjord är att den ska likna andra anläggningsjordar på marknaden. För att tillreda en bra anläggningsjord av Gästrike Avfallshanterings kompostrest kan några riktlinjer vara att: (1) Blanda kompostrest med mineraljord enligt Mark AMAs förslag på växtbäddar (mullhalt 3-8 %). (2) pH runt 7. (3) Näringsinnehåll kan deklarerars för produkten om man vill. Jordarna med Gästrike Avfallshanterings kompostrest i växthusförsöket kunde liknas med andra anläggningsjordar och de gav bra tillväxt. Mineraljorden som kompostresten blandas med inverkar på den färdiga jorden t.ex. ifråga om kalcium- och metallinnehåll, därför är det riskabelt att med växtförsöket påstå att en anläggningsjord med Gästrike Avfallshanterings kompostrest generellt är bra. Koppar- och zinkupptaget i växterna var relativt högt, vilket främst berodde på de relativt höga koppar- och zinkhalterna i K4%- och K8%- jordarna. Det finns inga riktvärden för metallhalter i jordprodukter, dock finns det riktvärden för metallhalter i avloppsslam och kompostrest, dessa tycker jag är mål att sträva efter för att inte riskera en hög metallhalt i anläggningsjorden och därmed ett högt metallupptag i växten. Ett sätt att försöka uppnå riktvärdena skulle kunna vara att inte ta emot slam från reningsverk med alltför höga metallhalter. Naturvårdsverket har satt gräns- och riktvärden för metallhalter i avloppsslam (se tabell 2), hur vissa reningsverk som levererade slam till Forsbacka Avfallsanläggning under 2002 klarade dessa krav redovisas i Bilaga A. Avloppsslam till Forsbacka Avfallsanläggning).

KÄLLFÖRTECKNING

Litteratur:

- Anläggnings AMA. 1999. Anläggnings AMA 98 allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten, s. 270-271. Stockholm. AB Svensk Byggtjänst. ISBN 91-7332-885-5
- Brady, N. C. and Weil, R. R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*, twelfth edition. New Jersey. Simon & Schuster A Viacon Company. ISBN 0-13-852444-0
- Epstein, E. 1997. *The Science of composting*. Boston. Technomic Publishing Company. ISBN 1-56676-478-5
- Eriksson, J. 2001. Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda. Stockholm. Naturvårdsverket, rapport 5148, 43 s. ISBN 91-620-5148-2, ISSN 0282-7298
- Gunnarsdotter Beck-Friis, B. 2001. Emissions of Ammonia, nitrous oxide and methane during composting of organic household waste. Uppsala. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria 266. ISBN 91-576-5793-9, ISSN 1401-6249
- Hansson, B. 1997. Konsumentreaktioner om användning av avloppsslam i jordbruket. Biologik 7-8, s. 17-20.
- Haug, R. T. 1993. *The practical Handbook of Compost Engineering*. Torrance. Lewis publishers. 717 s. ISBN 0-87371-373-7
- Ivarsson, A. 2001. Kompostering och rötning samt metoder för att höja kvalitén på dess restprodukter. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala. Institutionen för markvetenskap, Avd. f. växtnärlära. Examensarbete nr 123.
- Karlsson, I. 2002. Svenskt Avloppsslam. Vattenspegeln Nr 3, s. 16-17.
- Lundberg, S. och Cederlöf, K. 2002. Remissförslag, Förslag till vägledning och allmänna råd om metoder för yrkesmässig lagring , rötning och kompostering av avfall samt användning av kompost och rötrest. Svenska Renhållningsveksföreningen (RVF). Stockholm. Dnr 641-5595-02
- Madigan, M., Martinko, J., Parker, J. 2000. *Brock Biology of Microorganisms*, ninth edition, Chapter 5. New Jersey. Southern Illinois University Carbondale. ISBN 0-13-081922-0
- McBride, M. B. 1994. *Environmental chemistry of soils*. New York. Oxford University Press. 406 s.
- Naturvårdsverket. 1996. Behandling av avloppsslam genom inarbetning i jord. Stockholm. Naturvårdsverket, rapport 4586, 49 s. ISBN 91-620-4586-5, ISSN 0282-7298
- Naturvårdsverket. 2002. Återföring av fosfor ur avlopp. Stockholm. Naturvårdsverket, rapport 5214. ISBN 91-620-5214-4
- Paul, E.A. & Clark, F.E. 1996. *Soil Microbiology and Biogeochemistry*, 2nd ed. Academic Press. ISBN 0-12-546806-7
- Robertsson, M. 1994. Komposteringens mikrobiologi. Undersökningar av dikväveoxid- och koldioxidbildning, nedbrytningsförlopp samt mikroorganismkulturer. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala. Institutionen för mikrobiologi. Rapport 61. ISSN 0348-4041, ISRN SLU-MIKRO-R--61—SE
- Schönning, C. 2003. Risk för smittspridning via avloppsslam redovisning av behandlingsmetoder och föreskrifter. Stockholm. Naturvårdsverket, rapport 5215. ISBN 91-620-5215-2.pdf, ISSN 0282-7298
- SITA suez. 2003. Forsbacka Miljöarbete för framtiden, informations broschyr. Gästrike Avfallshantering AB.

- SP Sveriges Provnings och Forskningsinstitut. 2001. Certifieringsregler för kompost och rötrest, SPCR 120. SP Sveriges Provnings och Forskningsinstitut. Borås. ISSN 1400-979X
- Sylvia, D. M. Fuhrmann, J. J., Hartel P. G., Zuberer, D. A. 1999. Principles and Applications of Soil Microbiology. Upper Saddle River, N.J. 550 s.

Personliga meddelanden från:

- Tekn Dr, Projektledare, Annika Ekwall, 2003. Sveriges Provnings och Forskningsinstitut, Stockholm.
- Fil. Dr. Tom Ericsson, 2003. Institutionen för skoglig produktionsekologi, SLU, Uppsala.
- Produktchef Arne Hallberg, 2003. Hasselfors Garden, Hasselfors.
- Doktorand Cecilia Sundberg, 2003. Institutionen för lantbruksteknik, SLU, Uppsala.
- Francoise Forcier, 1995. Conceptual design of two composting facilities and operations. Sherbrooke. Groupe Serrner inc. Förslag i brev till Dewatech AB.

Internet:

- Naturvårdsverket, hemsida 2003-04-14.
<http://www.naturvardsverket.se/dokument/fororen/metaller/tungmet/slam.html>
- Naturvårdsverket, hemsida 2003-06-18
<http://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/lagar/lagar.htm>.
- Notisum, hemsida 2003-08-26
<http://www.notisum.se/mp/SLS/LAG20010512.htm>
- Sveriges Konsumenter i Samverkan, hemsida 2003-08-14
<http://www.konsumentensamverkan.se/11verk/kampanj/slammet/slam020823.htm>

BILAGOR

Bilaga A. Avloppsslam till Forsbacka Avfallsanläggning

De kommuner som lämnar avloppsslam till Forsbacka Avfallsanläggning presenteras nedan samt reningsverkens mängder och behandling av slammet innan det skickas. Det rötade slammet är alltid även avvattnat (centrifugerat) och har högre TS än det slam som endast är avvattnat. Angivna slammängder skickades till Forsbacka Avfallsanläggning år 2002.

Gävle kommun skickar slam nästan dagligen ifrån två reningsverk, Duvbacken och Hedesunda. Slammet från Duvbacken, ca 7000 ton, är rötat. Duvbackens slam har högre halter av Cu och Zn (839 resp. 835 mg/kg TS) än Naturvårdsverkets gräns- och riktvärden (se tabell 2, rapporten). Avvattnat slam, ca 100 ton, levereras från Hedesunda efter sex månader på torkbädd.

Hofors levererade ca 100 ton avvattnat avloppsslam. Samlingsprov analyseras varje halvår, från delprov som insamlas en gång per vecka. Slammet uppfyller Naturvårdsverkets gräns- och riktvärden för metallinnehåll i avloppsslam (se tabell 2, rapporten).

Köping skickade ca 3200 ton avvattnat slam. Slammet lagras i en silo. När vädret tillåter begjuts vassbäddar med slammet. Delprov samlas in varje dag som centrifugen går, och ett samlingsprov analyseras varje månad. Koppar och kvicksilverhalter (688 resp. 3,0 mg/kg TS) i slammet överskrider gräns- och riktvärdena i tabell 2 (rapporten).

Ockelbo – uppgifter saknas.

Ovanåker kommun skickar slam varje vecka till anläggningen, totalt ca 1500 ton avvattnat slam. Slammet kommer ifrån reningsverken i Alfta och Edsbyn, slammet från mindre reningsverk förs först till de två större.

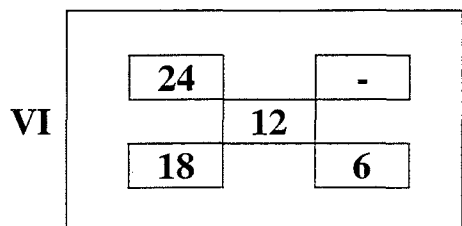
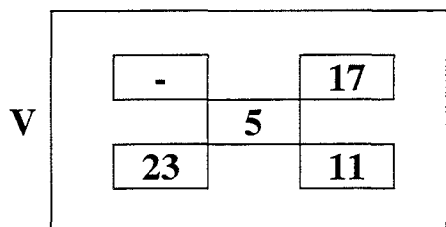
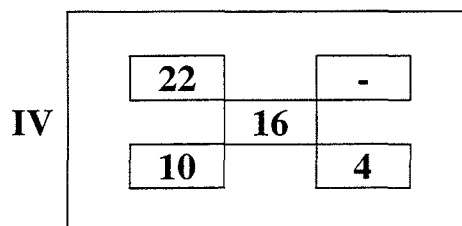
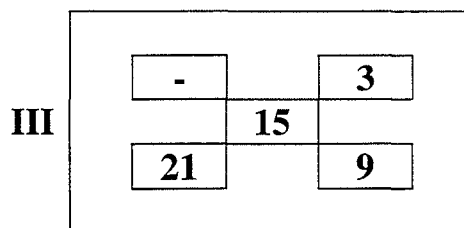
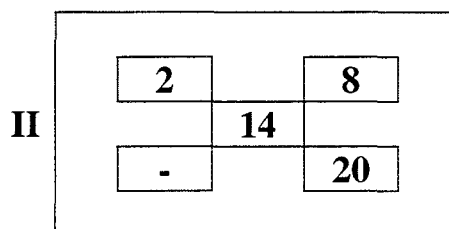
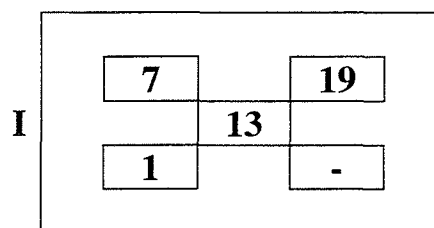
Sandviken skickar rötat slam, ca 4600 ton. Samlingsprov analyseras varje halvår.

Söderhamn är en ny kund alltså levererades inget slam år 2002. Slammet är avvattnat och samlingsprov analyseras var tredje månad.

Tierp (reningsverk i Skärplinge, Tierp, Örbyhus och Söderfors) skickar rötat slam, ca 1800 ton, som fått ligga ca 6 månader på en platta för avvattning och upplagring. Slammet uppfyller gräns- och rikt- värdena i tabell 2 (rapporten).

Älvkarleby levererade ca 1300 ton avvattnat slam. Analysprover utförs på samlingsprov från 10 veckor (delprov en gång i veckan) två gånger per år.

Bilaga B. Växthusförsök - Krukschema



Tabell 12. Krukorna i försöket numrerades från 1-24 för de fyra undersökta jordarna

Kruk nr.	Jord
1-6	K4%
7-12	K8%
13-18	Torv
19-24	Matjord

I-VI visar brickorna som krukorna stod på under växthusförsöket. På varje bricka placerades fyra krukor, enligt mönstret till vänster. Siffrorna indikerar typ av jord, enligt tabell 12.

Brickorna I-V roterades en gång i veckan. Bricka VI, ogräsförsöket, flyttades inte under försöket.

Bilaga C. Försökskomposter

Tabell 13. Invägda mängder (färskvikt) av råmaterialen

Färskvikt	Kompost 1	Kompost 2	Kompost 3	Kompost 4
Slam (kg)	4500	4000	3850	3950
Gödsel (kg)	1150		1100	1200
Flis (kg)	900	950	450	
Blandslam (kg)		1250	1250	1200
Tot (kg)	6550	6200	6650	6350

Tabell 14. Råmaterialens vikter (TS resp. färskvikt) i procent av total kompostvikt

Andel TS av total TS	K1	K2	K3	K4	Andel färskvikt av total vikt	K1	K2	K3	K4
Slam	60	60	50	50	Slam	70	60	60	60
Gödsel	20		20	30	Gödsel	20		15	20
Flis	20	20	10		Flis	10	20	5	
Blandslam		20	20	20	Blandslam		20	20	20

Tabell 15. TS, organiskt material och pH i försökskomposterna K1-K4

Dagar fr. start	0	22	33	55	84
parameter TS					
K1	23		-	27	29
K2	24		-	27	-
K3	24	25	27	27	28
K4	25		35	26	28
parameter pH					
K1			8,0	7,8	7,0
K2			8,0	7,8	7,1
K3		7,8	7,6	7,4	6,9
K4			7,7	7,3	7,0
parameter % organiskt material av TS					
K1	65		-	40	45
K2	59		-	45	45
K3	63	-	34	33	39
K4	69		31	31	38

Streck är osäkra mätvärden, tomma rutor är ej analyserat

Beräknad mängd organiskt material (utifrån mängderna slam, blandslam, gödsel och flis) i procent av TS för varje hög (K1-K4) vid start var 64, 59, 66, och 67 % att jämföra med de uppmätta värdena för K1-K4 efter blandningen i tabell 15.

Bilaga D. Analysresultat över Gästrikre Avfallshanterings kompostrest

A-D representerar fyra samlingsprov från kompostresten

Tabell 16. TS och glödförlust i Gästrikre Avfallshanterings kompostrest (mars) 2003

	TS % av prov	pH	glödförlust % av (ts)	Vattenhalt % av TS
A	37	8,4	41	169
B	37	6,3	43	176
C	44	8,6	34	129
D	46	7,2	28	119
medel	41	7,6	36	148
min	37	6,3	28	119
max	46	8,6	43	176

Tabell 17. Näringsinnehåll i Gästrikre Avfallshanterings kompostrest (mars) 2003

	NH4-N % av TS	NO3-N % av TS	C % av TS	N % av TS	C/N	Ca % av TS	K % av TS	Mg % av TS	P % av TS	S % av TS
A	0,570	0,024	19,91	1,19	17	1,496	0,303	0,328	1,042	0,391
B	0,011	0,112	21,91	1,43	15	1,672	0,369	0,296	1,205	0,442
C	0,372	0,004	18,30	1,06	17	1,501	0,405	0,359	0,987	0,376
D	0,033	0,007	13,37	0,76	18	1,152	0,335	0,380	0,967	0,258
medel	0,247	0,037	18,37	1,11	17	1,455	0,353	0,341	1,050	0,367
min	0,011	0,004	13,37	0,76	15	1,152	0,303	0,296	0,967	0,258
max	0,570	0,112	21,91	1,43	18	1,672	0,405	0,380	1,205	0,442

Tabell 18. Tungmetallförekomst i Gästrikre Avfallshanterings kompostrest (mars) 2003

	Cd Mg/kg TS	Cr mg/kg TS	Cu mg/kg TS	Hg mg/kg TS	Ni mg/kg TS	Pb mg/kg TS	Zn mg/kg TS
A	0,567	18	220	0,520	14	33	348
B	0,696	19	260	0,562	16	35	412
C	0,524	23	217	0,331	16	32	347
D	0,432	22	139	0,346	14	25	259
medel	0,555	20	209	0,440	15	31	342
min	0,432	18	139	0,331	14	25	259
max	0,696	23	260	0,562	16	35	348

Bilaga E. Anläggningsjordar

Tabell 19. Glödförlust, TS och pH

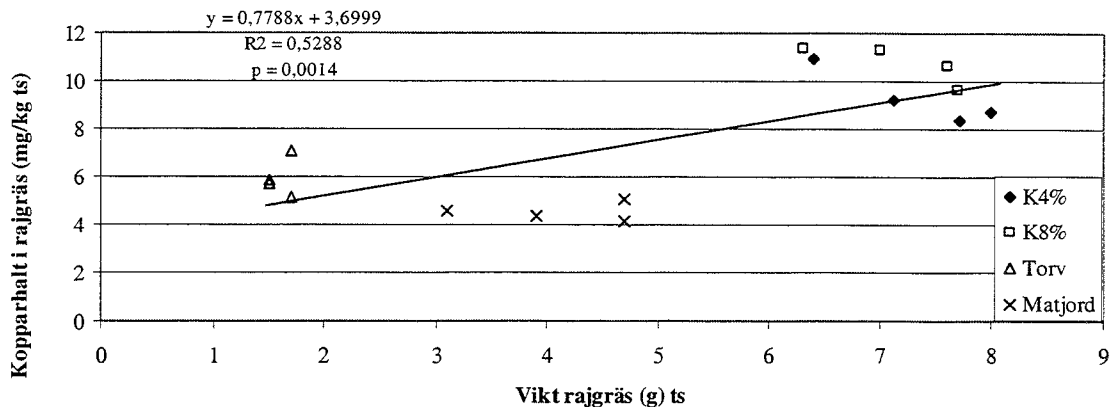
Anläggningsjord	org.mtrl. (% av TS)	TS (%)	pH
K4%	3,8	80	7,8
K8%	9,9	67	7,6
Torv	12,5	65	7,3
Matjord	5,6	80	8,4

Tabell 20. Totalinnehåll av näringsämnen i anläggningsjordarna (upplösta i saltsyra), kol och kväve (LECO). Ls är lufttorrt jord

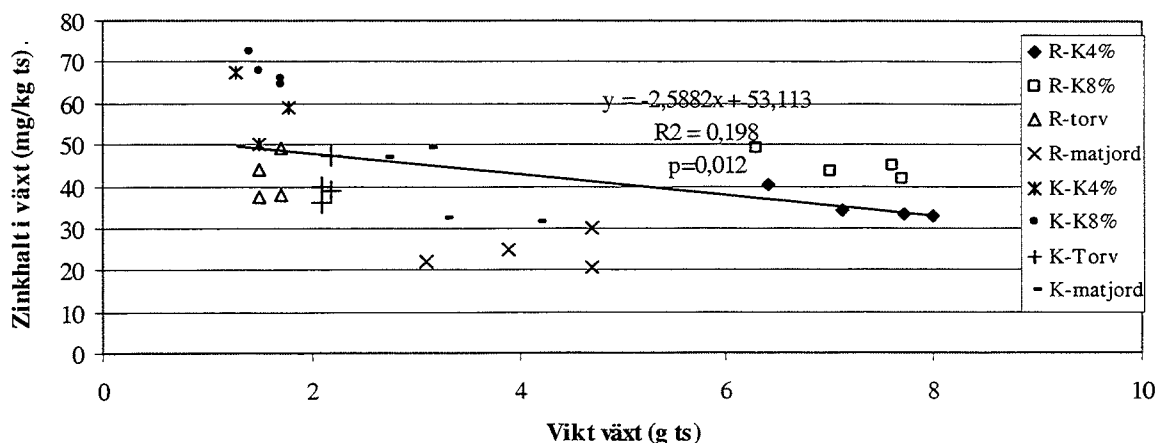
Anläggnings- jord	% av lufttorrt prov		mg/kg ls					% av lt jord		
	Ca	K	Mg	P	S	P-Al	K-Al	tot-C	tot-N	C/N
K4%	1,28	0,12	0,54	0,11	0,031	320	135	1,18	0,08	15
K8%	1,14	0,16	0,52	0,22	0,064	640	360	2,74	0,19	14
Matjord	1,21	0,17	0,5	0,06	0,032	220	400	3,16	0,19	17
Torv	0,7	0,25	0,43	0,09	0,083	236	195	5,97	0,29	21

Bilaga F. Signifikanta samband mellan växtvikt och metallinnehåll

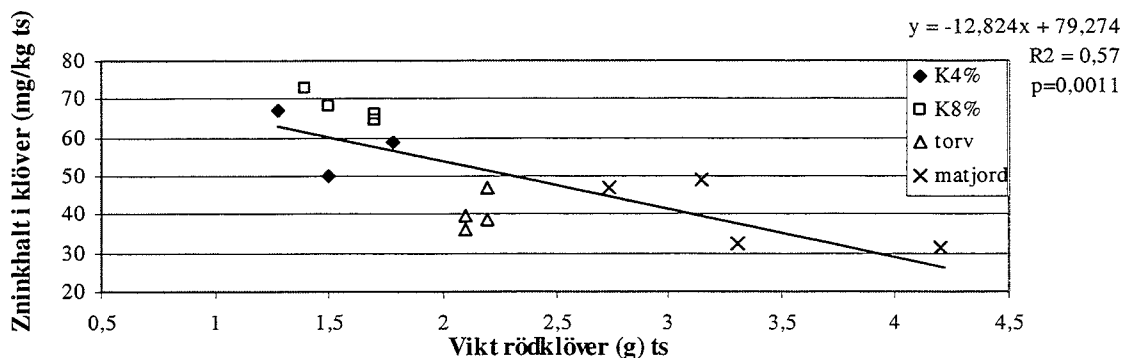
Metallinnehållet i grödorna i växthusförsöket visade signifikanta samband, dessa visas i graferna nedan.



Figur 9. Kopparkoncentration i rajgräs mot rajgräsvikt.



Figur 10. Zinkkoncentration mot rajgräs- och rödklövervikt. R=rajgräs, K=rödklöver.



Figur 11. Sambandet mellan zinkkoncentration i rödklöver och rödklövervikt.

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1999

- 99:1 Kindvall, T. Strukturkalkning på lerjordar - effekter på markstruktur och sockerbetsskörd. 55 s.
- 99:2 Börjesson, E. Naturliga system för rening av lakvatten i Ranstad - vilka är möjligheterna? 67 s.
- 99:3 Gärdenäs, A. (ed). Scale and variability issues in the soil-hydrological system. Workshop proceedings. The 25-27th of August 1999 at Wiks Castle, Sweden. 57 s.
- 99:4 Bengtson, L. Retention of colloids in lysimeter experiments on undisturbed macroporous clay soil. 43 s.
- 99:5 Wennman, P. Vegetationsfilter för rening av lakvatten - kväveaspekter. 45 s.
- 00:1 Stjernman, L. Gruvavfall som växtsubstrat - effekter av organiskt material. 58 s.
- 00:2 Björkman, N. Biologisk alvluckring - effekter av rödklöver och lusern på markstruktur och sockerbetsskörd. 58 s.
- 01:1 Gustafsson, H. The use of plants for soil remediation at Milford Haven Refinery in South Wales. 37 s.
- 02:1 Lundberg, M. Skador av is och ytvatten i vall i norra Sverige. 80 s.
- 02:2 Gustafsson Bjuréus, A. & Karlsson, J. Markstrukturindex – utvärdering av en metod att bedöma odlingsystemets uthållighet och jordarnas fysikaliska status. 167 S.
- 02:3 Andersson, J. Possible Strategies for Sustainable Land Use in the Hilly Area of Northern Vietnam. 88 s.
- 02:4 Berglund, K., Berglund, Ö. & Gustafson Bjuréus, A. Markstrukturindex – ett sätt att bedöma jordarnas fysikaliska status och odlingsystemets inverkan på markstrukturen. 132 s.
- 02:5 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Perttu, K., Blombäck, K., Karlberg, L., Persson, G., Cienciala, E., Kätterer, T., Gärdenäs, A. & Lewan, L. Biogeofysik - en introduktion. 146 s.
- 02:6 Lindström, J., Linnér, J. & Arvidsson, J. Tubulering – en kostnadseffektiv markvårdsåtgärd. 38 s.
- 03:1 Joel, A., Wesström, I. & Linnér, H. Reglerad dränering. Topografiska och hydrologiska förutsättningar i södra Sveriges kustnära jordbruksområden. 26 s.
- 03:2 Salazar G., O. Agroforestry combined with water harvesting in the central zone of Chile. Soil properties and biomass production. 37 s.
- 03:3 Berglund, K. Markstruktur och markvattentillgång – begränsande faktorer i svensk sockerbetsodling. 32 s.
- 04:1 Fahlander, Denise. Kompostering av avloppsslam för produktion av anläggningsjord. 56 s.

Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

Distribution:

Sveriges Lantbruksuniversitet
Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik
Box 7014
750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 11 85, 67 11 86

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics
P.O. Box 7014
S-750 07 UPPSALA, SWEDEN

Tel. +46-(18) 67 11 85, +46-(18) 67 11 86
