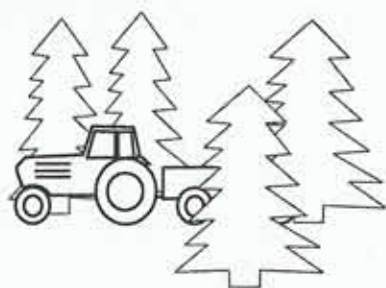
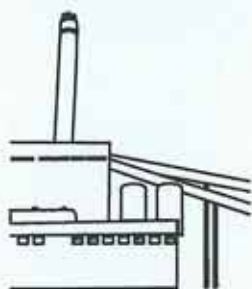
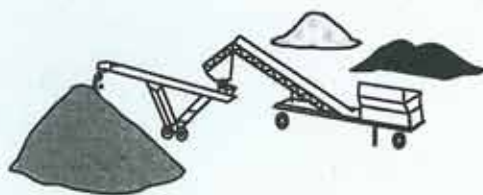
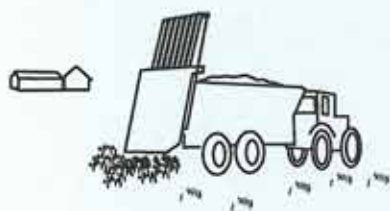


Användnings- möjligheter för avloppsslam

Henrik Tideström
Katarina Starberg
Thord Ohlsson
Per-Axel Camper
Peter Ek



00•2

VA-FORSK

VA-FORSK är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig och intresset från kommunernas sida har varit mycket stort. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-FORSK initierades gemensamt av Kommunförbundet och VAV. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-FORSK styrs av en kommitté, som utsetts gemensamt av VAV och Kommunförbundet. Kommittén är underställd VAVs styrelse. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Ola Burström, ordförande	Skellefteå
Peter Balmér	GRYAAB, Göteborg
Roger Bergström	VAV
Bengt Göran Hellström	Stockholm Vatten AB
Pär Jönsson	Östersund
Sören Larsson	Hallsberg
Peeter Maripuu	Lysekil
Stefan Marklund	Luleå kommun
Åsa Möller	Sundsvall
Peter Stahre	VA-verket Malmö
Jan Söderström	Sv kommunförbundet
Asle Aasen, adj	NORVAR, Norge

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande VAVs ståndpunkt.

VA-FORSK
VAV AB
101 53 STOCKHOLM
Tel: 08-677 25 70
Fax: 08-677 25 75

VAV AB är servicebolag till Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen

Användnings- möjligheter för avloppsslam

**Henrik Tideström
Katarina Starberg
Thord Ohlsson
Per-Axel Camper
Peter Ek**

Utgiven av VAV AB

**VA-FORSK
RAPPORT
2000 • 2**

 **VA-FORSK**

VAV

Rapportens titel:	Användningsmöjligheter för avloppsslam	
Title of the report:	Opportunities for beneficial use of sewage sludge	
Rapportens beteckning Nr i VA-FORSK-serien:	2000•2	
ISSN-nummer:	1102-5638	
ISBN-nummer:	91-89182-38-3	
Författare:	Henrik Tideström, Katarina Starberg, VAI VA-Projekt, Thord Ohlsson, EDAFOS, Per-Axel Camper, Peter Ek, VAI VA-Projekt	
Utgivare:	VAV AB	
VA-FORSK projekt nr:	99-116	
Projektets namn:	Användningsmöjligheter för avloppsslam	
Projektets finansiering:	VA-FORSK	
Rapporten beställs från:	AB Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 113 87, Stockholm, tfn 08-457 11 00	
Rapportens omfattning Sidantal:	64	
Format:	A4	
Upplaga:	1600	
Sökord:	Anläggningsjord, avfall, avlopp, avvattnings, biogas, energi, fosfat, fosfor, förbränning, gödsel, gödsling, hushållning, hydrolys, hygienisering, hållbar, inarbetning, jord, jordbruk, jordförbättring, kompensation, kompost, kostnad, kretslopp, kväve, miljö, mull, näring, pellet, resurs, rötning, skog, slam, stabilisering, tork, uthållig, vassbädd, vitalisering, våtslam.	
Keywords:	Co-incineration, compost, costs, de-water, eco-cycle, environment, digestion, dry, fertiliser, fertilising, fertilizer, fertilizing, forest, hydrolysis, hygienise, hygienisation, incineration, impact, nitrogen, nutrient, pathogenreduction, pellet, phosphorus, phosphate, recycling, resources, sewage, silviculture, sludge, soil, soil conditioner, soil improver, stabilisation, sustainable, treatment, vitalise, vitalising, vitalize, vitalizing, waste, wastewater	
Sammandrag:	Rapporten redovisar hur ökade krav från jordbruket och livsmedelsindustrin, skärpta gränsvärden, deponiskatt, deponiförbud etc. förändrar förutsättningarna för slamhanteringen. Möjligheterna att göra något vettigt av slammet varierar starkt från kommun till kommun. Denna rapport beskriver olika användningsmöjligheter för slam: gödsling, jordtillverkning, energiutvinning etc. samt respektive möjlighets framtidsutsikter, resursanvändning, miljöeffekter, kostnader m m Dessutom beskrivs kortfattat några av de behandlingsmetoder som behövs för att slammet ska kunna användas på respektive sätt.	
Abstract:	The report describes how the conditions for the handling of sewage sludge are changing constantly in Sweden: increasing demands from farmers and the food industry, decreasing limit values for the recycling of sludge, waste tax and, prohibition of landfilling of organic waste etc. Opportunities to make beneficial use of sludge vary a great deal from municipality to municipality. This report describes different outlets for sewage sludge: use as fertiliser in agriculture and forestry, manufacturing of soil conditioners and other sludge based soil products, energy recovery by incineration and anaerobic digestion. For each outlet usage, potential, benefits and disadvantages, treatment technology, consumption/managing of natural resources, environmental impact, investments and working expenses etc. are described.	
Målgrupper:	Avfalls- och energibolag Entreprenörer Forskare Fosforindustrin Kommunala VA-verk	Kommunalpolitiker Konsulter Miljöorganisationer Myndigheter
Utgivningsår:	2000	
Pris 2000:	200 kr, exkl moms	

Sammanfattning

Förutsättningarna för kommunernas slamhantering förändras ständigt: ökade krav från jordbruket och livsmedelsindustrin (LRF rekommenderar ett tillfälligt slamstopp fr.o.m. hösten 1999), skärpta gränsvärden, deponiskatt, deponiförbud år 2005. Möjligheterna att göra något vettigt av slammet varierar stort från kommun till kommun, beroende på ekonomi, samhälls- och jordbruksstruktur, klimat och andra lokala eller regionala faktorer. Denna rapport beskriver respektive användningsområde, deras framtidsutsikter, resursanvändning, miljöeffekter, behandlingsteknik och kostnader.

För att möta kommande förändringar behöver kommunerna ha fler handlingsalternativ än jordbruksanvändning. Det finns i Sverige eller utomlands etablerade alternativ till jordbruksanvändning och deponering: tillverkning av jordersättnings- och jordförbättringsprodukter för grönytor samt energiproduktion genom förbränning. På sikt kan det även bli aktuellt med slamanvändning i det svenska skogsbruket. Det går också att utvinna koncentrerade och rena gödselprodukter ur hydrolyserat slam och ur aska – gödselprodukter som inte längre är avloppsslam och därför inte borde vara lika opinionskänsliga som slam.

Fosforgödsling av åkermark har varit det enskilt största användningsområdet under 1980- och 1990-talen. Större delen av det svenska slammet (ca 60 procent) klarar gällande kvalitetskrav för metaller och organiska ämnen. Om allt slam används i jordbruket, skulle det svenska jordbruket kunna minska sin användning av handelsfosforgödsel med en tredjedel. De ca 6 500 ton fosfor som finns i det svenska slammet räcker till att gödsla drygt 40 000 hektar varje år (1,5 % av Sveriges åkerareal) med en sjuårsgiva. Beroende på hur länge LRF:s slamstopp varar, hur slamöverenskomsten utvecklas och livsmedelsindustrins framtida hållning till slam, kommer användningen i jordbruket att minska eller öka.

Användningen i skogsbruket röner ökat intresse från skogsvårdsforskare och skogsbolag. Skogsmarken förlorar näringsämnen och baskatjoner (Ca, Mg, K) p.g.a. förurning och intensivt skogsbruk (särskilt vid helträdsutnyttjande). Torkat slam borde kunna användas för kvävekompensation och kvävegödsling av fastmark med låg bonitet i Norrland och Svealand. Aska från förbränning av slam (förbränning separat eller tillsammans med trädbränsle) kan användas för fosforkompensation och fosforgödsling på utdikade och skogbevuxna torvmarker i hela landet. Slam har här en fördel jämfört vedaska, nämligen att slam har betydligt högre fosforhalt.

Slambaserade jordersättnings- och jordförbättringsprodukter kan användas på grönytor och i olika typer av markbyggnadsprojekt. Erfarenheter från bland annat Finland talar för att det borde finnas möjligheter att öka denna användning betydligt i Sverige. Idag används 10 – 15 procent av det svenska slammet på detta sätt. Det finns drygt 400 000 hektar parkmark, golfbanor, vägsblänter m.m. som behöver underhållas, och här kan slam eller slambaserade produkter användas för att tillföra organiskt mullbildande material och näring. Slam passar även utmärkt som tät- och skyddsskikt vid täckning av tippar och täkter.

Slamförbränning förekommer än så länge bara på försök i Sverige, men intresset ökar bland kommunerna. Torkat eller avvattat slam kan brännas separat eller tillsammans med biobränslen eller avfall. Slam har ett energivärde av 20-22 MJ/kg organisk TS och är i det avseendet jämförbart med biobränslen. Förbränning av slam erbjuder en lösning på flera problem, inte minst som en metod att omhänderta slam som inte kan användas i jordbruket. Dessutom minskar slammängderna drastiskt, vilket leder till reducerade kostnader för såväl transporter som deponering. Förbränning möjliggör deponering eftersom restprodukterna i huvudsak är oorganiska och därmed inte omfattas av förbudet för deponering av organiskt avfall efter år 2005. Metoder för att rena aska eller utvinna rena fosforprodukter ur aska håller på att utvecklas, vilket borde kunna öka möjligheterna att använda aska från slamförbränning i jord- och skogsbruket.

Summary

The conditions for the handling of sewage sludge are changing constantly in Sweden: increasing demands from farmers and the food industry, decreasing limit values for the application of metals to arable land and the introduction of waste tax and a ban on landfilling of organic waste (the latter from 2005). Opportunities to make beneficial use of sludge vary a great deal from municipality to municipality, due to economics, infrastructure, climate, current sludge treatment technology etc. This report describes different outlets for sewage sludge: usage, potential, benefits and disadvantages, consumption/managing of natural resources, environmental impact, sludge treatment technology, investment and working expenses etc.

To meet future changes, the municipalities need to explore other alternatives than agricultural use or landfilling, which are the two most common outlets for sewage sludge in Sweden. There are other ways for beneficial use of sewage sludge: land reclamation, production of soil conditioners, energy recovery by incineration. In a near future, it may be possible to use sludge in silviculture and forestry. New technologies are currently being developed for the recovery of phosphorus in a concentrated form from sludge and ashes.

The use of sludge as fertiliser on arable land (incl. energy forests) has been the general beneficial use of Swedish sludge throughout the 1980's and the 1990's. The larger part of the Swedish sludge (about 60%) meets current quality requirements from the government and the farmers. About 30 – 40% of the Swedish sludge production (70,000 – 95,000 tonnes of dry matter per year) has been used in agriculture for fertilising purposes. The phosphorus content in sludge is sufficient to fertilise more than 40,000 hectares of arable land if used every seventh year, which is common practise. If the entire production of sludge—which contains approximately 6,500 tonnes of phosphorus—would be spread on arable land it could replace about one third of the Swedish use of commercial phosphorus fertilisers.

The scope of using sludge as forest vitalisers or forest fertilisers have been subject to growing attention from forest companies and scientists. Dried sludge can be spread in the form of pellets on mineral soil to compensate for nitrogen losses due to soil acidification and intensive forestry (especially when both stems and logging residuals are removed). Pellets of ash from sludge incineration, which contains phosphorus (a lot more than wood ash does) but no nitrogen may be used on forested peat land

Sludge based soil products and soil conditioners can be used on reclaimed land, parks, golf courses green areas etc (there are about 400,000 hectares of green areas in Sweden). Sludge can also be used as raw material for sealing and protective layers for final covering of landfills. 10 – 15% of the Swedish sludge production is currently used for those purposes. Experiences from other countries such as Finland indicate that there may be a great potential for a substantial increase in the use on green areas.

Incineration of sewage sludge as a way to dispose of sludge and to recover energy is a well-established practise in many countries in the EU. However, sludge incineration has not yet been applied on a full-scale basis in Sweden. Dried or de-watered sludge can be incinerated separately or together with biofuels or household waste. Sludge incineration requires a suitable furnace equipped with advanced flue gas cleaning according to EC directives on waste incineration. The heat value is about 20-22 MJ/kg VSS, which is comparable to the heat value of wood fuels. Incineration greatly reduces the sludge amounts, leaving a residue of ash. Costs and environmental effects related to the transportation of sludge are reduced. Methods to recover phosphorus from ash are being developed. In a nearby future, it may be possible to use the phosphorus content of the ash as fertiliser in forestry and agriculture.

Förord

Lagstiftning och andra förutsättningar för kommunernas hantering av slam från avloppsvattenrening är under ständig förändring: skärpta gränsvärden, deponiskatt, deponeringsförbud etc. För att möta dessa förändringar behöver kommunerna planera för fler handlingsalternativ för sin slamhantering.

Denna rapport är tänkt att vara en hjälp för kommunerna i sitt val mellan olika användningsområden för slam: gödsling, jordförbättring, jordtillverkning, energiutvinning. Rapporten tar upp de olika användningsområdenas användningspotential, resursanvändning, miljöeffekter, kostnader m.m. De kostnader som redovisas ska endast ses som en indikation, eftersom de markant påverkas av lokala förhållanden, ränteläge, avskrivningstider m.m.

I rapporten redovisas förutom användningsmöjligheter för avloppsslam även en del av de slambehandlingsmetoder som behövs för att slammet ska kunna användas på respektive sätt. För att i det enskilda fallet kunna avgöra vilken slambehandling och slamanvändning som är mest fördelaktig från teknisk, ekonomisk och resurshushållningssynpunkt måste de olika alternativen utvärderas utifrån lokala förutsättningar. De användningsmöjligheter som beskrivs i denna rapport kan utgöra ett steg på vägen vid utformning av olika alternativ.

Projektledare och huvudförfattare är Henrik Tideström, VAI VA-Projekt AB. Olika medarbetare på VA-PROJEKT har deltagit som författare av olika delavsnitt: Katarina Starberg (förbränning, torkning), Per-Axel Camper (vassbäddar) och Peter Ek (kompostering). Avsnittet om slam som jordförbättringsmedel och jordtillverkning har i huvudsak skrivits av Thord Ohlsson, Edafos AB.

Hans Augustinsson (Hushållningssällskapet i Östergötlands län), Jan Eksvärd (LRF), Mats Grinell (ODAL), Kersti Linderholm (Silvbergs Miljöteknik) och Ola Palm (JTI) från Nationella samrådsgruppen för slamanvändningen i jordbruket samt Tord Magnusson, Skogshögskolan (SLU) i Umeå och Peter Balmér, GRYAAB, har bidragit med värdefulla faktauppgifter och synpunkter på rapporten.

Stockholm februari 2000

Henrik Tideström

Innehåll

Sammanfattning	III
Summary.....	IV
Förord	V
1. Slamanvändning på 1990-talet.....	1
2. Ändrade förutsättningar för slamhanteringen år 2000 - 2005.....	4
3. Gödsling.....	6
Jordbruk	6
Skogsbruk	15
4. Jordförbättring och jordtillverkning	22
5. Energiutvinning	28
Förbränning av slam.....	28
Rötning.....	34
6. Några aktuella slambehandlingsmetoder	36
Torkning och pelletering	36
Vassbäddar	37
Kompostering.....	38
Inarbetning	40
Hydrolys och fraktionering i olika produkter.....	42
7. Sammanfattande bedömning	44
Gödsling.....	45
Jordförbättring och jordtillverkning	47
Energiutvinning.....	48
Kostnader för olika användningsmöjligheter	50
8. Referenser	53

1. Slamanvändning på 1990-talet

De svenska kommunala avloppsreningsverken producerar drygt en miljon m³ avloppsslam per år, vilket är ca 240 000 ton räknat som torrsbstans (TS). Slammet innehåller totalt ca 6 500 ton fosfor och 9 000 ton kväve varje år vid de svenska avloppsreningsverken. Fosfor är ett livsnödigt ämne och en ändlig resurs. Avloppsslam är det organiska tätortsavfall som innehåller mest fosfor. Andra fosforrika organiska avfall är stallgödsel (20 000 ton fosfor per år), avfall från livsmedelsindustrin (3 000 ton fosfor per år) och hushållsavfall (1 000 ton fosfor per år).

Slammets innehåll av fosfor och andra växtnäringssämnen gör att det kan användas som gödsel i jord- och skogsbruk. Dessutom innehåller slam organiskt material, ca 150 000 ton per år, som kan utnyttjas för jordförbättring, energiutvinning, tillverkning av jord och byggnadsmaterial m.m.

Nedan visas en översikt över olika användningsmöjligheter som i huvudsak kan vara aktuella för avloppsslam.

Användningsmöjligheter för avloppsslam

☐ Gödsling av jordbruks- och skogsmark

- Konventionellt behandlat slam (våt slam, avvattat)
- Torkat och pelleterat slam
- Koncentrerade gödselprodukter ur hydrolyserat slam
- Slam från vassbäddar
- Aska

☐ Jordförbättring och jordtillverkning

(grönytor, väglänter, återställning av avfallsdeponier och förorenad mark)

- Konventionellt behandlat slam
- Komposterat slam
- Slam från vassbäddar

☐ Energiutvinning

- Biogas (rötning)
- Förbränning
 - Konventionellt behandlat slam
 - Torkat och pelleterat slam
 - Slam från vassbäddar
 - Organisk slamfraktion efter hydrolys

☐ Övrigt (byggnadsmaterial, kolkälla till kväverening m.m.)

I de flesta länder inom EU deponeras större delen av slammet. Alla EU-länder använder dock en del av slammet i jordbruket (10 – 60 procent år 1992), och det är just jordbruksanvändningen som är det enskilt största användningsområdet inom EU. Beroende på hur slamöverenskommelsen mellan VAV, LRF och Naturvårdsverket utvecklas och livsmedelsindustrins hållning till slam, kommer den svenska användningen i jordbruket att öka eller minska.

I Norden har Danmark hittills varit bäst på att nyttiggöra slammet, medan Sverige har varit sämst. Andelen slam som används för olika ändamål i Sverige, Danmark och inom EU som helhet framgår av nedanstående tabell.

Tabell 1. Användningsområden och kvittblivningsmetoder för slam i Europa

Användningsområde/ Kvittblivningsmetod	Sverige (1995)	Danmark (1995) <i>procent</i>	EU (1992)
Jordbruk	30	68	36
Mellanlager	16	-	-
Avfallsdeponi	39	9	41
Förbränning	-	23	11
Dumpning till havs	0	0	5
Övrigt, ospecificerat (markbyggnad, grönytor etc.)	15	0	6

Källor: SCB 1997, danska Miljöstyrelsen (muntligt 1996) samt Höök et al.

Att använda slammets fosfor i jord- och skogsbruk som ersättning för mineralfosfor i form av handelsgödsel är det som är bäst från miljö- och resurshushållningssynpunkt. Mineralfosfor är en begränsad naturresurs, som det är helt nödvändigt att spara på från uthållighetssynpunkt. Om slam används som gödsel minskar också den totala miljöbelastningen från samhället. Närsalterna i slammet tas till vara av jordbruksgrödorna och träden i stället för att läcka ut i miljön och orsaka eutrofiering (övergödning) av vattenmiljön eller andra miljöstörningar.

Nästan allt slam behandlas för att minska volymen, reducera halten smittämnen (hygiensiering), minska risken för luktolägenheter (stabilisering) och för att underlätta den fortsatta hanteringen. Den vanligaste stabiliseringsmetoden är rötning. Omkring 70 procent av det svenska slammet rötas. Andra stabiliseringsmetoder som används i Sverige är kalkstabilisering (15 procent av slammet), kompostering (6 procent) och aerob stabilisering (3 procent). Endast några procent av slammet är helt obehandlat. Siffrorna inom parentes är osäkra, eftersom statistiken är från början av 1990-talet och således har några år på nacken. Ny statistik kommer att tas fram av SCB och Naturvårdsverket under vintern år 2000.

Beroende på vad slammet ska användas till, de tekniska och ekonomiska förutsättningarna vid den aktuella avloppsanläggningen, infrastruktur m.m. vidarebehandlas slammet efter stabiliseringen på olika sätt:

- Enbart förtjockning. Detta alternativ är framför allt aktuellt vid gödsling av åkermark med våtslam, om transportavståndet till jordbruket är kort.
- Avvattning i centrifuger, silbandspressar eller vassbäddar.
- Torkning och pelletering eller granulering, som förbehandling före gödsling, skogsmarksvitalisering, förbränning eller deponering. När det gäller gödsling av åkermark är detta alternativ särskilt intressant när det är långa transportavstånd till jordbruket, till exempel i Norrland.
- Termisk hydrolys med eller utan efterföljande utvinning av fosfater eller struvit (magnesiumammoniumfosfat). Tekniken, som kan användas såväl före som efter stabilisering, är framför allt intressant för större avloppsreningsverk och för regionala anläggningar.

- Förbränning. Här utvinns energi ur slammets organiska beståndsdelar. Askan kan utnyttjas i skogsbruket. Under vissa förutsättningar torde aska från slamförbränning även kunna användas i jordbruket.
- Trots att slam har använts i jordbruket i flera decennier med gott resultat, och utan några kända negativa effekter på livsmedlens kvalitet eller på människors hälsa är användningen av slam i jordbruket omtvistad. Troligen kommer jordbruksanvändningen att vara relativt osäker även i framtiden, genom att den är opinionskänslig. Debatten om bromerade flamskyddsmedel hösten 1999 fick LRF att rekommendera sina medlemmar ett tillfälligt stopp för användningen av slam. Detta visar att kommunerna bör planera för flera handlingsalternativ när det gäller slamanvändning än enbart jordbruksanvändning.

2. Ändrade förutsättningar för slamhanteringen år 2000 - 2005

Förutsättningarna för kommunernas slamhantering förändras under åren 2000 - 2005 genom ändrad lagstiftning och ändrade branschöverenskommelser. En del kommuner kommer att få det svårare att få avsättning för sitt slam i jordbruket, andra kan få det lättare. Oavsett om slammet används i jordbruket eller inte, kommer den framtida slamhanteringen i många fall att bli dyrare.

Livsmedelsindustrins slampolicy

I mars 1998 antog livsmedelsindustrin, genom sitt branschförbund LI, en ny gemensam policy om användningen av slam i jordbruket. Om branschen håller fast vid den nya policyn och om den tillämpas i praktiken, kommer det att bli möjligt att använda slam även för gödsling av brödsäd, fodersäd och oljeväxter, vilket stora delar av livsmedelsindustrin inte har accepterat tidigare. Dock kommer slam även fortsättningsvis inte att få användas på mjölkgårdar eller där det odlas bete, valar eller rotfrukter för direktutfodring av nötkreatur (det senare gäller även enligt gällande föreskrifter från Naturvårdsverket). Policyn innebär att industrin accepterar den slamöverenskommelse som undertecknades av VAV, LRF och Naturvårdsverket i maj 1994, men med vissa ytterligare krav. De flesta av LI:s krav sammanfaller i stort med gällande lagstiftning och slamöverenskommelsen. Några går längre, nämligen:

- Slam från avloppsreningsverk över 20 000 pe (personekvivalenter) produktcertifieras, genom s.k. P-märkning.
- Slamhanteringen ska vara hygieniskt säker .
- Avloppsreningsverken ska intensifiera sina ansträngningar att få bort lakvatten från soptippar samt dagvatten från industritomter och hårt belastade trafikleder eller trafikplatser.
- Ökade krav på jordbrukare och avloppsreningsverk när det gäller dokumentation över var slammet används och för vilka grödor.

Skärpta gränsvärden för slamgödsling av åkermark

Från och med den första januari år 2000 gäller skärpta gränsvärden för tillförsel av metaller till åkermark via slamgödsling. I genomsnitt halveras gränsvärdena jämfört med tidigare. Detta innebär också att det indirekt blir hårdare krav på slamkvaliteten.

Deponiskatt (avfallsskatt)

Från och med den 1 januari år 2000 ska den som driver en avfallsanläggning betala skatt på avfall som antingen förs in till anläggningen eller uppkommer inom anläggningen. Det senare gäller anläggningar där det "huvudsakligen bedrivs annan verksamhet än avfallshantering". Skatten är på 250 kronor per ton, och betalas för avfall som slutligt förvaras (deponeras) eller förvaras längre än tre år.

Undantaget från skatteplikten är för avfall som inom en anläggning behandlas genom kompostering, eller reaktorbaserad rötning eller förbränning, eller avfall som användas för tillverkning av fast lagringsbart bränsle (t.ex. torkning och pelletering av slam). För rester som uppstår efter genomförd

behandling, men inte det fullvärdiga materialet som uppstår efter behandlingen, ska dock skatt betalas när det uppkommer inom en skattepliktig anläggning. Exempel på rester är sten och metallföremål som sållas bort från komposter eller aska från förbränning. Huvudmannen för avfallsanläggningen får göra vissa avdrag i deklarationen, bland annat för konstruktionsarbeten eller åtgärder för att på anläggningen åstadkomma en miljösäker deponering eller förvaring (t.ex. topptätning och växtetablering på en avfallsdeponi). Riksskatteverket ger ut föreskrifter och rekommendationer om hur avfallsskatten ska tillämpas.

Deponiförbud

Från och med den 1 januari 2005 är det förbjudet att deponera slam och annat organiskt avfall. Det kommer att finnas vissa möjligheter till undantag. Hur förbudet och dispenser ska tillämpas kommer att specificeras av Naturvårdsverket i form av generella föreskrifter.

Ökat intresse hos fosfatindustrin för fosfor i slam och avfall

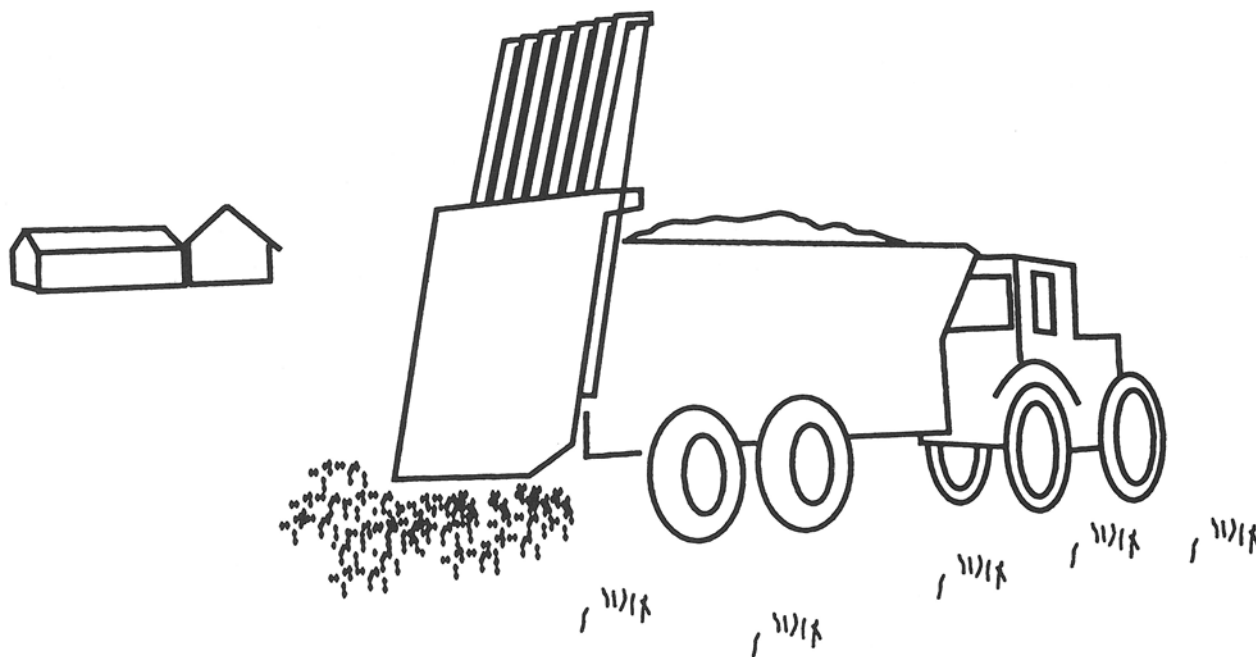
Den europeiska fosfatindustrin, under ledning av branschorganisationen CEEP (Centre Européen d'Etudes des Polyphosphates – en sammanslutning av europeiska producenter av handelsgödsel och fosfattillsatser i tvättmedel, livsmedel och foder) är intresserade av att aktivt arbeta tillsammans med VA-branschen, bönder m.fl. för att utvinna och utnyttja fosfor ur slam och annat organiskt avfall. Anledningen till det ökade intresset från fosfatindustrins sida är att de renaste tillgångarna på mineralfosfor minskar i allt snabbare takt. Fosfor i slam och annat organiskt avfall är ofta mindre förorenad av kadmium än vad de brytvärda fosformineralen är. Slam från kemisk fällning med järn eller aluminium passar dock inte fosfatindustrins nuvarande tillverkningsprocesser, utan man säger sig först och främst vara intresserat av slam från biologisk fosforrening, kalkfälld fosfor, eller fosfor utfällt som struvit.

3. Gödsling

Slam är rikt på näringsämnen, framför allt makronäringsämnen såsom fosfor, kväve och svavel, men också en hel del viktiga mikronäringsämnen (koppar, zink m.m.). Dessutom innehåller det organiskt mullbildande material, som förbättrar markstrukturen och stimulerar mikrolivet i marken. Dessa egenskaper gör att slam lämpar sig väl som gödsel- och jordförbättringsmedel i jord- och skogsbruket. Innehållet av kalium är däremot alltför lågt för att slammet ska ha någon större betydelse som kaliumgödselmedel.

Kalkbehandlat slam och aska från samförbränning av slam och trädbränslen eller från enbart slamförbränning innehåller också en hel del baskatjoner, framför allt kalcium och magnesium. Tillförsel av baskatjoner ökar markens motståndskraft mot försurning, vilket är positivt både för åkermarken och för skogsmarken. Obehandlat, avvattnat och torkat slam som inte har kalkbehandlats har betydligt lägre neutralisationsförmåga än kalkat slam.

Jordbruk



Jordbruket behöver en långsiktigt tryggad försörjning av växtnäring. Näringen behövs för att öka tillväxten hos de grödor som odlas och för att kompensera för förluster via skörd, bete, fastläggning i mark och läckage till luft och vatten. Det specialiserade jordbruket, med regional obalans i stallgödselhanteringen, har gjort att mullhalten i åkermarken på växtodlingsgårdar har minskat under åren. På enskilda växtodlingsgårdar, särskilt gårdar med lätta mullfattiga jordar, kan slammet därför ge ett värdefullt tillskott av organiskt mullbildande material.

LRF:s mål är att huvuddelen av växtnäringen som lämnar jordbruket via livsmedlen ska återföras till jordbruket inom 25 år, med ett minimum av föroreningar. Naturvårdsverket har satt upp liknande mål. Det mesta av den fosfor, 6 000 – 7 000 av drygt 10 000 ton per år; som lämnar jordbruket hamnar i avloppsreningsverkens slam.

Det svenska jordbruket är framför allt intresserat av fosfor i slammet, men även i viss utsträckning av kvävet och mikronäringsämnen. Avloppsslam är ett långsamverkande organiskt gödselmedel med goda gödselegenskaper, som liknar stallgödseln. Slamfosfors växttillgänglighet under en växtföljd är ungefär densamma som för fosfor i stallgödsel.

Eftersom avloppsslam är långsamverkande brukar man "förrådsgödsla" med fosfor. Man lägger på så mycket slam att fosfor räcker i flera år, normalt fem till sju år beroende på växtföljd. En sjuårsgiva med avseende på fosfor tillför teoretiskt sett tillräckligt med kväve för att täcka växternas kvävebehov i ungefär ett år. Men eftersom endast en fjärdedel av kvävet i rötat slam föreligger som direkt växttillgängligt ammonium, kan det ta några år innan slammets kväve har utnyttjats fullt ut av växterna.

Halten mikronäringsämnen är högre i slam än i stallgödsel och handelsgödsel, och en sjuårsgiva räcker betydligt längre än sju år när det gäller att täcka grödornas behov av mikronäringsämnen. Upprepad gödsling innebär därför en långsam ackumulering av nyttiga och onyttiga metaller i marken. För att säkerställa att gödslingen inte orsakar negativa effekter på mycket lång sikt (många hundra år), är det viktigt att fortsätta att arbeta för att slamkvaliteten förbättras. Även kvaliteten på handels- och stallgödsel, som också ökar matjordens metallhalt, behöver förbättras och arbete med detta pågår.

Användningspotential

Jordbruket använder omkring 20 000 ton fosfor per år i form av handelsgödsel; omkring 20 000 ton återförs årligen i form av stallgödsel, ca 2 500 ton i form av slam och ca 3 000 ton via andra organiska avfallsprodukter. Den fosfor som avskiljs i reningsverken skulle kunna ersätta en tredjedel av handelsgödsel, om allt slam kunde användas i jordbruket.

Den svenska jordbruksarealen uppgår till knappt tre miljoner hektar. En del av marken ligger i träda, men den största delen används för odling av livsmedel, djurfoder och energigrödor, eller för bete. Omkring 90 procent av åkermarken klarar Naturvårdsverkets gränsvärden för att få gödslas med slam. Andelen åkerareal som är tillgänglig för slamgödsling är dock mindre, eftersom EG:s regler och svenska föreskrifter inte tillåter slam i ekologisk odling, på betesmark och på träda. Dessutom bortfaller åkermark med hög halt lättillgängligt fosfor, framförallt mark i fosforklass V ($>16 \text{ mg P-AL}/100 \text{ gram lufttorr jord}$), som inte behöver fosforgödslas. Slam används inte heller på åkrar där det odlas vallfoder för mjölkkor, eller på betesvall (här finns tillräckligt med djurgödsel). Härigenom begränsas den åkerareal som är tillgänglig för slamgödsling till mellan 30 och 60 procent av åkerarealen (beräkningarna baseras på åkerarealens användning 1995), det vill säga mellan 0,8 och 1,7 miljoner hektar.

Om 90 procent av slammet används i jordbruket, vilket är Naturvårdsverkets mål för 2010, och om slammet läggs ut som en sjuårsgiva kan maximalt ca 40 000 hektar gödslas varje år, vilket är ca 1,5 procent av den totala åkerarealen. Åren 1993 – 1998 användes 25 – 40 procent i jordbruket. Samtidigt klarade drygt 60 procent då gällande gräns- och riktvärden för slamgödsling. Preliminära data från SCB indikerar att andelen slam som klarar alla krav år 1998 också var 60 procent, trots att begränsningsvärdena för flera ämnen halverades från och med detta år. När det gäller de slam som inte klarade kraven, var det framför allt kopparhalten som oftast (i ca 10 procent av fallen) överskred gränsvärdet. Flera kommuner har därför börjat avhärda, eller planerar att avhärda, sitt dricksvatten så att det blir mindre korrosivt mot kopparledningar.

Erfarenheter i Sverige och utomlands

Det enskilt största användningsområdet för slam i Sverige, liksom i övriga nordiska länder och de flesta andra europeiska länder, är som gödselmedel i jordbruket. Ett undantag är Nederländerna där successivt skärpta regler har medfört att användningen av slam från kommunala avloppsreningsverk näst intill upphört under andra halvan av 1990-talet.

Slam har använts i Europa och Nordamerika under flera decennier med goda tillväxteffekter och utan negativa miljöeffekter i de fall som man har följt gällande regler. Jordbruksanvändningen började i Tyskland redan på 1920-talet; i Sverige på 1950-talet. Det svenska avloppsslammet används i första hand som ett fosforgödselmedel, som ersättning för handelsgödsel. I övriga Europa och i Nordamerika, där kemisk fällning ännu inte är lika vanligt som i Sverige, ser man ofta slam som ett kvävegödselmedel. I Norge använder jordbrukarna slam inte bara för att tillföra växtnäring, utan också som jordförbättringsmedel för att höja mullhalten i åkerjorden. Det organiska materialet i slam kan utnyttjas för att höja mullhalten i mullfattiga åkrar, men enligt LRF är svenska jordbrukare i allmänhet inte intresserade av att använda slam enbart för att höja mullhalten.

Intresset för samarbete mellan avloppsreningsverk, jordbrukare, livsmedelsproducenter och livsmedelshandel har ökat i Europa. I Storbritannien har avloppsreningsverken och de ledande livsmedelskedjorna utarbetat gemensamma rekommendationer för slamanvändningen i jordbruket: "The Safe Sludge Matrix". Syftet med rekommendationerna är detsamma som syftet med den svenska slamöverenskommelsen, det vill säga att skapa förtroende för slamanvändningen, garantera livsmedlens kvalitet och minska riskerna med slamanvändningen. Även Storbritanniens motsvarighet till Naturvårdsverket samt ministeriet för jordbruk, fiske och livsmedel, den brittiska motsvarigheten till LRF, markägarorganisationer och livsmedelsindustrier har deltagit i arbetet. Rekommendationerna trädde ikraft den sista december 1998. Slam ska även fortsättningsvis få användas i jordbruket, men användningen av obehandlat slam ska ha upphört i slutet av 1999. Endast "advanced treated sludges" – det vill säga slam där eventuella sjukdomsframkallande organismer praktiskt taget har eliminerats – får användas vid gödsling av frukter och i trädgårdsodling. I det europeiska standardiseringsarbetet inom CEN tar man fram "guidelines" (motsvarar svenska allmänna råd) för slamhanteringen, där man betonar vikten av att samarbeta med och förankra slamanvändningen hos jordbrukare och livsmedelsindustri.

Resursanvändning och resurshushållning

Användning av avloppsslam i stället för handelsgödsel i jordbruket innebär att man sparar på den ändliga resursen fosfor. Den allra största delen av den fosformineral som bryts används för produktion av handelsgödsel. De fosformineraltillgångar som idag anses brytvärda från teknisk, miljömässig och ekonomisk synpunkt räcker i storleksordningen 200 år, med dagens förbrukning. De renaste tillgångarna, som framför allt efterfrågas av Sverige, Finland och Österrike, räcker i betydligt kortare tid. Om hela världens jordbruksländer skulle efterfråga lågkadmiumgödsel skulle de renaste tillgångarna (<50 mg kadmium/kg totalfosfor) räcka i högst ett par decennier.

Genom att ersätta handelsgödsel med slam minskas användningen av den ändliga resursen fosfor. Om allt slam i Sverige hade sådan kvalitet att det kan användas i jordbruket, skulle det kunna ersätta upp till en tredjedel av dagens svenska förbrukning av handelsgödsel-fosfor. Genom att använda slam minskar man också förbrukningen av handelsgödselkväve, vilket är önskvärt från energisynpunkt men inte absolut nödvändigt från uthållighetssynpunkt. Mängden kväve i slam motsvarar ca 5 procent av den mängd handelsgödselkväve som årligen används i Sverige.

Användningen av slam kräver dock fler transporter och tyngre spridarutrustning och förbrukar därmed mer drivmedel än vad spridning av samma mängd näring med handelsgödsel gör.

Miljöpåverkan och smittskyddsfrågor

Såväl kortsiktiga som långsiktiga miljö- och hälsoeffekter av slamgödsling har utretts. SLU, Institutet för Miljömedicin (IMM), Livsmedelsverket, Naturvårdsverket, Arla, Jordbrukstekniska institutet m.fl. har visat att rätt utförd slamgödsling inte orsakar kända negativa effekter på livsmedlens kvalitet eller på människors eller djurs hälsa. Ökat upptag av hälsofarliga ämnen i odlade grödor som följd av slamgödsling har inte kunnat påvisas.

I likhet med annan gödsling, påverkar slamgödsling miljön på olika sätt. Gödsling med våtslam, avvattnat slam eller torkat slam ger i princip samma typ av miljöpåverkan, som gödsling med andra gödselmedel: näringsläckage till luft och vatten, ackumulation av metaller i marken, markpackning samt spridning av smittämnen, hormoner och svårnedbrytbara organiska ämnen (det senare gäller dock inte handelsgödsel). En skillnad är att slam generellt sett innehåller mer metaller än stallgödsel och den handelsgödsel som för närvarande används i Sverige. Vid en alltför snabb ökning av metallhalten i åkermarken (mer är 2 – 10 gånger den naturliga bakgrundshalten, beroende på metall) finns det en risk för negativa effekter på markorganismerna. De svenska gränsvärdena, som sammantaget är strängast i världen, minimerar dock denna risk.

Våtslam och avvattnat rötslam kan, liksom övriga organiska gödselmedel, innehålla smittämnen som kan spridas till djur och människor, om gödselmedlen inte hanteras på rätt sätt. Vid användning av torkat slam, eller andra långtgående hygieniserade slamprodukter föreligger ingen sådan risk. Det är inte känt att människor eller djur har blivit sjuka på grund av gödsling med kommunalt avloppsslam i Sverige. Risken för smittspridning vid slamgödsling är sannolikt mycket liten, men kan inte helt uteslutas. Smittspridningsriskerna studeras av Smittskyddsinstitutet och Sveriges Veterinärmedicinska anstalt.

Enligt de beräkningar som har gjorts av IMM, Umeå universitet och Arla Forskning & Utveckling innebär användningen av svenskt slam i jordbruket inte någon risk för människor att exponeras för organiska och svårnedbrytbara ämnen, om slamreglerna följs. De organiska ämnena, som även tillförs via nedfall och stallgödsel, binds mycket hårt i marken. Där bryts de ned eller åldras och undandras därmed från det biologiska livet och från att föras vidare i miljön. Ämnena är inte vattenlösliga och upptaget via grödornas rötter är mycket litet, om ens något. Fettlösliga ämnen kan dock adsorberas till skalet på morötter och andra rotfrukter med fetthaltiga skal.

Fosfor som utvunnits ur hydrolyserat slam har mycket låg halt av organiska ämnen.

Jämfört med fosforgödsling med handelsgödsel har slamanvändningen en rad fördelar från såväl miljö- som resurshushållningssynpunkt. Genom att ersätta en del av handelsgödseln med slam, minskar den sammanlagda miljöbelastningen från VA-verksamheten och jordbruket. Detta beror på en rad direkta och indirekta faktorer: minskad import av nytt kadmium till Sverige via handelsgödsel, minskad gruvdrift genom ökad återanvändning av fosfor, minskad deponering av näringsämnen m.m. Minskad deponering av slam och andra näringsrika restprodukter ger minskar växtnärläckaget till vatten och luft. Ökad användning av organiska gödselmedel, såsom slam, minskar även utarmningen av markens humushalt (viktigt på gårdar med ensidig växtodling), samtidigt som det biologiska livet i marken stimuleras och rörligheten för metaller i mark minskas.

Lagstiftning och kvalitetssäkring

Slamhanteringen i jordbruket regleras av miljöbalken, dess förordningar samt av föreskrifter och rekommendationer (allmänna råd m.m.) från Naturvårdsverket, Jordbruksverket och i vissa fall av kommunerna.

Slambehandling och lagring av slam kräver anmälan eller tillstånd enligt miljöbalken, bland annat beroende på mängden slam, lagringstidens längd m.m. Däremot är själva slamspridning inte förprovningsskyldig enligt miljöbalken. Miljönämnden (eller motsvarande) kan dock i enskilda fall meddela råd eller förelägganden, om det behövs från miljö- eller hälsoskyddssynpunkt. Kommunfullmäktige kan också meddela föreskrifter om användning av slam, liksom av naturligt gödsel eller annan orenlighet, inom eller intill detaljplanlagt område. Detta gäller dock endast om det behövs av hygieniska skäl (förhindra "olägenheter för människors hälsa").

Utöver lagstiftningen gäller slamöverenskommelsen mellan VAV, LRF och Naturvårdsverket. Dessutom ställer livsmedelsindustrierna krav på de jordbrukare som levererar råvaror till livsmedelsindustrin och på de reningsverk som levererar slam till jordbrukarna.

För att man ska vara säker på att en jordbrukare ska vilja ta emot slam bör fosforhalten vara begränsande för givan, inte metallhalten. Efter skärpningen år 2000 av Naturvårdsverkets gränsvärden för tillförsel av metaller, räcker det därför inte att slammet klarar lagstadgade gränsvärden för metallhalt enligt förordningen SFS 1998:944. Detta gäller särskilt halten bly och kadmium, som behöver vara mycket lägre; högst 35 respektive 1 mg/kg TS för att fosforgivan inte ska bli för liten (gäller ett genomsnittslam med en fosforhalt på 2,8 procent av TS och vid en normal fosforgiva på 20 kg per hektar och år).

Den övervägande delen (ca 60 procent år 1998) av slammet klarar gällande kvalitetskrav. Det förebyggande arbete som pågår bland kommuner, myndigheter och inom EU, minskade industriutsläpp, minskad användning av de värsta kemikalierna etc. har gjort att slammets kvalitet ständigt förbättras. Metallhalten (utom koppar) har minskat med 2 – 4 procent per år mellan åren 1987 och 1995. I samband med Naturvårdsverkets utvärdering av slamöverenskommelsen 1996 uppskattade verket att drygt hälften av slammet skall kunna användas i jordbruket efter skärpningen av tillförselgränsvärdena år 2000. Prognosen förutsatte att den pågående kvalitetsförbättringen fortsätter i oförminskad takt.

Eftersom det sker en liten ackumulering av metaller i marken vid gödsling, är det viktigt att fortsätta arbetet för att förbättra slamkvaliteten. Den övergripande strategin för detta har beskrivits i Naturvårdsverkets, VAV:s och LRF:s gemensamma rapport om slamöverenskommelsen (Naturvårdsverket Rapport 4418). Avsikten är att strategin ska preciseras ytterligare i en ny överenskommelse.

Många kommuner inför miljöledningssystem eller P-märker slammet. Båda åtgärderna bygger på att kommunerna lägger fast en miljö- eller kvalitetspolicy och utarbetar en miljö- eller kvalitetshandbok. Alla som certifieras enligt dessa system ska lägga upp en strategi för "ständiga förbättringar". För avloppsreningsverk ingår att planera för och vidta åtgärder så att slammets kvalitet förbättras, även om man klarar alla lagstadgade krav.

De svenska slamreglerna bygger på ett direktiv från EG. Inom Kommissionen pågår en översyn av direktivet. Enligt ett förslag från oktober 1999 kommer kraven att skärpas på en rad punkter, även jämfört med dagens svenska regler. Bland annat föreslås att användningen av obehandlat slam förbjuds (undantag för direkt injektering/nedmyllning av slam från trekammarbrunnar) och att bindande gränsvärden införs för organiska ämnen (här föreslås fler ämnen än vad som ingår i den svenska slamöverenskommelsen, bland annat dioxiner).

Kostnader för investering och drift

Kostnaderna för användning av slam i jordbruket varierar stort, beroende på reningsverkets storlek, slambehandlingsteknik, slamkvalitet, tillgång på och avstånd till jordbruk, jordbruksstruktur etc. Här ska ges ett räkneexempel som visar storleksordningen på kostnaderna vid användning i jordbruket. Alla kostnader redovisas exklusive moms. Kostnader för olika typer av slambehandling redovisas under respektive rubrik i kapitel 6 "Några aktuella slambehandlingsmetoder".

Räkneexemplet bygger på en tänkt kommun som har ett centralt avloppsreningsverk med en anslutning på 20 000 pe (personequivivalenter). Slammet röts och den producerade mängden rötslam är omkring 550 ton TS per år. Efter rötning och avvattning lagras slammet i ett slamlager vid reningsverket. Ett slamlager behövs för att man ska kunna kontrollera slammets kvalitet innan det levereras till jordbruket, och för att invänta lämplig leveranstidpunkt. Den lagringskapacitet som behövs beror på jordbrukarnas möjligheter att själva mellanlagra slammet i väntan på lämplig tidpunkt för spridningen. För enkelhetens skull räknar vi med tolv månaders lagring. Kvaliteten på slammet kontrolleras enligt Naturvårdsverkets slamkatalogering och analyseras därför två gånger per år av ett externt analyslaboratorium. I exemplet ingår också VA-verkets kostnader för lokalt samråd enligt slamöverenskommelsen, med två möten per år ledda av en fristående ordförande, som betalas av VA-verket. Efter denna kvalitetssäkring transporteras slammet och hela mängden sprids varje år på hösten. För detta krävs 110 hektar åkermark (motsvarar ungefär fyra "genomsnittsjordbruk"), om varje skifte slamgödslas med en sjuårsgiva vart sjunde år. Slammet transporteras inte av kommunen självt, utan av en entreprenör. Det totala transportavståndet mellan reningsverket och jordbruken är i genomsnitt ca 30 km.

Under dessa förutsättningar blir kostnaden för avvattning, lagring, kvalitetssäkring, administration och transport av avvattnat slam i storleksordningen 170 kronor per m³. För avvattnat slam motsvarar detta ca 650 kronor per ton TS (se även tabell 2 nedan), eller ca 25 kronor per kg fosfor. Den dyraste posten är investeringen i lagringsutrymme för slam, som är ca 2 miljoner kronor för ett slamlager med kapaciteten 2 200 m³ avvattnat slam. Lagringskostnaden per kg slam-TS är ca 230 kronor (kostnaden baseras på 33 års avskrivning och 5 procents realränta). Om slammet levereras till jordbrukare som har möjlighet att mellanlagra slammet på den egna marken, till exempel på en avställd gödselplatta eller i en flytgödselbrunn, räcker det med betydligt mindre lagringskapacitet. Lägre lagringskapacitet än sex månaders slamproduktion kräver dock utökad analysfrekvens. Genom tre månaders lagring i stället för tolv månaders lagring kan totalkostnaden minskas med ca 150 kronor per ton TS. Den näst största posten är transportkostnaden, som är ca 40 kr/m³, eller ca 160 kronor per ton TS för avvattnat slam och ca 60 kronor per ton TS för torkat slam.

Om slammet ska P-märkas tillkommer en anmälningsavgift på 20 000 kronor plus en årlig kostnad på 20 000 kronor. Kostnaden per ton TS är ca 45 kronor.

Användning av våtslam i stället för avvattnat slam i jordbruket ökar lagrings- och transportkostnaderna; tillsammans i storleksordningen 1 500 kronor per ton TS (gäller vid lagring hos reningsverket i ett år och transportavståndet 30 km). Om den aktuella jordbrukaren har en avställd flytgödselbrunn, som kan användas för mellanlagring av slammet minskar eller bortfaller reningsverkets lagringskostnader, ca 500 kronor per ton, beroende på vilket avtal som tecknas med jordbrukaren. Kvalitetskontrollen kan då ske ute hos den enskilde jordbrukaren. För reningsverk med kväverening avgår också kostnaderna för att ta bort kvävet ur rejektvatten från avvattning, vilket minskar de totala kostnaderna för avloppsvattenbehandlingen. Kostnadsjämförelser som har gjorts i enskilda fall, visar att våtslamgödsling kan vara ekonomiskt intressant för mindre avloppsreningsverk i jordbruksbygd, där åkermarken ligger 5 – 8 km från reningsverket. Jämförelserna bygger på att reningsverket inte behöver transportera slammet till ett större reningsverk för avvattning.

Kostnaderna för lagring och transport av torkat och pelleterat slam och av hydrolyserat slam är lägre än för konventionellt behandlat slam. De totala kostnaderna blir ändå högre på grund av ökade behandlingskostnader, vilket framgår av exemplen i nedanstående tabell. Vid mycket långa transportavstånd närmar sig dock kostnaderna för de olika alternativen varandra. Värdena i tabell 2 bygger på att slammet är rötat och att det lagras på konventionellt sätt på asfalterad slamplatta med stödmurar. Volymvikten hos torkat och pelleterat slam är 0,6 – 0,8 ton per m³ (i exemplet nedan antas en volymvikt på 0,7); volymvikten hos avvattnat hydrolyserat slam och avvattnat konventionellt slam är ca 1 ton per m³. TS-halten är 95, 40 respektive 25 procent. Lagringstiden, och därmed kostnaderna, för torkat slam kan sänkas om produkten lagras i storsäck på ca 1 ton slam. Den kortaste lagringstid som då krävs är lika med intervallet mellan slamanalyserna + en månad för inväntan av analysvar.

Tabell 2. Kostnader för slambehandling, lagring, kvalitetssäkring och transport, kronor per ton TS

<i>Kostnadsposter</i>	<i>Konventionellt slam</i>		<i>Hydrolyserat slam</i>	
	<i>Avvattning</i>	<i>Avvattning + torkning</i>	<i>Hydrolys + avvattning</i>	<i>Hydrolys, avvattning + torkning</i>
Slambehandling, exkl. rötning (se kapitel 6)	160	1160	2 000	3 000
Lagring	230	80	180	80
Kvalitetssäkring och administration	130	130	130	130
Transport (30 km)	160	60	100	60
<i>Summa</i>	<i>680</i>	<i>1 430</i>	<i>2 410</i>	<i>3 270</i>

Slambehandlingskostnaderna i de två högra kolumnerna gäller för en befintlig biogasanläggning som kompletterats med hydrolys. Slutsumman i dessa kolumner bygger på att hela mängden hydrolyserat slam används direkt för gödsling. Om koncentrerade gödselprodukter utvinns efter hydrolysen och används i jordbruket, minskar de kostnader som är direkt relaterade till jordbruksanvändningen. Den rest som återstår måste då tas omhand på annat sätt, till exempel genom jordtillverkning, förbränning eller deponering.

Kommunernas totala kostnader för slam användning i jordbruket beror i slutänden på vilka avtal man har med jordbrukarna. Ibland bekostar kommunerna även mellanlagringen och spridningen ute hos jordbrukarna. Lagring i en avställd flytgödselbrunn kan kosta i storleksordningen 5 kronor per m³ i hyra. Spridning av avvattnat slam kostar ca 40 kronor per m³, vilket motsvarar ca 160 kronor per ton TS om slammet är avvattnat till 25 procent TS-halt. Om slammet är torkat blir kostnaden obetydligt högre än 40 kronor per ton. Spridnings- och nedmyllningskostnaden för våtslam med 5 procents TS är ca 400 kronor per ton TS (rampspridare eller direktinjektering med myllare). Kostnader på ca 500 – 600 kronor per hektar åker för markkartering tillkommer också i vissa fall. Ansvaret för markkartering ligger på jordbrukaren, men det förekommer att kommunen står för kostnaderna för den del av markkarteringen som är relaterad till slamspridningen.

Kostnaderna för jordbruksanvändning kan jämföras med alternativkostnaderna för jordtillverkning, förbränning och deponering av slam. I kapitel 4 och 5 redovisas kostnadsuppskattningar för jordtillverkning respektive förbränning. Jordtillverkningskostnaden har beräknats till ca 800 kronor per ton

TS (exklusive föregående stabilisering och avvattning); kostnaden för slamförbränning drygt 3 000 kronor per ton TS. Deponering kostar 250 kronor per ton (m^3) i avfallsskatt och ungefär lika mycket i kommunal deponiavgift. Om slammet är avvattnat till 25 procents TS-halt kostar deponering ca 2 000 kronor per ton TS.

Slammet har också ett ekonomiskt värde. Om man utgår från gängse pris på handelsgödsel (10 kr/kg fosfor och 7 kr/kg kväve) innehåller varje kubikmeter slam med 25 procents torrsubstanshalt växtnäring värt mellan 70 och 130 kronor, beroende på hur man värderar växttillgängligheten. Hit-tills har reningsverken inte kunnat ta betalt för slammet. Det är troligen inte heller realistiskt att tro att reningsverken ska kunna ta betalt för slammet inom en överskådlig framtid.

För- och nackdelar

För- och nackdelar med att använda slam i stället för handelsgödsel har beskrivits i avsnitten ”Resursanvändning och resurshushållning” och ”Miljöpåverkan och smittskyddsfrågor”.

Rekommendationer om användning

Vilken typ av slam som är lämpligt att använda i det enskilda fallet bestäms av vad jordbrukarna efterfrågar, av de tekniska och ekonomiska förutsättningarna hos den aktuella avloppsanläggningen, samt av avståndet mellan reningsverket och jordbruken. Reningsverkets storlek har mindre betydelse i sammanhanget.

Vid slamspridning bör givan dimensioneras efter slammets fosforinnehåll och åkermarkens fosforklass. Det är framför allt åkrar i fosforklass I till III som är aktuella för fosforgödsling, men det är tillåtet att gödsla mark upp till fosforklass V. Fosforgivan kan vara upp till maximalt 35 kg per hektar och år på de fosforfattiga jordarna, men genomsnittet ligger på 20 kg per hektar och år. En sjuårsgiva med ett genomsnittsslam med 2,8 procents fosforhalt blir ca 5 ton TS per hektar, om fosfor är dimensionerande. Om Naturvårdsverkets tillförselgränsvärde kommer att överskridas för någon metall vid full fosforgiva, måste slamgivan minskas i motsvarande grad. Formellt sett är detta fullt möjligt, men inte eftersträvänsvärt av miljöskäl.

Avvattnat samt torkat och pelleterat slam kan spridas med konventionella fastgödselspridare. En sjuårsgiva med slam som avvattnats till 25 procents TS-halt blir i genomsnitt ca 20 m^3 per hektar. Om slammet är torkat till 90 procents TS-halt blir givan ca 5,5 ton per hektar.

Våtslam innehåller mer kväve än avvattnat eller torkat slam. Våtslamgödsling kan därför ge upp till 50 procent bättre kväveutnyttjande, än gödsling med avvattnat/torkat slam. Det bästa kväveutnyttjandet fås om våtslammet sprids på våren. Användning av våtslam kräver fler transporter, men kan vara ekonomiskt fördelaktigt om det finns åkermark i närheten av reningsverket (5 – 8 km). Slammet förtjockas till en TS-halt på 3 – 8 procent och sprids med släpslangspridare eller med ett kombinerat injekterings- och myllningsaggregat. En sjuårsgiva med ett genomsnittligt svenskt våtslam är ca 100 m^3 per hektar, vid 5 procents TS-halt. Ett genomsnittsjordbruk (25 ha) kan ta hand om tre månaders slamproduktion vid ett avloppsreningsverk på 20 000 pe. Användning av våtslam i jordbruket är inte lika etablerat som användning av avvattnat slam. Mer information om våtslamgödsling finns i Persson et.al., Tabell et.al. och i Andersson et.al. (se kapitel 8 Referenser).

Gödselprodukter som utvinns ur hydrolyserat slam kan bli betydligt renare än vad konventionellt behandlat slam är och i nivå med de renaste handelsgödselkvaliteterna, det vill säga ca 5 mg kadmium per kg fosfor (se ”Hydrolys och fraktionering” i kapitel 6). Ett järnfosfatslam som utvunnits

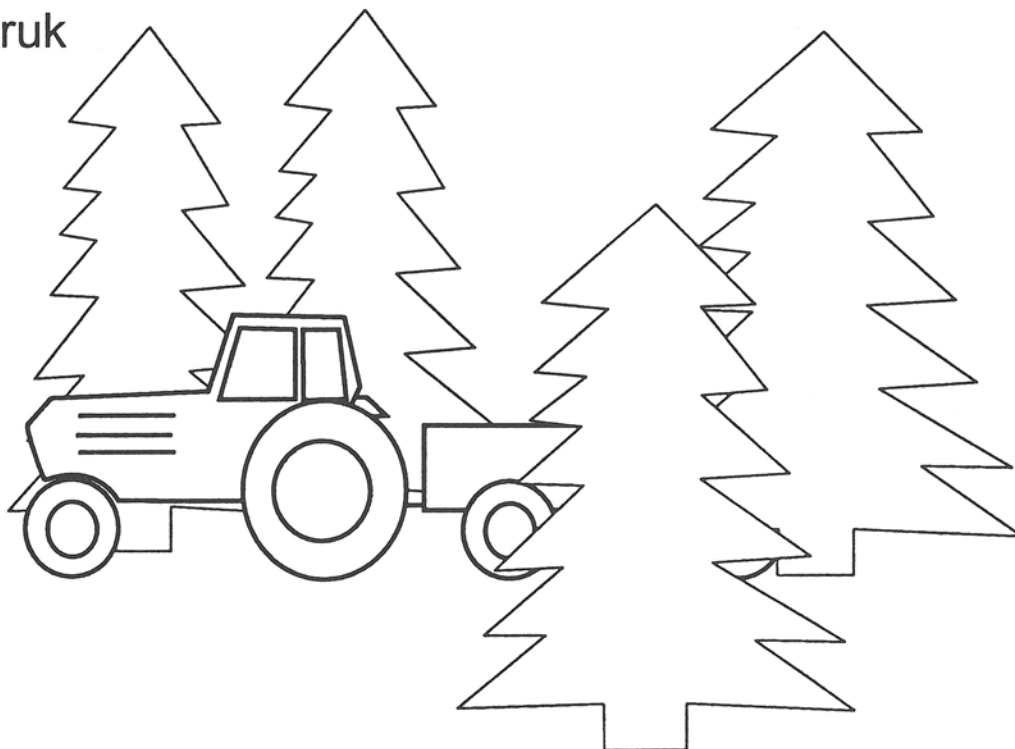
efter hydrolys av Öresundsverkets slam hade en fosforhalt på 15 procent och en TS-halt på 35 procent. En genomsnittlig sjuårsgiva (140 kg fosfor per hektar) med en sådan produkt är knappt 3 m³ per hektar, eller knappt 1 m³ per hektar i torkad och pelleterad form. Produkten kan spridas med konventionella gödselspridare.

Aska från slamförbränning har en hög halt av fosfor och baskatjoner, men innehåller inget kväve och inget mullbildande organiskt material. Ved- och torvaska används för vitalisering och näringskompensation i skogsbruket. Andelen växttillgängligt fosfor i vedaska har i försök visat sig vara upp till 80 procent (tillgängligheten har mätts enligt P-AL-metoden, det vill säga som löslighet i en ammoniumlaktat/ättiksyralösning). Om lösligheten är lika hög i aska från slamförbränning, borde det vara möjligt att använda sådan aska i jordbruket, som ett kombinerat fosfor- och kalkningsmedel. För att avgöra om detta är möjligt i praktiken, behövs mer forskning och utveckling.

Pelleterad slamaska kan spridas med konventionella spridare för handelsgödsel. Medelhalten totalfosfor i slamaska är i storleksordningen sex procent. En genomsnittlig sjuårsgiva på ca 140 kg fosfor per hektar blir då ca 2,5 ton aska per hektar. Askan måste stabiliseras kemiskt (härddas) och fysikaliskt (agglomereras, dvs. pelleteras eller granuleras) till en produkt som består av större aggregat. Annars finns det stor risk för arbetsmiljöproblem samt brännskador på grödorna på grund av pH- och saltchock.

Blandaska från samförbränning med trädbränsle eller organiskt avfall har låg fosforhalt, och därmed hög metallhalt i förhållande till fosforhalten, vilket gör att askan inte är lämpad för att användas direkt på åkermark. Metoder för att rena aska eller utvinna rena fosforprodukter ur aska håller på att utvecklas, vilket skulle kunna öka möjligheterna att använda aska från såväl renodlad slamförbränning som från samförbränning.

Skogsbruk



På senare år har skogsägare och forskare visat ett ökat intresse för att använda olika restprodukter i skogsbruket, bland annat avloppsslam. Med skogsbruk avses här produktion av virkesråvara till pappersmasse- och trävaruindustrin samt trädbränslen till fastbränsleeldade energianläggningar. Energiskog odlas oftast på åkermark och ingår därför inte i begreppet skogsbruk. Forskning om slamgödning av skogsmark och om bevattning av skogsmark med avloppsvatten pågår vid SLU i Umeå (Skogshögskolan).

På samma sätt som i jordbruket, orsakar skogsbruket förluster av näringsämnen, baskatjoner och organiskt material (humus) från marken. Förlusterna orsakas dels av skogsbruket självt genom avverkningen, dels naturligt genom läckage till luft och vatten. Vid konventionellt skogsbruk (enbart stamavverkning) anses näringskompensation inte vara nödvändig, eftersom den naturliga tillförseln via vittring, kvävefixering och atmosfärisk deposition är tillräcklig för att kompensera förlusterna. Vid mer intensivt utnyttjande (bortförsel) av producerad biomassa kan dock kompensation behövas. Man talar då om näringskompensation. Vitalisering är ett annat, något diffust, begrepp som brukar avse en åtgärd som ökar markens förråd av baskatjoner och därigenom motverkar markförsurning och dess möjliga sekundära effekter på vegetationens vitalitet. Ofta används begreppet vitaliseringsgödning synonymt med vitalisering, men ibland avser man tillförsel av såväl baskatjoner (inklusive kalium), som fosfor.

Avkastningen i skogen kan höjas genom att skogen gödglas med mer näring än vad som behövs för att kompensera för förlusterna. För närvarande finns det inte särskilt starka ekonomiska incitament för att enbart av avkastningsskäl gödsla skogsmarken, bland annat eftersom massaindustrin importerar en stor del av sin vedråvara.

Vitalisering och annan näringskompensation är särskilt viktigt vid intensivt uttag av skogsbränslen, det vill säga när även de grenar och toppar (med eller utan barr) som lämnats efter avverkningen tas ut. Dessa avverkningsrester kallas även "GROT" (GRenar Och Toppar). Om man tar tillvara såväl stam, bark som avverkningsrester talar man om "helträdsutnyttjande". Vid helträdsutnyttjande tas de ämnen bort, som annars skulle ha återförts till marken när avverkningsresterna förmultnat.

Idag tas ungefär 10 procent av det potentiella uttaget av avverkningsrester till vara, men denna andel förväntas öka, genom att skogsbränslen alltmer utnyttjas i den svenska energiförsörjningen. Detta gör att även behovet av vitalisering och näringskompensation ökar. Denna utveckling kommer troligen att fortsätta, eller till och med accelerera i framtiden, särskilt om kärnkraften ska avvecklas och en stor del av bortfallet av elkraft ska kompenseras genom bland annat en ökad förbränning av skogsbränslen.

Vid helträdsutnyttjande är bortförseln av de vanligaste näringsämnena upp till fem gånger högre än vid normalt stamvedsuttag. Denna utarmning kan långsiktigt ge negativa konsekvenser på skogsproduktionen och för trädens stresstålighet. Prognoser av de framtida följderna av helträdsutnyttjande är osäkra, men en sådan prognosmodell pekar på att även konventionell stamavverkning långsiktigt kan ge förluster av kalcium, som överstiger tillförseln genom vittring. Normalt är det dock kvävet, som är det begränsande ämnet för trädproduktion på fastmarker i Sverige. Detta komplicerar både tolkning och värdering av biomasseutnyttjandets effekter. Från kvävesynpunkt kan helträdsutnyttjande ses som en positiv åtgärd, vilken motverkar de negativa miljöeffekter som det pågående kvävenedfallet från atmosfären kan orsaka. På torvmarker är det istället ofta fosfor och kalium som begränsar produktionen, och där kommer en ökad bortförsel av dessa näringsämnen med biomassan sannolikt att få omedelbara negativa produktionseffekter.

Användningspotential

Den totala skogsareal i Sverige som är lämplig för virkesproduktion är ca 23 miljoner hektar, vilket är lite mer än halva landets yta. Hälften av skogsmarken finns i Norrland och resten jämt fördelad på Svealand och Götaland. Skogsbruk bedrivs på huvuddelen av skogsmarken. Andelen utdikad torvmark är ca 4 procent (knappt en miljon hektar) av den produktiva skogsmarken.

Hittills har det framför allt varit fastmark som gödslats, huvudsakligen med handelsgödselkväve. Under den senaste halvan av 1990-talet har 25 000 – 30 000 hektar fastmark kvävegödslats årligen, framför allt i Norrland och Svealand. Gödslingen av skogsmark har tidigare varit betydligt mer omfattande. Den största användningen av gödselmedel inom skogsbruket skedde från mitten av 1970-talet fram till mitten av 80-talet, då mellan 120 000 och 140 000 hektar skogsmark gödslades varje år. År 1984, när skogsgödslingen var som mest omfattande, användes ca 60 000 ton kvävegödselmedel (framför allt ammoniumnitrat), samt 300 ton fosfor- och kaligödselmedel motsvarande knappt 30 ton fosfor. Ett par procent av den gödslade skogsarealen var torvmark; 1 000 – 2 500 hektar per år.

Avvattnat avloppsslam kan vara lämpligt för kvävekompensation eller kvävegödsling av skog på fastmark, tack vare sitt organiskt bundna men relativt lättmineraliserade kväveinnehåll. För att underlätta spridningen i skogen och minska de hygieniska riskerna bör slammet vara torkat och pelleterat. Pelleterad aska från förbränning av slam (separat eller tillsammans med trädbränsle), där fosfor finns kvar men kvävet är borta, torde kunna användas på dikade och skogbeväxta torvmarker. Avvattnat/torkat slam är sannolikt miljömässigt mindre lämpat att användas på de näringsrikare torvmarkerna, eftersom det då kan finnas risk för alltför stor kvävemineralisering och därmed risk för kväveurlakning.

Andra tänkbara användningsområden för slam och slamaska är markrestering av störda mineraljords- eller torvjordsytor efter täktverksamhet. För närvarande är dock inget av de nämnda användningsområdena etablerade inom det praktiska skogsbruket. Studier av såväl produktions- som miljöeffekter är påbörjade, men är ännu otillräckliga för att man ska kunna göra säkra prognoser om möjligheterna att använda slam i skogsbruket.

Näringskompensation med kväve är framför allt aktuellt vid helträdsutnyttjande på skogsmark med låg bonitet, där C/N-kvoten i humuslagret är högre än 30 (C/N-kvoten har betydelse för mineraliseringen av kväve; hög kvot indikerar låg kväve mineralisering). Sådana skogsmarker finns framför allt i Norrland och Svealand. Givans storlek beror på bonitet (bördighet) och klimat. Erforderlig kvävegiva kan variera mellan 70 och 300 kg kväve per hektar och skogsgeneration (gäller vid uttag av GROT vid slutavverkning). Störst är kvävebehovet på mark med hög bonitet i Svealand. Enligt nuvarande praxis är en normal kvävegiva 100 – 150 kg kväve per gödslingstillfälle. Tillförsel av kvävegödsling rekommenderas inte på fastmark i Götaland, eftersom marken där tillförs kväve i överskott från luften.

Näringskompensation med fosfor är ännu ingen etablerad praxis i Sverige, utan utförs mest i forskningssyfte och uteslutande på torvmark. En absolut förutsättning för helträdsutnyttjande på torvmark är att bortförseln av fosfor och kalium kompenseras. Behovet kan därför komma att öka, och det kan även bli aktuellt med viss fosforgödsling på fastmark. Intensivt helträdsutnyttjande under både gallring och slutavverkning medför betydande nettoförluster av fosfor (upp till 2 kg per ha och år) i all delar av landet, även på fastmark. Enbart stamvedsuttag orsakar däremot troligen inga nettoförluster. Behovet av kompensation av fosfor varierar kraftigt, beroende på bonitet och var i Sverige uttaget sker.

Vitalisering med aska har utförts i betydligt större skala än fosforgödsling, men kan inte betraktas som etablerad praxis i skogsbruket som helhet. Skogsstyrelsen har sedan 1990 utfört storskaliga försök med kalkning av skogsmark i södra Sverige, där man har använt en blandning av krossad kalk och härdad träaska. Försök med vitalisering har också finansierats av Naturvårdsverket.

Erfarenheter i Sverige och utomlands

Användningen av slam i skogen förekommer inte i Sverige, utom på försök. Även internationellt är erfarenheterna av slamspridning på skogsmark begränsad.

SLU i Umeå (Skogshögskolan) undersöker miljö- och tillväxteffekter av gödsling med torkat och pelleterat slam samt bevattning med mekaniskt renat avloppsvatten i Vindelns kommun i Västerbottens län. Projekten startade år 1996 respektive 1997 och ska avrapporteras under år 2000.

Utomlands har främst våtslam prövats på skogsmark för virkesproduktion, framför allt i USA, Tyskland och Skottland. I USA har spridning av rötat avloppsslam till gallrade skogsbestånd givit högre tillväxt än tillförsel av handelsgödsel.

Resursanvändning och resurshushållning

På samma sätt som i jordbruket innebär slamanvändningen i skogsbruket ökad hushållning med växtnäringsämnen, om slam och aska används i stället för handelsgödsel. Användningen av avvattnat eller torkat slam kräver dock fler transporter och tyngre spridarutrustning och förbrukar därmed mer drivmedel än vad spridning av samma mängd baskatjoner och näring med vedaska eller handelsgödsel gör.

Miljöpåverkan och smittskyddsfrågor

Miljöeffekterna av vitalisering, näringskompensation och gödsling av skog är mycket mindre undersökta än effekterna av gödsling av åkermark. De försök som har gjorts i Norrland och i södra Sverige visar på samma typ av påverkan som vid gödsling av jordbruk: tillförsel och ackumulering av metaller i marken, läckage av kväve och fosfor till luft och vatten, spridning av smittämnen etc. Artsammansättningen hos markvegetationen kan förändras, men denna effekt går i regel tillbaka efter några år. Undantaget är mossor och lavar som behöver längre tid för att artsammansättningen ska återställas.

De miljömässiga fördelarna med att använda slam i stället för handelsgödsel har beskrivits i jordbruksavsnittet (ökad hushållning med energi och ändliga resurser, minskad rörlighet för metallerna i marken, stimulerad mikrobiell aktivitet i marken etc.). Detta är i princip giltigt även i skogsbruket. Slam är mer långsamverkande än handelsgödsel, vilket kan vara en fördel i skogsbruket. Nackdelen är att slam, liksom vedaska, kan tillföra skogsmarken en del organiska och svårnedbrytbara (persistenta) ämnen, till exempel polyaromatiska kolväten (PAH).

Torkning och förbränning ger en långtgående hygienisering och smittriskerna vid användning av torkat slam eller slamaska är därför mycket små. För att undvika negativa miljöeffekter vid användning av aska, måste askan stabiliseras kemiskt och fysikaliskt (pelleteras/granuleras). Dessutom ska halterna av tungmetaller och andra miljöfarliga ämnen vara låga. Den höjning av pH-värdet i humuslagret som sker vid asktillförsel, kan ge ökad omsättning av kväve och kol, vilket utökar urlakningen av dessa ämnen.

Lagstiftning och kvalitetssäkring

Skogsbruk, inklusive gödsling, regleras av skogsvårdslagen, skogsvårdsförordningen samt allmänna råd och föreskrifter från Skogsstyrelsen. Skogsstyrelsen är central förvaltningsmyndighet med sektorsansvar för miljöfrågorna i skogsbruket och chefsmyndighet för länens skogsvårdsstyrelser. Slamöverenskommelsen och de författningar och regler som idag finns för slamgödsling gäller formellt sett bara användningen i jordbruket, och inte i skogsbruket. Däremot är det troligt att Skogsstyrelsen och skogsvårdsstyrelserna kommer att ställa liknande krav, om slam används i skogen. Kommissionens förslag till nytt slamdirektiv från oktober 1999 omfattar även skogsbruk.

Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd till skogsvårdslagen (SKSFS 1993:2) innehåller allmänna försiktighetsmått vid vitalisering, gödsling och avverkning. Bland annat ska skogsbruket ta naturvårdshänsyn och gynna den biologiska mångfalden. Skador på mark och i vatten ska undvikas eller begränsas. Vid vitalisering och näringskompensation bör den totala tillförseln av skadliga ämnen inte överstiga bortförseln under ett bestånds omloppstid.

Enligt de allmänna råden för kvävegödsling på fastmark (SKSFS 1991:2) bör kvävegödslingen ståndsortsanpassas och endast utföras där den förväntas ge avsedd effekt. Råden tillåter gödsling med maximalt 300 kg kväve per hektar och skogsgeneration i Svealand, och maximalt 600 kg kväve per hektar och skogsgeneration i Norrland. Kvävegödsling rekommenderas inte på fastmark i Götaland. Råden innehåller också rekommendationer om lämpliga tidpunkter för spridning, gödslingsfria zoner mot vattentäkter, sjöar, vattendrag, vägar etc., och råd om vilka marktyper som inte bör kvävegödsas.

Skogsstyrelsen har angett riktvärden för hur mycket metaller som högst bör finnas i aska och andra medel som används på skogsmark (Skogsstyrelsens rapport 1999:1). Riktvärdena för de flesta metaller är högre eller i samma nivå som gränsvärdena för slam för jordbruksändamål. Riktvärdet för

koppar i aska är dock lägre än koppargränsvärdet för slam till jordbruket (500 i stället för 600 mg/kg TS).

Vid näringskompensation krävs dokumentation och spridningskontroll – kraven liknar gällande slamregler för jordbruk – samt krav på anmälan och samråd (12 kap. 6 § miljöbalken) med länets skogsvårdsstyrelse.

Kostnader för investering och drift

Kostnaderna för kvalitetssäkring är ca 60 kronor lägre per ton TS om slammet används i skogsbruket än om det används i jordbruket, eftersom det idag inte finns några krav på samråd enligt slamöverenskommelsen. Eftersom slam måste torkas eller förbrännas för att kunna användas i skogen blir dock slambehandlingskostnaderna högre än för konventionell slamgödsling av åkermark. Lagringskostnaderna beror på hur länge slammet behöver lagras innan det kan levereras till skogsbruket. Den kortaste lagringstid som krävs är lika med intervallet mellan slamanalyserna + en månad för inväntan av analysvar. Å andra sidan är intervallet mellan tillförsel av vitaliserings- eller gödselmedel längre än intervallet mellan tillförsel av slam på åkermark, varför lagringstiden kan bli längre än de tolv månader som antagits för jordbruksanvändningen i föregående kapitel. Kostnaderna för provtagning, administration, transporter och spridning är i stort sett desamma som vid användning i jordbruket. Totalt sett torde man få räkna med en kostnad på ca 1 400 kronor per ton TS torkat slam (se tabell 2). Kostnaden gäller exklusive moms.

För- och nackdelar

Av kretsloppsskäl rekommenderar Skogsstyrelsen att vitalisering och näringskompensation i första hand sker genom återföring av vedaska, men ser också att det kan finnas behov av att tillföra andra medel. En brist hos vedaska är att kväve saknas och att fosforhalten är låg (ca 1 procent av TS). Vid storskaligt helträdsutnyttjande och fosforkompensation på torvmark, kommer mängden vedaska av bra kvalitet inte att räcka till. Detta talar för att avloppsslam kan komma till användning även i skogsbruket, antingen torkat och pelleterat/granulerat eller i form av aska. En nackdel med slam är emellertid att halten baskatjoner, speciellt kalium, är lägre än i vedaska. En annan nackdel är att slammet kan innehålla mer koppar och kvicksilver än vedaska.

Rekommendationer om användning

Halten näringsämnen och baskatjoner i aska som ska spridas på skogsmark bör inte understiga värdena i nedanstående tabell (rekommenderad halt i aska avser vedaska och har hämtats från Skogsstyrelsens rapport 1999:1). Värdena utgår från de givor som är vanliga vid återföring av vedaska: 2 – 3 ton per hektar och skogsgeneration. Som en jämförelse visas medianvärden för vedaska, medelhalten av baskatjoner och svavel i rötat avloppsslam från 10 stycken större avloppsreningsverk (>100 000 pe), medelhalten fosfor och kväve i slam från reningsverk >2 000 pe, samt halten i några specialkomponerade vitaliserings/gödselmedel. Halten i slam kan räknas om till halt i aska från slamförbränning genom att dividera slamvärdena med 0,43 (genomsnittligt oorganiskt innehåll i slam).

Tabell 3. Näringsämnen i vedaska, slam och andra vitaliseringsmedel

Ämne	Aska – Rekom- menderad halt	Vedaska – Medianhalt	Avlopps- slam 1995 – Medelhalt (TS)	Skog-Vital 45 procent	Kemira, vitaliseringsmedel nr	
					1	2
					viktsprocent	
Fosfor	0,5	1,2	2,8	2	3	4
Kväve	-	-	3,4	-	10	-
Kalium	2	3	0,2	2	5,5	7
Kalcium	100	28	3	30	9,5	13
Magnesium	1,5	2,4	0,4	4	5	8
Svavel	-	0,5 – 1*	1	-	3,5	5

*) högst svavelhalt i aska från eldning av flis och bark.

Potentiella användningsområden för avloppsslam i skogsbruket är framför allt som fosformedel på torvmark (pelleterad eller granulerad aska från slamförbränning) och kvävededel på fastmark (torkat och pelleterat/granulerat slam). Slamaska kan också användas som vitaliseringsmedel. Torkat slam klarar oftast Skogsstyrelsens riktvärden för metaller. Om aska från slamförbränning ska användas krävs det att det slam som bränns är renare än ett svenskt genomsnittsslam. Kopparhalten i slammet bör före förbränningen inte vara högre än ca 220 mg/kg TS, vilket är drygt halva genomsnittshalten för slam. Ungefär en tredjedel av det svenska slammet har en kopparhalt som är mindre eller lika med 220 mg/kg TS.

Enligt Skogsstyrelsen bör askgivan vid näringskompensation efter stamvedsuttag hålla sig under 2 ton TS per hektar per tillfälle. Den totala askgivan till skogsmark under en omloppstid bör inte överstiga 3 ton TS per hektar. Erforderlig giva i det enskilda fallet kan räknas fram med hjälp av Excell-programmet "Snurran 1.0" som är utvecklat av SkogForsk och kan hämtas hem gratis på Internet från SkogForsks hemsida.

Skogsstyrelsen anser vidare att kompensationsgödsling av fosfor alltid bör ske vid uttag av skogsbränsle från torvmarker. En normal fosforgiva är 40 – 80 kg totalfosfor per hektar och spridningstillfälle (beroende på lösligheten hos den tillsatta fosfor). För detta går det åt 1,5 – 3 ton torkat slam, vilket ger ett samtidigt tillskott till skogsmarken med 75 – 150 kg totalkväve. Om ren "slamaska" (aska från renodlad slamförbränning) används för fosfortillförsel, åtgår 0,7 – 1,5 ton per hektar. Slam innehåller mer fosfor än ved, men mindre baskatjoner. Vid användning av vedaska för fosforkompensation krävs 3,5 – 7 ton per hektar. Om ett genomsnittsslam samförbränns med ett genomsnittligt trädbränsle ökar fosforhalten, medan halten baskatjoner sjunker.

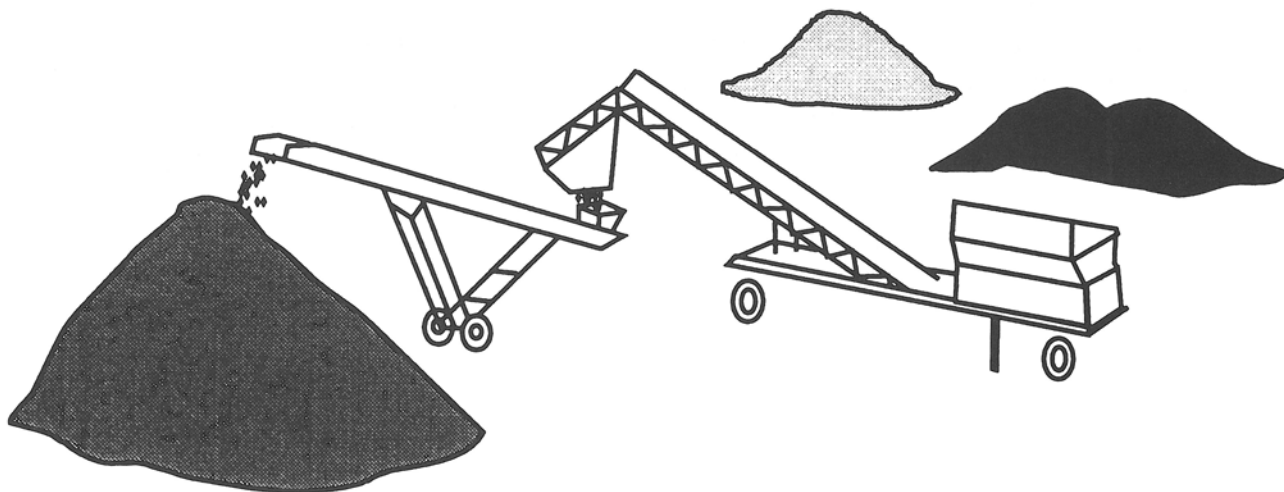
En normal giva vid kvävekompensation på fastmark och vid produktionsgödsling för att öka volymtillväxten är ca 150 kg totalkväve per hektar och spridningstillfälle. För detta åtgår omkring ca 4,5 ton torkat slam.

Tekniken för näringskompensation och vitalisering är ännu inte helt färdigutvecklad, men pelleterat slam eller aska torde i de flesta fall kunna spridas med de metoder som idag används för skogsmarksgödsling. Slamprodukten kan levereras i storsäck, som lösvara i bulkbil eller bulkvagn på järnväg. Lämplig spridningsteknik är traktorburen handelsgödselspridare. Skog gödglas även från helikopter, men eftersom de givor som behövs vid slamspridning är betydligt större än de som normalt används vid skogsgödsling med helikopter, är denna metod inte lämplig för slamgödsling.

Näringskompensation kan utföras under en stor del av omloppstiden, dock inte på färska hyggen eller nära slutavverkning. För att undvika perioder då mycket folk vistas i skogen och perioder med hög avrinning eller med snötäcke bör tillförseln koncentreras till två perioder: 2) efter vårflod, men senast ett par veckor före bärsäsongen och 2) efter svampsäsongen, men före vintern.

Tillförsel av torkat slam, liksom andra medel som innehåller kväve, bör ske tidigast fem år efter utförd slutavverkning och senast fem år före planerad slutavverkning. För att undvika förhöjd nitratbildning och därmed risk för betydande kväveurlakning. Helst ska kvävet tillföras minst ett år före eller minst fem år efter en eventuell asktillförsel.

4. Jordförbättring och jordtillverkning



Avloppsslam kan användas som råvara vid tillverkning av jordförbättrings- och jordersättningsprodukter för grönytor, återställning av deponier och täkter m.m. Eftersom slammet även innehåller oönskade ämnen, såsom tungmetaller, måste produktens kvalitetsegenskaper styra produktens användning. Rent principiellt kan tre olika sätt att använda slamprodukter särskiljas:

Tillverkning av ny jord: Slam används för att tillverka en helt ny jord, så kallad växtbädd. Av speciell vikt är då att slamprodukten inte innehåller allt för mycket näring, samt att jorden har en god fördelning mellan organiskt material och mineralinnehåll, vilket gör den lämplig för växternas etablering och tillväxt.

Förbättring av befintlig jord: Slamprodukten blandas in i befintlig jord, framförallt för att förbättra jordens struktur. Det organiska materialet är då en värdefull tillgång. Om den befintliga jorden har hög andel lera är det också positivt med tillförsel av sand och annat grovkornigt material.

Gödning och marktäckning: Slamprodukten sprids ovanpå befintligt vegetationstäck och blandas eventuellt in i ytskiktet. Ett exempel på dylik användning är när en slamprodukt bestående av slam och sand används för topddressing på golfbanor. Andra produkter kan vara en kompost gjord på bark och slam som används som marktäckning i planteringsytor.

Målsättningen med tillverkning av dessa slamprodukter är att skapa en jord eller jordförbättringsprodukt som inte längre upplevs bestå av slam, utan ses som en lätthanterlig jordprodukt med ett för ändamålet anpassat näringsinnehåll.

För att minimera riskerna för luktolägenheter och spridning av sjukdomsframkallande mikroorganismer bör slammet vara stabiliserat, till exempel rötat eller komposterat (detta är också ett krav enligt Naturvårdsverkets Allmänna råd 90:13). Dessutom bör den färdiga produkten få mogna under några månader innan användning. Likaså bör slammet vara avvattnat.

Eftersom slammet i sig innehåller alltför höga halter av både näringsämnen och icke önskade ämnen är rent slam inte lämpligt som odlingssubstrat. Därför krävs att slammet kombineras med andra rå-

varor. Dessa råvaror kan vara andra restprodukter utan värde, men som tillsammans med slam skapar attraktiva produkter. Ett exempel är tillverkning av jord från slam och aska. Denna jord kan sedan användas som täckskikt för vegetationsetablering på avfallsdeponier. Val av lämpliga råvaror styrs av de krav som ställs på den tillverkade produkten, samt den regionala tillgången på olika substrat.

Sam kan blandas med olika organiska och minerogena material. Exempel på organiska material är torv, bark, hästgödsel samt hushålls- och trädgårdsavfall. Vanligtvis komposteras dessa material då tillsammans med slammet. Minerogena material kan vara matjord, sand, aska från biobränslen eller kol, kalk från sockerbruk, samt aska från sopförbränning.

Det bör poängteras att oavsett vilken metod som väljs för tillverkning av jordförbättrings- och jordersättningsprodukter är det viktigt för den framtida marknaden att enbart produkter av hög kvalitet tillverkas. Speciellt viktigt är att slammet kan finfördelas i produkten så att en homogen produkt utan synliga slamklumpar skapas. Tillverkningen består i princip av momenten siktning - blandning - mognad.

Inblandningen av andelen slam i jorden varierar med dess användningsområde. Ett normalt blandningsförhållande är 1/3 slam och 2/3 minerogent material baserat på våt volymvikt.

Först blandas det rötade och avvattnade slammet med de andra ingående komponenterna. Om till exempel aska används bör denna siktas innan blandning med slammet. En första grovblandning görs med hjullastare eller med skruvtransportör. Eftersom rötat slam har en plastisk konsistens krävs anpassad utrustning för att skapa en homogen slutprodukt. Vanligtvis används en speciell jordkvarn där slagor med hög rotationshastighet finfördelar produkten. Beroende på de krav som ställs kan slutprodukten också behöva siktas.

Vid inblandning av slam i organiskt material eftersträvas oftast en mer eller mindre långt gången stabilisering. Under denna process mineraliseras slammets lättnedbrytbara organiska fraktioner. Beroende på vilken metod som används komposteras slammet tillsammans med det organiska materialet under några månader till något år. Produkten vänds och luftas några gånger under denna period.

Även då slam blandas med minerogent material som sand, matjord eller aska bör slutprodukten få mogna under några månader. Under denna mognadsperiod sker också en viss nedbrytning och hygienisering av slammet, lukten reduceras och slutprodukten blir mera jordliknande.

Under tillverkningsprocessen kan också andra ämnen tillsättas för att förbättra slutproduktens kvalitet. Ett exempel är tillsats av ett kaliumsalt. Slammets balans mellan fosfor och kalium är ogynnsam för växter. Med extra tillsats av kalium kan slammets näringsinnehåll bättre utnyttjas. När aska, som innehåller höga halter av kalium och låga halter av fosfor, blandas med slam erhålls också en för växterna gynnsam balans mellan dessa båda växtnäringsämnen.

Användningspotential

Slambaserade jordprodukter är intressanta från marknadssynpunkt eftersom både prisnivå och produkttegenskaper är konkurrenskraftiga med andra alternativ. De invändningar som kan ställas mot användning av slam för jordtillverkning är oro för negativ miljöpåverkan och då främst spridning av tungmetaller. Det är därför alltid viktigt att användningsområdena anpassas till slammets innehåll av tungmetaller och att noggrann kontroll görs av produktens egenskaper.

Eftersom slambaserade jordprodukter är en bulkvara som inte tål höga transportkostnader bör främst lokala eller regionala avsättningsmöjligheter undersökas. I många fall kan dessa jordprodukter avsättas inom olika kommunala förvaltningar.

Den övervägande delen av det svenska avloppsslammet, ca 80 - 90 procent, uppfyller Naturvårdsverkets riktvärden för att få användas på grönytor (se "Lagstiftning och kvalitetssäkring"). Följande kortfattade marknadsbeskrivning ger en uppfattning om tänkbara användningsområden och användningspotentialen för slambaserade jordprodukter, liksom de krav som olika kunder kan ställa på jordprodukten.

Golfbanor: I Sverige finns ca 375 golfbanor och den totala arealen är 20 000 ha. Tänkbar användning för slambaserade produkter är vid nyanläggning av banor, vid underhållsarbeten, samt som topddressing. Topddressingsprodukten ska bestå av sand och slam. Även på fotbollsplaner är en dylik topddressingsprodukt intressant. I detta marknadssegment ställs stora krav på produkten med avseende på hanterbarhet och utseende samt att den inte luktar.

Vägsränter m.m.: I Sverige finns ca 200 000 ha vägsränter runt det statliga vägnätet. Slamprodukter kan användas för att snabbt etablera växtlighet vid nyanlagda vägar. Produkten bör emellertid inte vara alltför näringsrik. Målsättningen är oftast att snabbt etablera en gräsvegetation, men att tillväxten därefter är måttlig för att reducera underhållskostnaderna. Även vid anläggning av bullervallar kan det vara intressant att utnyttja slamprodukter.

Grönområden: Det finns nära 200 000 ha parkmark i Sverige som ägs av kommun, stat och kyrka. Det är viktigt att goda kontakter skapas med de kommunala förvaltningar eller entreprenörer som är ansvariga för skötseln av dessa ytor, eftersom detta kan vara en viktig och återkommande lokal eller regional avsättningsmöjlighet. Vid nyanläggning av större grönområden kan slam eller slamprodukter användas för att på plats skapa goda växtbetingelser. Slamprodukter bestående av slam och organiskt material kan till exempel användas i rabatter och på mindre planteringsytor. En kompost bestående av slam och bark kan användas som marktäckning på planteringsytor. På gräsytor kan topddressing användas både som gödselmedel och för att förbättra markstrukturen.

Deponier och täkter: Slamprodukter kan användas för tätning och växtetablering på befintliga och avslutade avfallsdeponier samt för återställning av täkter. För dessa ytor ska det finnas en återställningsplan för hur vegetation åter etableras. I mellersta och norra Sverige finns deponier för gruvavfall, där det ofta krävs betydande insatser för att kunna skapa ett vegetationstäck.

På befintliga avfallsdeponier kan slam med förhöjd tungmetallhalt utnyttjas som tätskikt och som råvara vid tillverkning av jordprodukter för täckning och vegetationsetablering på avslutade områden. Deponier är också en intressant marknad för jordprodukter bestående av aska och slam.

Erfarenheter i Sverige och utomlands

Det finns etablerade metoder och kunskap i såväl Sverige som utomlands för att tillverka slambaserade jordförbättrings- och jordersättningsprodukter. På deponin Spillepengen i Malmö har omfattande försök gjorts med olika typer av jordar tillverkade av slam. I Göteborg används huvuddelen av slammet från Ryaverket på kommunala rabatter, golfbanor m.m. Även i flera andra kommuner används slam för jordförbättring eller jordtillverkning. För landet som helhet används 10 - 15 procent av slammet på detta sätt. Dessutom används en hel del slam för sluttäckning av avfallsdeponier.

I flera andra länder är användningen av slam som jordförbättringsmedel eller som råvara till jordtillverkning vanligare än i Sverige. I Finland används ca 30 procent av slammet på detta sätt.

Resursanvändning och resurshushållning

När avloppsslam inte utnyttjas som gödselmedel i livsmedelsproduktionen bör slammets värdefulla beståndsdelar: fosfor, kväve, mikronäringsämnen och organisk substans ändå komma växtligheten till godo. Från ett samhällsperspektiv bör utnyttjandet av slam som jordförbättringsmedel och råvara till jordtillverkning utvecklas ytterligare.

Miljöpåverkan och smittskyddsfrågor

Såväl tillverkning, lagring som användning av jordförbättrings- och jordprodukter kan påverka miljön. Riskerna är dock små om tillverkningsprocessen drivs optimalt och om slammet (som bör vara stabiliserat), den färdiga jordprodukten och användningen av produkten uppfyller de krav som anges i avsnittet "Lagstiftning, kundkrav och kvalitetssäkring" nedan.

Tillverkning av jordprodukter samt lagring av råvaror och den färdiga produkten sker oftast utomhus. Det finns därför en viss risk att föroreningar, främst kväve, lakas ut ur slammet, men endast vid kraftiga regn och intensiv snösmältning. För att undvika att lakvatten tillfälligtvis når yt- eller grundvattnet bör det finnas möjlighet att ta omhand eventuellt lakvatten för att behandla det, till exempel i en infiltrationsanläggning eller i ett kommunalt avloppsreningsverk. Vattnet kan ha hög kvävehalt, medan halten fosfor och metaller är normalt lägre än renat kommunalt avloppsvatten. Fosfor och tungmetaller är normalt hårt bundna till slammet och annat organiskt material i produkten. Detta kräver dock att produktens pH-värde är högt (>6). Under normala väderförhållanden sker dock ingen kväveutlakning, eftersom det mesta av nederbörden sugas upp genom slammets eller jordprodukten "tvättsvampseffekt", eller dunstar bort.

Eftersom såväl fosfor som tungmetaller normalt är hårt bundna till det organiska materialet, är miljöpåverkan från dessa ämnen liten även när jordprodukten används.

Risken för kväveläckage är bland annat beroende av produktens kvävehalt. Eftersom totalkvävehalten i slambaserade jordförbättrings- och jordersättningsprodukter normalt ligger under de 2 procent av TS som är kravet för EU:s miljömärkning av jordförbättringsprodukter torde risken för kväveutlakning vara liten. Genom att låta produkten mogna några månader innan den används, och genom att hålla marken bevuxen med gröda, minskas risken för kväveutlakning ytterligare.

Om slambaserade jordprodukter tillverkas av slam som har rötats, komposterats eller kalkats, och därefter får mogna, torde även risken för smittspridning vara tämligen liten.

Lagstiftning och kvalitetssäkring

Slam som ingår i produkter som ska användas på grönytor ska uppfylla de krav på metallhalt och användas på det sätt som anges i kapitlet "Anläggande av grönytor" i Naturvårdsverkets allmänna råd 90:13. Enligt råden bör slammet uppfylla vissa riktvärden för metallhalt. Dessa riktvärden överensstämmer i stort med de gränsvärden som gäller för slam som ska användas i jordbruket. Skillnaden är att riktvärdena för krom och nickel är högre i slam till grönytor än gränsvärdena för jordbruksanvändning. Naturvårdsverkets allmänna råd innehåller också begränsningar för mängden slam som får läggas ut på grönområden. Högsta tillåtna engångsgiva varierar mellan 25 och 100 ton

TS per hektar, beroende på hur stor yta slammet ska spridas på. I EG-kommissionens förslag till nytt slamdirektiv föreslås att samma gränsvärden som gäller för jordbruksanvändning även ska tillämpas för slam som används på grönytor som senare ska användas som jordbruks- eller skogsmark. För slam till andra grönytor föreslås att gränsvärdena får överskridas med 50 procent. De föreslagna gränsvärdena för tillförsel av metaller ligger långt över de svenska gränsvärdena.

I dagsläget (1999) ställs inga formella krav på hygienisering av slam som ska användas på grönytor, men någon form av sådana krav kommer troligen på sikt. I EG-kommissionens förslag till nytt slamdirektiv finns krav på att slam till grönytor, rekreationsområden, golfbanor m.m. ska hygieniseras så att halten salmonellabakterier, virus och parasitägg understiger vissa gränsvärden. Krav på hygienisering kan också komma från parkförvaltningar, golfklubbar eller andra som ska använda slam eller jordprodukter tillverkade av slam.

Om den slambaserade jorden ska användas i jordbruket, vilket dock är ovanligt, ska slammet och användningen av jordprodukten uppfylla de krav som gäller för slam i jordbruket.

Kundernas krav och betalningsvilja för produkten varierar. Viktiga kvalitetsegenskaper är näringsinnehåll, mullhalt, kornstorleksfördelning, hanterbarhet, frånvaro av smittämnen, växtparasiter och ogräsfrön, lukt, utseende och konsistens, samt eventuellt innehåll av oönskade metaller och organiska ämnen. Leveranssäkerhet och enhetlighet är också viktiga försäljningsargument. Beroende på användningsområde ställs olika krav på den slutliga jordprodukten. Dessa krav kan delas in i specifikationer avseende jordprodukten egenskaper såsom växtbädd och gödselmedel, samt de krav som ställs utifrån olika miljöaspekter.

Om slammet används för tillverkning av växtbädd eller såsom jordförbättringsmedel vid olika anläggningsarbeten ställs krav enligt "Anläggnings AMA 98" och "RA 98 Anläggning". I dessa publikationer anges allmänna krav på växtjordar utifrån mullhalt, kornstorleksfördelning och näringsinnehåll. Om en hel växtbädd ska tillverkas måste slammet kompletteras med organiskt material (t ex bark eller torv) och jordmaterial. Växtbädden bör innehålla 3 – 8 procent mull och inte mer än 15 procent ler.

Slammets innehåll av icke önskade ämnen, såsom vissa tungmetaller kan begränsa viss användning. På deponier där det finns system för omhändertagande av lakvattnet kan emellertid med fördel användas slam med tungmetallhalter överstigande gällande gränsvärden för spridning på åkermark. Den slambaserade jorden används då för vegetationsetablering på deponin. I övrigt är det viktigt att slammets kvalitet styr hur den färdiga jordprodukten används.

En god vägledning för hur den färdiga produkten kan användas med hänsyn till innehåll av metaller och svårnedbrytbara organiska ämnen ges i Naturvårdsverket Rapport 4638 "Generella riktvärden för förorenad mark".

Renhållningsverksföreningen (RVF) har utvecklat ett system för certifiering av kompost och rötrest från organiskt avfall. RVF:s certifieringsregler bygger bland annat på EU:s miljömärke för jordförbättringsmedel. I dagsläget är dock varken RVF:s certifieringssystem eller EU:s miljömärkningssystem öppet för slambaserade produkter, men en förändring kan komma på sikt (åtminstone när det gäller RVF:s certifieringssystem). Det kan därför vara lämpligt att tillverkningen och användningen av slambaserade produkter uppfyller RVF:s tillverknings-, kvalitets- och kontrollkrav.

Kostnader för investering och drift

Legotillverkning av 500 – 1 000 m³ jord från slam och något minerogent material med en mobil anläggning kostar i storleksordningen 400 kronor per ton slam-TS, exklusive råvarukostnad. Om ½ del slam blandas med en ½ sand tillkommer 80 – 100 kr per m³ slam för sanden. Kostnaderna kan variera stort beroende på vilka avtal som tecknas med entreprenören.

Kostnader för avvattnings, kvalitetssäkring och lagring vid avloppsreningsverket och transport av slam till en jordtillverkare tillkommer. Dessa är omkring 550 kronor per ton TS för ett reningsverk på 20 000 pe, där slammet lagras i tre månader och transporteras ca 30 km till en jordtillverkare. Vid legotillverkning blir den totala kostnaden för investering och drift därmed drygt 1 000 kronor per ton slam-TS (25 procents TS-halt). Om den slambaserade jorden används i jordbruket, tillkommer även kostnader för samråd och analys enligt slamöverenskommelsen samt eventuella kostnader för P-märkning.

För större reningsverk kan det vara ekonomiskt intressant att själv köpa den utrustning som behövs för tillverkningen. Investeringskostnaden för transportörer och jordkvarn med tillhörande utrustning är i storleksordningen 1,5 miljoner kronor. Det finns också mobila blandningsanläggningar som kan hyras in under begränsad tid.

Rekommendationer om användning

För de aktörer som är intresserade av att utnyttja slam för jordtillverkning ges följande rekommendationer:

Lokal och regional marknad: Undersök tänkbara avsättningsmöjligheter. Kontakta entreprenörer och kommunala förvaltningar som ansvarar för skötsel av grönområden. Undersök om det finns deponier som är i drift eller deponier där det finns krav på återställning. Diskutera vilka kvalitetskrav som ställs på produkten.

Råvaror: Undersök vilka råvaror som finns tillgängliga lokalt eller regionalt och om det finns råvaror som i dagsläget är en avfallsprodukt. En attraktiv jordprodukt kan många gånger skapas av avfallsprodukter som enskilt endast är en kostnad.

Tillverkningsmetod: Undersök lämplig tillverkningsmetod och möjlighet till samarbete med lokala entreprenörer. För tillverkning av vissa produkter finns det mobila blandningsanläggningar som kan hyras in under begränsad tid. Det finns också entreprenörer som kan ansvara för hela tillverkningen.

Miljö och kontroll: Baserat på tillverkningsmetod och ingående råvarors kvalitet kan en bedömning göras av den slutliga produktens innehåll av näringsämnen och icke önskade ämnen. Utifrån denna innehållsdeklaration kan produktens användningsområde närmare specificeras och även vilka givror som är lämpliga. Kontakta berörda kommunala myndigheter och förvaltningar samt länsstyrelsen för att diskutera slamproduktens användning.

Pilotförsök: Starta tillverkning i pilotskala. Anlägg mindre försök för att testa produkten, gärna tillsammans med potentiella kunder, som används för att dokumentera produktens egenskaper och kvaliteter.

Utvärdera: Jämför kostnader, volymer, långsiktighet etc. mellan jordtillverkningen och andra metoder för att omhänderta slammet. Generellt sett kan det vara lämpligt för reningsverken att ha flera alternativa avsättningsmöjligheter för slammet, och då kan tillverkning av jordförbättrings- och jordersättningsprodukter vara en av dessa möjligheter.