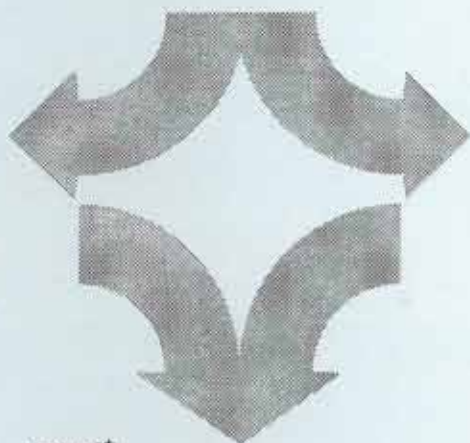


Slutrapport från FoU-programmet
**Organiskt avfall som
växtnäringsresurs**

**Ola Palm
Marianne Löwgren
H B Wittgren**



00 • 9

**VA-FORSK
RAPPORT
2000 • 9**

 **VA-FORSK**

VAV

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
Professor Peter Balmér	GRYAAB, Göteborg
VD Roger Bergström	VAV
Enhetschef Bengt Göran Hellström	Stockholm Vatten AB
Gruppledare Pär Jönsson	Östersund
Kommunalråd Sören Larsson	Hallsberg
Tekn chef Peeter Maripuu	Lysekil
VA-chef Stefan Marklund	Luleå kommun
Ledamot i KS Åsa Möller	Sundsvall
Avd chef Peter Stahre	VA-verket Malmö
Sektionschef Jan Söderström	Sv kommunförbundet
Asle Aasen, adj	NORVAR, Norge
Forskningschef Jan Falk, sekreterare	VAV

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åbe-ropas 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

Slutrapport från FoU-programmet
**Organiskt avfall som
växtnäringsresurs**

Ola Palm
Marianne Löwgren
H B Wittgren

Utgiven av VAV AB i samarbete med Stiftelsen Lantbruksforskning,
Byggeforskningsrådet, Naturvårdsverket och STEM

VA-FORSK
RAPPORT
2000 • 9

 **VA-FORSK**

VAV

Rapportens titel:	Slutrapport från FoU-programmet Organiskt avfall som växtnäringsresurs
Title of the report:	Final report from The R&D-programme Organic waste as a plant nutrient resource
Rapportens beteckning Nr i VA-FORSK-serien: ISSN-nummer: ISBN-nummer:	2000 • 9 1102-5638 91-89182-46-4
Författare:	Ola Palm, JTI, Marianne Löwgren, H B Wittgren, Linköpings Universitet
Utgivare:	VAV AB
VA-FORSK projekt nr:	94-132
Projektets namn:	Syntes och presentation av FoU programmet Organiskt avfall som växtnäringsresurs
Projektets finansiering:	VA-FORSK, Stiftelsen Lantbruksforskning, Bygghälsningsrådet, Naturvårdsverket, STEM
Rapporten beställs från:	AB Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 113 87, Stockholm, tfn 08-457 11 00
Rapportens omfattning Sidantal: Format: Upplaga:	128 A4 1200
Sökord:	Avloppsslam, avloppsvatten, bevattning, biologiskt avfall, fosfor, humanurin, hushållsavfall, gödsling, hygienisering, jordbruk, kretslopp, kväve, källsortering, organiskt avfall, social acceptans, systemstudier, toalettavfall, växtnäring
Keywords:	Agriculture, biological waste, fertilisation, household waste, human urine, hygienisation, irrigation, nitrogen, organic waste, phosphorus, plant nutrients, recycling, sewage sludge, social acceptance, source separation, systems studies, toilet waste, wastewater
Sammandrag:	FoU-programmet "Organiskt avfall som växtnäringsresurs" har omfattat forskning om det organiska avfallets olika vägar från källa eller behandlingsanläggning till åkermark, med kompletterande studier av effekter på omgivningen. Vidare har systemstudier genomförts för att se nya tekniska lösningar i jämförbara sammanhang, och för att belysa problem i behandlingskedjan. Slutligen har studier av acceptans och beredskap för olika lösningar ingått i FoU-programmet.
Abstract:	The R&D programme "Organic waste as a plant nutrient resource" has included research on organic waste and its different routes from source or treatment facility to arable land, with complementary studies of environmental effects. Systems analysis have been undertaken to view new technical solutions in a comparable context, to illuminate problems in the treatment chain. Studies of social acceptance and community preparedness for different solutions have also been included in the R&D programme.
Målgrupper:	Beslutsfattare Forskare Konsulter Planerare Tekniskt ansvariga
Utgivningsår:	2000
Pris 2000:	275 kr, exkl moms
Omslagsbild:	Peter Ridderstolpe, WRS Uppsala AB

Sammanfattning

FoU-programmet ”Organiskt avfall som växtnäringsresurs” har omfattat forskning om det organiska avfallets olika vägar från källa eller behandlingsanläggning till åkermark, med kompletterande studier av effekter på omgivningen. Vidare har systemstudier genomförts för att se nya tekniska lösningar i jämförbara sammanhang, och för att belysa problem i behandlingskedjan. Slutligen har studier av acceptans och beredskap för olika lösningar ingått i FoU-programmet. I denna slutrapport sammanfattas resultaten från de olika projekten – dels av författarna och dels genom att de ansvariga skrivit egna sammanfattningar av respektive projekt. Vidare görs ett försök att formulera en helhetssyn kring organiskt avfall, samt identifieras ett antal områden där ytterligare forskning och utveckling behövs.

Flera metoder att använda slam har undersökts. En studie har visat att lokalt omhändertagande av våtslam från små reningsverk, efter våtkompostering eller annan hygieniserande behandling, kan vara ekonomiskt lönsamt och dessutom minska växtnäringsförlusterna och luftutsläppen. Bevattningsavvattning av energiskog med biologiskt behandlat avloppsvatten har studerats i pilotskala. För mindre samhällen med närhet till jordbruksmark kan bevattningsavvattning vara en effektiv och ekonomisk reningsmetod. Försök har genomförts i laboratorieskala för att avskilja fosfor i avloppsvatten med hjälp av olika filtermaterial, och även växttillgängligheten av adsorberad fosfor har studerats. Försök med källsortering av humanurin har genomförts, där studierna omfattat hela kedjan från toalettstolen till åkermarken. Efter lagring i 1-6 månader var urinens hygieniska kvalitet hög. I odlingsförsök har växtnäringsvärdet för humanurin visats vara något lägre än för handelsgödsel. Olika behandlingsmetoder för att hygienisera och stabilisera organiskt avfall har utvärderats med avseende på tekniska aspekter och smittskyddsfrågor. Våtkompostering framstår som en lämplig metod för sambehandling av mindre flöden av svartvatten och organiskt hushållsavfall. Däremot verkar inte enbart lagring kunna uppfylla hygieniseringskraven. Med hjälp av systemanalys av olika avloppshanteringssystem har tekniska, ekonomiska och miljömässiga aspekter vägts samman. I modellscenarier blev kväveåtervinningen väsentligt bättre, om nuvarande avloppsvattensystem förändrades till antingen bevattningsavvattning av energigrödor med förbehandlat avloppsvatten eller till källsorterande system med avskiljning av urin eller svartvatten. Energiskogsbevattningsavvattning ledde dessutom till väsentligt minskade utsläpp av näringsämnen och metaller (kadmium och kvicksilver) till vatten, men till ökad metallbelastning på jordbruksmark.

Studier har gjorts av organiskt avfall som samhällsfråga, där acceptans och kommuners beredskap för ny teknik varit huvudfrågor. De studerade hushållen förefaller ha en hög ambitionsnivå beträffande miljöhänsyn i stort, men ambitionerna är ofta svåra att förena med familjens livsstil och resurser. Det råder också stor osäkerhet om hygieniska krav och risker förknippade med nya lösningar. Studier i tre utvalda kommuner visar att det ofta är lokala politiker som bidragit till att ge ny teknik en plats på den kommunala agendan. Studier i områden där urinsorterande system införts visar bl.a. på behovet av bättre uppbackning. Många situationer har uppstått där etablerade rutiner saknats, och behovet av modeller för avtals- och ansvarsfrågor har blivit uppenbart.

Med utgångspunkt i ett försök till helhetssyn på hanteringen av organiskt avfall har sju huvudområden identifierats där ytterligare forskning och utveckling behövs: restprodukternas kvalitet; behandlingsteknik; strategi för fosfor; ökad lokal samordning, uppbackning och uppföljning; samhällets prioriteringar för att stimulera kretsloppslösningar; lagstiftning och andra styrmedel, samt; nya perspektiv som bör belysas. FoU-behovet diskuteras utifrån olika aspekter, såsom incitament, aktörer och teknik.

Summary

The R&D programme “Organic waste as a plant nutrient resource” has included research on organic waste and its different routes from source or treatment facility to arable land, with complementary studies of environmental effects. Systems analyses have been undertaken to view new technical solutions in a comparable context, to illuminate problems in the treatment chain. Studies of social acceptance and community preparedness for different solutions have also been included in the R&D programme. The results from the different projects are summarised in this final report – by the authors, but also by the project leaders, who have written summaries of their own projects. An attempt is made to formulate a holistic view on organic waste, and a number of areas are identified where further research and development is needed.

Several methods to use sewage sludge have been investigated. One study has shown that local use of wet sludge from small treatment plants may be economically feasible and, in addition, may reduce the nutrient losses and emissions to air. Irrigation of energy crops, such as willow, with biologically treated wastewater has been studied in pilot scale. This method can be effective and economical in small communities with access to arable land. Experiments have been performed in laboratory scale to strip phosphorus from wastewater with reactive filter media. The plant availability of sorbed phosphorus was also studied. Studies of source separation of human urine have included the whole chain from the toilet to the field. The hygienic quality of the urine was high after storage for 1-6 months. Cultivation experiments showed that the fertiliser value of human urine was somewhat lower than for commercial fertiliser. Different methods to improve the hygienic quality of organic waste have been evaluated with respect to technical aspects and survival of pathogens. Wet composting appears to be a suitable method for small-scale co-treatment of sewage and organic household waste. Storage only does not appear to fulfil hygienic requirements. Systems analysis has included technical, economical and environmental aspects on different wastewater treatment alternatives. In model scenarios, nitrogen recycling was significantly improved when the current wastewater treatment system was changed, either to irrigation of energy crops with pre-treated wastewater or to source separation systems for urine or sewage. In addition, the irrigation alternative led to less discharge of nutrients and metals (cadmium and mercury) to receiving waters, but also to an increased metal load on arable land.

Studies have been made of organic waste as an issue for the society, where acceptance and preparedness of communities for new technology were major issues. Households appear to have high ambitions to be environmentally considerate, but the ambitions are often difficult to bring together with the lifestyle and resources of the family. There is also considerable uncertainty regarding hygienic demands and risks associated with new solutions. Studies in three municipalities showed that new technology is often brought onto the political agenda by local politicians. Studies in areas where urine separation have been implemented indicate that there is a need for better support. Many situations have emerged where established routines are lacking, and the need for guidelines on agreement and responsibility issues became obvious.

Starting from an attempt to a holistic view on management of organic waste, seven major areas have been identified where further research and development is needed: quality aspects on organic waste; treatment technology; a strategy for phosphorus; increased local coordination, support and follow-up; societal priorities to stimulate recycling solutions; legislation and other policy instruments, and; new perspectives that need to be illuminated. These R&D needs are discussed in relation to aspects such as incentives, actors and technology.

Förord

Huvudsyftet med FoU-programmet "Organiskt avfall som växtnäingsresurs" har varit att skapa tekniska, ekonomiska, miljömässiga, organisatoriska och sociala förutsättningar för att kunna recirkulera växtnäringen i organiskt avfall i ett kretslopp mellan stad och land. Utgångspunkten har varit att detta ska kunna ske på ett ur resurs- och hygiensynpunkt likvärdigt eller bättre sätt än via de lösningar som används idag.

FoU-programmet startades hösten 1994 och avslutas med denna rapport. Programmet har finansierats gemensamt av Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF), Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningens forskningsprogram (VA-FORSK), Bygghälsorådet (BFR), Naturvårdsverket samt Närings- och Teknikutvecklingsverket (NUTEK). I programmets slutskede tog Statens energimyndighet (STEM) över NUTEKs roll. De fem finansiärerna har gemensamt bidragit med drygt 14,5 miljoner kronor till de 32 projekt som hel- eller delfinansierats. Totalt mottog programmet ca 130 projektansökningar, vilka bereddes och bedömdes av en samordnare, H B Wittgren, och en styrgrupp bestående av representanter för finansiärerna: Sören Persson (SLF); Jan Falk (VA-FORSK); Henrik Graf, Kristina Björnberg, Erik Kärrman eller Björn Sellberg (BFR); Ola Palm eller Anders Lind (Naturvårdsverket), samt; Nina Österlund eller Josephine Bahr (NUTEK).

Rapporten är uppdelad i två huvuddelar. I del A ges en bakgrund (kap. 1-2), sammanfattas resultaten från de olika projekten (kap. 3-7), görs ett försök till helhetsbetraktelse (kap. 8), samt diskuteras behovet av fortsatt forskning och utveckling (kap. 9). I del B finns sammanfattningar av de olika projekten. Dessa har skrivits av respektive projektledare.

Det är vår förhoppning att rapporten ger en god översikt över vad som åstadkommits inom FoU-programmet, men att den också stimulerar till såväl fortsatta praktiska insatser för att nyttja växtnäringen i det organiska avfallet, som till vidare diskussion, forskning och utveckling inom området.

Uppsala och Linköping i mars 2000

Ola Palm
Jordbrukstekniska institutet

Marianne Löwgren
Linköpings Universitet

H B Wittgren
Linköpings Universitet

Innehåll

Sammanfattning	III
Summary	IV
Förord	V
Innehåll	VI

Del A

1	FoU-programmet <i>Organiskt avfall som växtnärsresurs</i>	1
	Bakgrund	1
	Syfte och inriktning	1
	Genomförda projekt	2
	Angränsande FoU-satsningar	6
2	Mängder och flöden	7
	Avloppsvatten och organiskt avfall från hushåll - Sammansättning	7
	Avloppsvatten och organiskt avfall från hushåll - mängder	7
	Organiskt avfall från handel, storkök och restauranger	9
	Organiskt avfall från livsmedelsindustri, slakteri och sockerindustri	10
3	Hanteringsmetoder för organiskt avfall	11
	Slam från avloppsreningsverk	11
	Bevattning med avloppsvatten	14
	Fosforavskiljning med filter	16
	Våtkompostering av källsorterat toalettavfall	16
	Källsortering av humanurin	17
	Behandling av organiskt hushållsavfall	19
4	Växtnäringens tillgänglighet	21
	Avvattnat slam från avloppsreningsverk	21
	Våtslam	21
	Humanurin	22
	Rötrester	22
5	Hygien	24
	Behandlingsmetoder	24
	Smittspridning	25
6	Systemstudier	26
	Simulering av olika systemlösningar	26
7	Organiskt avfall som samhällsfråga	30
	Hushållens acceptans av ny teknik	30
	Kommunernas beredskap för ny teknik	32
8	Ett försök till helhetssyn	34
	Aktörernas drivkrafter: ekonomi och ideologi	34
	Miljöpolitiska systemförändringar	35
	Mål och medel för en hållbar resursanvändning	36
	Möjligheter och hinder för ny avloppsteknik	37
9	FoU-behov - diskussion och rekommendationer	39
	Restprodukters kvalitet avgörande	39
	Teknikutveckling behövs	42
	Strategi för fosfor behövs	43

Bättre lokal samordning, uppbackning och uppföljning behövs.....	43
Kraftfullare prioriteringar från samhället behövs.....	43
Moderniserad lagstiftning behövs	44
Nya perspektiv behöver belysas.....	45
Referenser.....	46
Personliga meddelanden.....	48

Del B Projektsammanfattningar

Nr 1: Fosfor i avloppsvatten – växttillgänglighet och markreaktioner	55
Nr 2: Hantering av avloppsvatten och slam - inverkan på näring, miljö och ekonomi	57
Nr 3: Lokalt omhändertagande av icke avvattnat avloppsslam.....	59
Nr 4: Slamspridning på åkermark	61
Nr 5: Fåröprojektet, lokalt omhändertagande av slam	65
Nr 6: Avloppsslam i ekologisk odling.....	67
Nr 7: Inarbetning av avloppsslam – en metod att tillverka jord	71
Nr 8: Kommunalt avloppsvatten - en resurs i energiskogsodling	75
Nr 9: Näringsåtervinning från hushållsavlopp - naturliga sorbent och restprodukter som fosforfälla och gödselmedel.....	79
Nr 10: Lokalt kretsloppsanpassat system för behandling och utnyttjande av toalett- och köksavfall – en förstudie av planerad bebyggelse i Horn, Västerås	81
Nr 11: Resurshushållande system för cirkulation av växtnäring och mullämnen mellan samhälle och jordbruk	83
Nr 12: Källsorterad humanurin i kretslopp - förstudie.....	85
Källsorterad humanurin i kretslopp - huvudstudie	87
Nr 13: Restaurang-, handels-, och hushållsavfall som växtnärings- och jordförbättringsmedel – orienterande odlingsförsök med rötrest vid sådd och i växande gröda	91
Nr 14: Transport, lagring och spridning av rötrest från biogasanläggningar	93
Nr 15: Utvärdering och demonstration av lokalt växtnäringskretslopp – våtkompostering av avloppsslam och organiskt avfall på gårdsnivå	95
Nr 16: Östhammars kretsloppsverk.....	97
Nr 17: Tekniker för hygienisering av biologiskt avfall – funktioner och ekonomi	99
Nr 18: Kretsloppsanpassade avloppssystem i befintlig bebyggelse.....	101
Nr 19: Kretsloppsanpassade avloppssystem i befintlig bebyggelse – attitydundersökning.....	105
Nr 20: Kretsloppsanpassade avloppssystem - förutsättningar och möjligheter	107
Nr 21: Projektet systemanalys VA, delstudie om hygien	111
Nr 22: Organiskt avfall som växtnäringsresurs - systemstudie.....	115

1 FoU-programmet *Organiskt avfall som växtnäringsresurs*

BAKGRUND

Forskning och utveckling kring återföring av växtnäring från samhällets restprodukter till jordbruket tog fart under början av 1990-talet. Innan dess var åtminstone de anslagsbeviljande instanserna sparsamma med att stödja FoU inom detta område. Ett viktigt skäl till att man var restriktiv var att området berörde flera discipliner och ansvarsområden, och därför inte självklart passade in i strukturen.

Med det ökade samhälleliga intresset för kretsloppsfrågor - ofta exemplifierade med just återföring av växtnäring från urbana områden till jordbruket - såg många att det fanns behov av nya former för att stödja FoU inom detta sektorsövergripande område. I denna anda började en diskussion mellan BFR, Naturvårdsverket, NUTEK¹, SLF och VA-FORSK för att samordna och finna finansiering till goda projektidéer. Genom samarbetet fick de fem finansiärerna en god överblick över de områden inom vilka det saknades kunskap, respektive var det troligen fanns tillräckligt med kunskap. Förutom samordning av bedömningen av inkomna ansökningar uppstod därigenom ett behov av att även rikta satsningarna till vissa områden.

Så växte FoU-programmet "Organiskt avfall som växtnäringsresurs" fram, där man gemensamt bedömde ansökningar, men där sedan varje finansiär självständigt fattade de formella finansieringsbesluten. Programmets inriktning finns publicerad i rapporten "Organiskt avfall som växtnäringsresurs – potential och förslag till forsknings- och utvecklingsinsatser" (Wittgren 1996). Anslag inom ramen för programmet kunde sökas vid sammanlagt nio tillfällen under perioden oktober 1994 till oktober 1997. De sista projekten avslutades under 1999.

SYFTE OCH INRIKTNING

Huvudsyftet med programmet har varit att skapa tekniska, ekonomiska, miljömässiga, organisatoriska och sociala förutsättningar för att kunna recirkulera växtnäringen i organiskt avfall för att etablera ett kretslopp mellan stad och land. Växtnäringen kan utnyttjas för produktion av livsmedel, foder, energi eller andra fytokemiska produkter. Utgångspunkten har varit att detta ska kunna ske på ett ur resurs- och hygiensynpunkt likvärdigt eller bättre sätt än via de lösningar som används idag.

Programmet har omfattat det organiska avfallets väg från källa eller behandlingsanläggning till åkermark, med kompletterande studier av effekter på mark, gröda och omgivning. Vidare har systemstudier genomförts för att se nya tekniska lösningar i jämförbara sammanhang och för att belysa problem i behandlingskedjan. Slutligen har studier gjorts av organiskt avfall som samhällsfråga, där acceptans och kommuners beredskap för ny teknik varit huvudfrågor.

¹ Statens Energimyndighet (STEM) tog över NUTEK:s roll i programmets slutfas.

Programmet har varit öppet för studier av alla typer av organiskt avfall, såsom kommunalt avloppsvatten, avloppsvatten från livsmedelsindustrin, avloppsslam, källsorterat toalettavfall, källsorterade hushållssopor, storköksavfall m.m. Tyngdpunkten i programmet har dock legat i organiskt avfall från VA-sektorn.

En målsättning har varit att arbeta med både ett kort och ett långt tidsperspektiv. Arbeten som syftat till en bra hantering av befintligt organiskt avfall har genomförts, liksom programmet har stött, och även initierat, studier av de restprodukter som nya systemlösningar skapar.

GENOMFÖRDA PROJEKT

Totalt har 32 projekt hel- eller delfinansierats (Bilaga 1). Den totala budgeten för dessa projekt har varit på närmare 20 miljoner kronor, varav drygt 14,5 miljoner kronor kommit via FoU-programmet, och därmed från de fem finansiärerna. Av programmets 32 genomförda projekt har 9 antingen varit av sådan karaktär att de inte resulterat i en separat skriftlig rapport eller så har de utgjort delprojekt som sammanförts med något av de 22 projekt som redovisas i Del B. I Tabell 1 redovisas projekttitel, projektledare samt löpnummer som används genomgående i Del A vid hänvisning till respektive projekt i Del B.

I bakgrundsrapporten till programmet (Wittgren 1996) angavs FoU-behov inom områden som ansågs angelägna vid arbetets start. I Tabell 2 sammanfattas i vilken mån programmet innehållit projekt inom dessa prioriterade områden

Tabell 1. Projektnummer, projekttitel och projektledare för projekt som genomförts inom programmet. Se Del B för en sammanfattning av respektive projekt.

Nr	Projekt och projektledare
1	Fosfor i avloppsslam - växttillgänglighet och markreaktioner <i>E. Ottabong</i>
2	Hantering av avloppsvatten och slam - inverkan på näring, miljö och ekonomi <i>K. Linderholm</i>
3	Lokalt omhändertagande av icke avvattnat slam <i>M. Dalemo</i>
4	Slamspridning på åkermark <i>P. Nilsson</i>
5	Fåröprojektet - lokalt omhändertagande av slam <i>A. Lindholm, U. Jägerup</i>
6	Avloppsslam i ekologisk odling <i>J.-E. Persson, C. Cederberg, B. Hansson</i>
7	Inarbetning av avloppsslam – en metod att tillverka jord <i>H. Aspegren, P. Nilsson, T. Ohlsson</i>
8	Kommunalt avloppsvatten – en resurs i energiskogsodling <i>K. Hasselgren</i>
9	Näringsåtervinning från hushållsavlopp - naturliga sorbent och restprodukter som fosforfälla och gödselmedel <i>G. Renman</i>
10	Lokalt kretsloppsanpassat system för behandling och utnyttjande av toalett- och köksavfall - en förstudie av planerad bebyggelse i Horn, Västerås <i>C. Gruvberger</i>
11	Resurshushållande system för cirkulation av växtnäring och mullämnen mellan samhälle och jordbruk <i>L. Olrog</i>
12	Källsorterad humanurin i kretslopp – förstudie och huvudstudie <i>H. Jönsson</i>
13	Restaurang-, handels-, och hushållsavfall som växtnärings- och jordförbättringsmedel – orienterande odlingsförsök med rötrest vid sådd och i växande gröda <i>S. Steineck</i>
14	Transport, lagring och spridning av rötrest från biogasanläggningar för rent organiskt avfall <i>L. Thyselius</i>
15	Utvärdering och demonstration av lokalt växtnäringskretslopp – våtkompostering av avloppsslam och organiskt avfall på gårdsnivå <i>E. Norin</i>
16	Östhammars Kretsloppsverk <i>P. Ridderstolpe, J. Spangenberg</i>
17	Tekniker för hygienisering av biologiskt avfall - funktion och ekonomi <i>B. Mathisen</i>
18	Kretsloppsanpassade avloppssystem i befintlig bebyggelse <i>K. Hargelius</i>
19	Kretsloppsanpassade avloppssystem i befintlig bebyggelse – attitydundersökning <i>T. Eriksson</i>
20	Kretsloppsanpassade avloppssystem - förutsättningar och möjligheter <i>M. Löwgren, H. Söderberg</i>
21	Projektet Systemanalys VA - delstudie om hygien <i>A. Albihn, T.-A. Stenström</i>
22	Organiskt avfall som växtnäringsresurs – systemstudie <i>H. Jönsson</i>
	Kretsloppsanpassad ombyggnad av förortsbebyggelse - utvärdering av försök med urinseparerande toaletter i befintligt flerbostadshus i Kyrkbyn, Göteborg <i>S. Dahlman²</i>

² Projektet har inte inkommit med någon sammanfattning till denna slutrapport och saknar därför projektnummer.

Tabell 2. Områden som prioriterades vid starten av programmet (Wittgren 1996) och en sammansättning av projekt som genomförts inom respektive område (projektnummer inom parentes). Enskilda projekt nämns bara vid ett område, men en del projekt har i realiteten berört fler.

Prioriterat område	Kommentar	Genomförda projekt
Kommunalt avloppsslam till jordbruket	Många frågeställningar besvarade, dock inte spridningsteknik för våtslam.	- Fosfor i avloppsslam - växttillgänglighet och markreaktioner (1) - Slamspridning på åkermark (4) - Inarbetning av avloppsslam – en metod att tillverka jord (7)
Genom hydrolys utseparade slamkomponenter		Inga projekt har genomförts inom detta område
Kvävegödning från rejektvatten genom ammoniakstripping		Inga projekt har genomförts inom detta område
Slam från små avloppsanläggningar	Många frågeställningar besvarade, dock ej odlingsförsök med restprodukt från sambehandling av slam och hushållsavfall. Hygienfrågor kan behöva belysas ytterligare.	- Hantering av avloppsvatten och slam - inverkan på näring, miljö och ekonomi (2) - Lokalt omhändertagande av icke avvattnat slam (3) - Fåröprojektet - lokalt omhändertagande av slam (5) - Avloppsslam i ekologisk odling (6) - Resurshushållande system för cirkulation av växtnäring och mullämnen mellan samhälle och jordbruk (11)
Bevattningsvatten	Energiskogsbevattningsstudier har påbörjats. Där har många frågeställningar besvarats. För övrigt inga studier.	- Kommunalt avloppsvatten – en resurs i energiskogsodling (8)
Källsorterat toalettavfall	Främsta systemstudier. Flera frågeställningar besvarade.	- Näringsåtervinning från hushållsavlopp - naturliga sorbent och restprodukter som fosforfälla och gödselmedel (9) - Lokalt kretsloppsanpassat system för behandling och utnyttjande av toalett- och köksavfall - en förstudie av planerad bebyggelse i Horn, Västerås (10)

Källsorterad humanurin	Många frågeställningar har besvarats. Dock ej inom området "utan ingrepp i ledningsnätet".	- Källsorterad humanurin i kretslopp – förstudie och huvudstudie (12)
Organiskt hushållsavfall – anaeroab behandling eller kompostering?	Flera frågeställningar besvarade. Inga pilotprojekt har kunnat studeras.	- Restaurang-, handels-, och hushållsavfall som växtnärings- och jordförbättringsmedel – orienterande odlingsförsök med rötrest vid sådd och i växande gröda (13) - Transport, lagring och spridning av rötrest från biogasanläggningar för rent organiskt avfall (14) - Utvärdering och demonstration av lokalt växtnäringskretslopp – våt-kompostering av avloppsslam och organiskt avfall på gårdsnivå (15)
Systemstudier	Flera frågeställningar har behandlats, dock ej kring avtal för omhändertagande.	- Tekniker för hygienisering av biologiskt avfall - funktion och ekonomi (17) - Kretsloppsanpassade avloppssystem i befintlig bebyggelse (18) - Projektet Systemanalys VA - delstudie om hygien (21) - Organiskt avfall som växtnäringsresurs – systemstudie (22)
Acceptansstudier	Framför allt de boendes och kommunala tjänstemäns inställning har studerats.	- Östhammars Kretsloppsverk (16) - Kretsloppsanpassade avloppssystem i befintlig bebyggelse – attitydundersökning (19) - Kretsloppsanpassade avloppssystem - förutsättningar och möjligheter (20) - Kretsloppsanpassad ombyggnad av förortsbebyggelse – utvärdering av försök med urinseparerande toaletter i befintligt flerbostadshus i Kyrkbyn, Göteborg

Forskningen inom programmet har präglats av samarbete över traditionella ämnesgränser, t.ex. mellan agronomer och VA-ingenjörer. Samtidigt som många frågor har besvarats bör FoU-programmet därför också ha bidragit till att höja den tvärsektoriella kompetensen inom området organiskt avfall, där tekniska och agrara system ska knytas samman och fås att fungera tillsammans med användare. en viktig länk i samhällets utveckling för bättre hushållning med växtnäring. Forskning kring organiskt avfall som växtnäringsskälla pågår idag på många universitet, högskolor och andra instanser – långt fler än före programmet. Det finansiella ansvaret har till viss del tagits över av andra (MISTRA, VA- och avfallssektorn m.fl.).

ANGRÄNSANDE FOU-SATSNINGAR

Flera andra FoU-satsningar har tangerat och delvis överlappat programmets intresseområde:

"Systemanalys VA" var ett gemensamt projekt mellan Naturvårdsverket, VAV, LRF och Kommunförbundet. Projektet syftade till att utveckla generella verktyg för bedömning av hygien, miljöskydd, resurshushållning och brukarspekter vid nyanläggning samt om- eller tillbyggnad av avloppssystem i alla typer av bebyggelse. Större delen av projektet har genomförts som fallstudier i 5 kommuner (Naturvårdsverket 1998b). Delstudien om hygien har finansierats inom ramen för FoU-programmet (Projekt 21).

Stiftelsen för miljöstrategisk forskning (MISTRA) finansierar ett långsiktigt forskningsprogram inom VA-sektorn – *"Sustainable Urban Water Management"*. Programmet syftar till att göra städernas vatten- och avloppssystem mer resurs- och energieffektiva utan att göra avkall på hygien, driftsäkerhet, användarvänlighet och miljöpåverkan. Programmet startade under 1999 och kommer därför att kunna bygga vidare på resultaten från *"Organiskt avfall som växtnäringsskälla"*.

Avfallsforskningsrådet (AFR), senare Avfallsforskningsnämnden (AFN) har bl.a. finansierat projektet *"Systemanalys av organiskt avfall"* från vilket systemstudien i FoU-programmet (Projekt 22) hämtat modeller och data. AFR har upphört och AFN är under avveckling.

Miljöteknikdelegationen inrättades av regeringen hösten 1996, och kommer att arbeta t.o.m. år 2000. Delegationen är en fristående myndighet som arbetar under Närings- och Handelsdepartementen. Delegationen ska stimulera introduktion av teknik och processer som kan bidra till att minska miljöproblemen, innebära nytta för samhället, samt skapa utvecklingsmöjligheter för näringslivet. Bl.a. har man stött projekt kring biogasteknik och miljöanpassning av enskilda avlopp.

Statsmakterna har gjort/gör två stora satsningar för att stimulera till så kallad ekologisk omställning i samhället. *Kretsloppsmiljarden* var ett investeringsstöd med tre syften: 1) att åstadkomma miljöförbättringar, 2) att driva på den tekniska utvecklingen inom miljöområdet, och 3) att skapa sysselsättning genom kretsloppsanpassning av byggnader och teknisk infrastruktur. Kretsloppsmiljarden är sedan april 1999 avvecklad. Via stöd till *lokala investeringsprogram* (LIP) fördelas via Miljödepartementet årligen statliga medel till bl.a. åtgärder för kretsloppsanpassning av avfalls- och avloppshantering. Flera projekt, där nya lösningar provas, har fått stöd till investeringar denna väg.

2 Mängder och flöden

AVLOPPSVATTEN OCH ORGANISKT AVFALL FRÅN HUSHÅLL - SAMMANSÄTTNING

Större delen av hushållens dricksvatten blir avloppsvatten – d.v.s. ca 190 liter per person och dygn. I detta finns ca 0,1 liter fekalier och ca 1,5 liter urin (Tabell 3). Variationen i mängd, flöden och sammansättning är stor mellan olika hushåll, men ju större ett system är desto närmare schablonen kommer man.

Tabell 3. Sammansättning på hushållspillvatten och fast organiskt hushållsavfall. Data från Naturvårdsverket (1995a) där inte annat anges (tabell från Projekt 22).

	Enhet	Urin	Fekalier	BDT	Summa i avloppsvatten	Fast organiskt avfall
Flöde	kg/p,d	1,5 ^{1,2}	0,1 ²	150	190	0,22 ⁵
Torrsubstans	g/p,d	60	35	80	175	66
Totalkväve	g/p,d	11	1,5	1,0	14	1,3 ⁵
Totalfosfor	g/p,d	1,0	0,5	0,3 ³	1,8	0,25 ⁵
Kalium	g/p,d	2,5	1,0	0,5	4,0	0,61 ⁵
BOD ₇	g/p,d		20 ⁷	28	48	-
Bly	mg/p,d	0,024 ⁴	0,020	3,0	3,0	0,66 ⁶
Kadmium	mg/p,d	0,0024 ⁴	0,010	0,60	0,61	0,0085 ⁶
Kvicksilver	mg/p,d	0,0010 ⁴	0,063	0,060	0,12	0,0018 ⁶
Koppar	mg/p,d	0,10 ⁴	1,1	6,0	7,2	2,2 ⁶
Krom	mg/p,d	0,044 ⁴	0,020	5,0	5,1	0,66 ⁶
Nickel	mg/p,d	0,14 ⁴	0,074	3,0	3,2	0,46 ⁶
Zink	mg/p,d	0,47 ⁴	11	50	62	5,3 ⁶

1) Hellström och Kärrman (1996)

2) Spolvatten exkluderat

3) Sundberg, pers. med.

4) Jönsson m. fl. (1998)

5) Sonesson och Jönsson (1996),

Bjuggren m. fl. (1998)

6) Eklind m. fl. (1997)

7) Avser urin + fekalier

Det finns ytterst få litteraturuppgifter om sammansättning av fast organiskt hushållsavfall. Sammansättningen är mycket heterogen och beror av en rad faktorer, såsom systemets utformning, användarnas motivation och konsumtionsvanor. Uppgifterna i Tabell 3 bör därför användas försiktigt.

AVLOPPSVATTEN OCH ORGANISKT AVFALL FRÅN HUSHÅLL - MÄNGDER

Idag flödar en stor del av växtnäringen som finns i mat och livsmedelsråvaror linjärt från åker, via kök/storkök/industri och via avlopp eller fast organiskt avfall, till deponi och vattenrecipient. Detta linjära flöde leder långsiktigt till problem med övergödning i sjöar och hav. Det leder också till behovet att ersätta denna växtnäring med näring från andra källor. Åkern

gödslas med fosfor och kalium från fossila källor och med industriellt framställt växttillgängligt kväve. Genom att återföra all växtnäring som finns i avlopp och i organiskt avfall kan därför potentiellt såväl övergödningen som behovet av fossil och industriellt framställd växtnäring minska. Återföring av växtnäringen i avlopp och organiskt avfall är med andra ord ett nödvändigt, men inte tillräckligt, villkor för ett uthålligt jordbruk.

Att återföring av livsmedelsråvarornas växtnäring inte är ett tillräckligt villkor för att göra jordbruket uthålligt beror bland annat på att denna växtnäring endast utgör en del av den växtnäring som hanteras i jordbruket (Tabell 4). Jordbrukets specialisering har också lett till ett stort flöde av växtnäring från växtodlingsgårdar till djurgårdar. Djurgårdarnas stora omsättning av växtnäring har inneburit såväl ökad fastläggning av fosfor i marken som ökat växtnäringsläckage.

Av Tabell 4 framgår att mängden urban växtnäring är så stor, att den kan ge ett betydelsefullt bidrag till att minska jordbrukets användning av växtnäring av fossilt och industriellt ursprung. Toalettavloppets beräknade innehåll av växttillgängligt kväve, fosfor och kalium motsvarade t.ex. 20, 26 respektive 32 % av den förbrukade mängden handelsgödsel i Sverige (1995). Om även BDT-vattnets och det organiska hushållsavfallets innehåll av fosfor och kalium räknas med motsvarade fosfor- och kaliuminnehållet i de urbana avfallen (hushållsavlopp och organiskt hushållsavfall) ca 37 respektive 45 % av innehållet i förbrukad handelsgödsel. Mängden växtnäring i hushållsavfallet och hushållsavloppet är därmed så stor, att den, om den hanteras på bästa sätt, kan ersätta en betydande del av den inköpta handelsgödseln. Speciellt kan en stor del av handelsgödselns fosfor och kalium, som tillverkas av fossila mineral, ersättas.

Växtnäringsmängderna i spillvatten från hushållen i Sverige i Tabell 4 är teoretiskt beräknade utifrån uppskattningar av vad genomsnittspersonen lämnar ifrån sig. I Tabell 4 finns även angivet den uppmätta mängden växtnäring i slam från landets avloppsreningsverk. Skillnaden i fosformängd (5 900 ton i hushållsavlopp och 6 200 ton i slam) beror dels på osäkerhet i framför allt beräkningen av hushållens fosformängd, och dels på att det i slammet även finns fosfor som kommer från andra källor, t.ex. dagvatten och industri. Fosforavskiljningen i reningsverken är som regel över 95 %, varför i stort sett allt inkommande fosfor kommer att återfinnas i slammet. Fosfor i slammet kommer med andra ord till mycket stor del från hushållsavlopp.

I ett nationellt perspektiv finns det gott om plats i jordbruket för att återföra mer av den 'urbana' växtnäringen. De praktiska förutsättningarna varierar dock beroende på både den urbana och agrara strukturen, bl.a. hur människor, åkermark och husdjur geografiskt är fördelade. Eftersom transportbehovet för organiskt avfall som skall användas i odling är en viktig faktor, är den geografiska fördelningen och bebyggelsestrukturen viktiga orsaker till lågt utnyttjande av växtnäringen.

Tabell 4. Innehållet av kväve, växttillgängligt kväve, fosfor och kalium i olika organiska avfall och produkter i Sverige (8,9 milj människor) i ton per år.

Komponent/produkt	Kväve	Växttillgängligt kväve	Fosfor	Kalium
Urin ¹	35 700	33 900	3 300	8 100
Fekalier ¹	4 900	1 500	1 600	3 300
Summa i toalettavfall (urin + fekalier)¹	40 600	35 400	4 900	11 400
BDT-vatten ¹	3 300	1 000	1 000	1 600
Hushållsavlopp¹	43 900	36 400	5 900	13 000
Organiskt hushållsavfall exkl. handel, storkök och restaurang ²	7 000		1 000	3 100
Summa i organiskt avfall från hushåll (avlopp + hushållsavfall)	50 900		6 900	16 100
Handel, storkök och restauranger ²	900		230	540
Slakterier, sockerindustri och potatis- och grönsaksindustri ²	6 300		1 000	4 100
Slam från avloppsreningsverk ³	10 300	4 900	6 200	800
Skörderester ⁴	50 000		10 000	100 000
Stallgödsel ⁵	135 000	25 100	22 000	81 800
Handelsgödsel (1995) ⁵		172 800	18 900	35 800

1) Beräknat från Naturvårdsverket (1995b) förutom att BDT-vattnets innehåll av fosfor är satt till 0,3 g/person och dag (Sundberg, pers. med.). Befolkningen är satt till 8,9 miljoner innevånare.

2) Naturvårdsverket (1996a).

3) Mängder från Naturvårdsverket (1996a). Växttillgängligt kväve från analys i Naturvårdsverket (1995a) samt antagandet att 30 % av det organiska kvävet blir växttillgängligt.

4) Pettersson (1992).

5) SCB (1997). OBS! Växttillgängligt kväve avser mängder efter alla olika förluster.

Växtnäringen i flödet via livsmedel genom hushåll och avlopp/avfall blir genom människors beteende och systemets struktur förorenat i större eller mindre grad. Det organiska avfallens innehåll av metaller, svårnedbrytbara organiska ämnen och smittämnen har stor betydelse för möjligheterna till användning inom jordbruket på både kort och lång sikt.

ORGANISKT AVFALL FRÅN HANDEL, STORKÖK OCH RESTAURANGER

Organiskt avfall från livsmedelshandel, storkök och restauranger utgörs framför allt av matavfall. Jämfört med hanteringen av organiskt hushållsavfall är antalet aktörer relativt begränsat, samtidigt som mängderna är relativt stora. Därför finns goda förutsättningar för att organiskt avfall från handel, storkök och restaurang skall kunna källsorteras till god kvalitet, och ingå i system för återföring av växtnäring till jordbruket.

I en rapport från Naturvårdsverket (1996a) uppskattades mängden organiskt avfall från storkök och restauranger till 0,15 kg per serverad portion. Totalt uppskattades mängden organiskt avfall från livsmedelshandel, storkök och restaurang till ca 180 000 ton per år, varav ca 80 % kom från storkök och restauranger. Torrsubstanshalten (TS-halten) var ca 25 % för båda avfallstyperna.

Växtnäringsinnehållet i det organiska avfallet från livsmedelshandel, storkök och restauranger uppskattades till 20 kg kväve, 5 kg fosfor och 12 kg kalium per ton TS (Naturvårdsverket 1996a).

ORGANISKT AVFALL FRÅN LIVSMEDELSINDUSTRI, SLAKTERI OCH SOCKER-INDUSTRI

Huvuddelen av det organiska avfallet från livsmedelsindustrin (inklusive potatis- och grönsaksindustrin), slakterier, sockerindustrin m.m. används sedan länge som foder eller som gödsel/jordförbättringsmedel. I flera fall utgör avfallet kommersiella produkter, och är därför inte avfall i egentlig mening. Detsamma gäller andra livsmedelsrelaterade industrier såsom brännerier och bryggerier där i stort sett alla restprodukter används som kommersiella foderprodukter.

Avfallet från industrierna uppkommer inte jämnt fördelat över landet utan det är, av naturliga skäl, koncentrerat till jordbruksområden. Mängderna som hanteras årligen är stora: från slakterier ca 180 000 ton (23 % TS), från sockerindustrin ca 600 000 ton (43 % TS) och från potatis- och grönsaksindustrin ca 470 000 ton (7 % TS) (Naturvårdsverket 1996a).

Ny lagstiftning som syftar till att minska risken för smittspridning har varit en av drivkrafterna för att under 1990-talet förändra framför allt hantering och behandling av slakteriavfall (Jordbruksverket 1998). Sedan något år tillbaka finns rötningsanläggningar på orter med större slakterier. Där behandlas slakteriavfallet och biogas (metan) utvinns i processen. Gasen används sedan som fordonsbränsle eller för el- och/eller värmeproduktion.

3 Hanteringsmetoder för organiskt avfall

Som regel genomgår alla organiska restprodukter någon form av behandling innan det är möjligt att använda dem som växtnäringsresurs. Avloppsvatten från tätorter behandlas i ett avloppsreningsverk och ger där upphov till ett fosforrikt slam, avfall från livsmedelsindustrin kan behandlas i en biogasanläggning (anaerob behandling) etc. Behandlings- och hanteringsmetoderna kan även skifta för ett och samma avfall. Många nya metoder är idag under utveckling som syftar till att bättre än tidigare ta tillvara växtnäringen och minimera innehållet av föroreningar.

Av Tabell 4 framgår att hushållsavlopp utgör det kvantitativt viktigaste avfallsflödet av växtnäring i den urbana sektorn (d.v.s. undantaget de stora flödena av skörderester och stallgödsel i den agrara sektorn). Samtidigt är volymen mycket stor vilket gör att växtnäringen behöver koncentreras för att det ska bli möjligt att utnyttja den inom jordbruket. Koncentreringen kan ske på olika sätt. En väg är källsortering av avloppsvattnet, där stora flöden med liten växtnäringsmängd (t.ex. BDT-vattnet) behandlas separat från de mer koncentrerade flödena (t.ex. spillvattnet från toalettstolen). En annan väg går via koncentreringsprocesser, vilket är det vanliga sättet idag. Bevattningsmedel av avloppsvatten är även möjligt, men då ingår jordbruket som en del i behandlingen av avloppsvattnet och inte primärt som mottagare av en växtnäringsresurs.

I en rapport från Miljöteknikdelegationen (1998) diskuteras fyra tekniklinjer för miljöanpassning av enskilda avlopp. De fyra tekniklinjerna är urinavskiljning, svartvattenavskiljning, sorption i reaktiva filter samt kemisk fällning. Dessa lösningar anses kunna uppfylla de funktionskrav som ställts upp tidigare i rapporten. När Miljöteknikdelegationens rapport publicerades var FoU-programmet i sitt avslutningsskede och finansiering av nya projekt hade upphört. Alla fyra tekniklinjerna har berörts i FoU-programmet men generellt kan man dock konstatera att det återstår teknikutveckling såväl som acceptans- och organisationsproblem innan det finns väl fungerande lösningar för enskilda avlopp.

Nedan sammanfattas resultaten angående olika hanteringsmetoder för organiskt avfall som studerats inom FoU-programmet. Till projekten som ingått i FoU-programmet refereras med projektnummer (se Del B för utförligare sammanfattningar av respektive projekt).

SLAM FRÅN AVLOPPSRENINGSVRK

Slam är framför allt ett fosforgödselmedel. För att ta tillvara växtnäringen kan slam antingen användas direkt inom jordbruket eller som utgångsmaterial vid tillverkning av jord. Normalt används avvattnat slam (TS > 20 %) i jordbruket. Det blir dock allt vanligare att även ej avvattnat slam (våtslam) från enskilda avloppsanläggningar används. Jordbruksanvändning av avvattnat slam och våtslam, samt slam som utgångsmaterial för jordtillverkning, har studerats inom programmet.

Jordbruksanvändning av stabiliserat och avvattnat slam

I Sverige rötas >70 % av slammängden, och rötning är därmed den vanligaste stabiliseringsmetoden. Om metallhalterna i slammet inte överstiger gränsvärdena syftar de flesta av landets kommuner i södra och mellersta Sverige att återföra slammet till jordbruket. På grund av acceptansproblem används emellertid endast drygt en tredjedel inom jordbruket. Cirka 10 % används för jordtillverkning eller täckningsändamål. Lokalt kan dock dessa användningsområden vara betydande. Den återstående mängden, drygt 50 %, deponeras.

Flera faktorer avgör om slam kan återföras till jordbruket eller ej: formella krav som måste uppfyllas; tillgång till lämplig jordbruksmark inom rimligt avstånd; lagrings- och transportkapacitet som kan uppfylla jordbrukets krav, och, sist men inte minst; acceptans för återföring hos konsumenter, lantbrukare och livsmedelsindustri. Naturvårdsverket har beräknat att ca 80 % av slammängden vid de större avloppsreningsverken (> 100 000 pe anslutna) klarar metallgränsvärdena och rekommendationerna för maximalt innehåll av oönskade organiska ämnen (Naturvårdsverket 1996c). När det gäller avstånd till jordbruksmark, samt lagrings- och transportkapacitet är detta troligen bara hinder i Norrland och delar av Svealands inland.

År 2000 skärps bestämmelserna angående de mängder av metaller som årligen får tillföras jordbruksmark vid användning av slam (SNFS 1994:2 med ändringar i SNFS 1998:4). Om slammets metallhalter ligger nära gränsvärdena kommer sänkningen i den årliga maximala metalltillförseln att innebära en minskning av den mängd slam man kan sprida per hektar. Istället för som hittills, då det oftast är fosformängden som begränsar givans storlek, kommer då sannolikt någon metall att bli gränssättande. Det är troligt att detta i så fall kommer att innebära ett minskat intresse från jordbruket när det gäller slam användning. För de reningsverk som har låga metallhalter i slammet och där fosforinnehållet fortfarande begränsar givans storlek borde dock sänkningen av gränsvärdena leda till ökat intresse från jordbrukets sida. Orsaken är att kvaliteten då framstår som bättre, jämfört med slam där någon metall kommer att begränsa givans storlek.

Jordbruksanvändning av slam är relativt väldokumenterat utifrån flera aspekter, både nationellt och internationellt. Ett projekt med långliggande försök (start 1981) har delfinansierats inom ramen för detta FoU-program (Projekt 4). De viktigaste slutsatserna från detta projekt är följande:

- Slammets halt av metaller har minskat betydligt under den tid försöket pågått.
- Inga bekämpningsmedelsrester har påvisats i slammet enligt SLU's multianalys.
- Slamspridningen har gett en skördeökning som motsvarar 500-800 kr/ha. Sockerbetor visade störst ökning.
- Ingen ökning av metallhalter i mark eller i gröda har påvisats vid normal giva (1 ton TS/ha och år).
- Viss ökning av metallhalter i mark, men ej i gröda, har påvisats vid trefaldig giva.
- Slamtilförsel har i huvudsak haft positiv inverkan på den mikrobiologiska aktiviteten.
- Slamspridningen har haft positiv inverkan på daggmask. Ökad tillväxt och bättre reproduktion har inneburit bättre markförhållanden.
- Analys av organiska ämnen och dioxin har inte givit något påvisbart upptag (vetekärna och rapsfrö). Halter av DEHP (mjukgörare i plaster) är det enda ämne som förekommer signifikant i flera av proverna.

Hantering av ej avvattnat slam – våtslam

Slam från trekammarbrunnar och slutna tankar (enskilda avloppsanläggningar), liksom slam från mindre reningsverk, transporteras oftast till ett större reningsverk för behandling, avvattning, lagring samt spridning eller deponering. Det finns flera anledningar till detta, t.ex. krav på behandling av slam och/eller svårigheter att avsätta slam inom jordbruket. Slam från enskilda anläggningar liksom från mindre avloppsreningsverk utan avvattning har ofta vattenhalter >95 % vilket bl.a. innebär stora transportkostnader. I flera projekt (2, 3, 5 och 10) har man därför studerat möjligheten att lokalt omhänderta och i jordbruket avsätta ej avvattnat slam - så kallat våtslam.

I våtslam är större delen av kvävet organiskt bundet. Vid lagring eller deponering har man uppskattat att kväveförlusten blir ca 10-15% av slammets totala kväveinnehåll, vilket i stort sett är hela innehållet av ammoniumkväve (Projekt 2). Det är således viktigt att vid gödsling med slam ha analyser som speglar slammet växtnäringsinnehåll på åkern och inte vid reningsverket.

I de studier som genomförts har det varit lönsamt att ta hand om avloppsslam från reningsverk lokalt på åkermark (Projekt 3). Luftutsläppen från transportfordon har minskat, liksom växtnäringsförlusterna, jämfört med transport till större reningsverk. Speciellt om det är mer än 30 km transportavstånd till behandling och avvattning och det samtidigt finns åkermark i närheten av det mindre reningsverket. De minskade utsläppen beror framför allt på minskade transporter och inte på möjligheten att återföra näring, då innehållet är relativt lågt. Det bör också observeras att behovet av lagringskapacitet är ca 1,5 årsproduktioner och att de hygieniska konsekvenserna bör utredas ytterligare.

Lagring av våtslam innebär risk för emissioner av ammoniak. Om inte täckta bassänger/lager används bör man se till att det finns ett svämtäcke. Ett svämtäcke bildas spontant vid lagring av våtslam (Projekt 5) och för att inte bryta det bör påfyllning ske under svämtäckets yta.

För att minska de hygieniska riskerna med våtslam kan man våtkompostera det före jordbruksanvändningen. I ett sådant system kan även fast källsorterat organiskt avfall behandlas och på så sätt kan växtnäringen därifrån återföras till jordbruket (Projekt 10). För närvarande finns ett sådant system i drift i Kvicksund (Eskilstuna kommun) där toalettavfall och organiskt köksavfall från skolans kök våtkomposteras tillsammans med stallgödsel.

Inarbetning av slam – en metod att tillverka jord

Inarbetning av avvattnat slam innebär att stora årliga givor av avloppsslam sprids och arbetas in i matjorden på en särskilt iordningställd yta under en begränsad tid. Inarbetning syftar till att bryta ner och omsätta olika ämnen i slammet för att skapa en stabil och användbar jordprodukt. Användningsområdena för jorden är i parker, grönområden och vägslänter, samt vid restaureringsarbeten på skadade markområden såsom slagghögar, dagbrott, deponier och industrimarker.

Omfattande fältförsök, där teknik, miljöeffekter och slutproduktens användbarhet har studerats under flera år, har genomförts i Malmö och Halmstads kommuner. Malmöförsöken har varit de mest omfattande och delar av projektet har stötts via FoU-programmet (Projekt 7). Malmöförsöken har visat att inarbetningsmetoden fungerar utifrån tekniska, odlingsmässiga och ekonomiska aspekter. För att reducera metodens miljöpåverkan krävs att inarbetningsytan anläggs på sådant sätt att lakvatten från ytan omhändertas, eftersom utlakningen av kväve och klorid var betydande vid försöken. Även en viss utlakning av metaller observerades. Det är

naturligtvis ytterligare ett krav att användningen av den producerade jordprodukten sker i enlighet med Naturvårdsverkets generella riktvärden för förorenad mark (Naturvårdsverket 1996d).

Normalt är det slammets innehåll av tungmetaller, främst kadmium och koppar, snarare än innehållet av oönskade organiska ämnen, som är begränsande för användning av inarbetningsjord till vegetationsetablering på grönområden, vägslänter och täkter. Vid användning av inarbetningsjord på grönområden bör dock halten av speciellt PCB kontrolleras. Vidare kan inarbetningsjordens höga kväveinnehåll innebära en negativ miljöpåverkan genom förhöjda halter av kväve i mark- och grundvatten i områden där jorden används.

Odlingsförsök med olika gräsfrösorter på jord tillverkad med inarbetningsmetoden har visat goda odlingsresultat. Vid jämförelse med jord tillverkad genom blandning av färskt slam och sand gav inarbetningsjorden en jämnare tillväxt på gräsyten. På extensiva grönytor kan dock inarbetningsjorden resultera i en alltför kraftig tillväxt, vilket kräver större skötselinsatser.

Kostnaden för att omhänderta avloppsslam genom inarbetning har beräknats till 180-250 kr per ton vått slam, motsvarande 750-1 000 kr per ton TS. I denna kostnad ingår samtliga kostnader på inarbetningsytan inklusive bortförsel av jorden.

Slam som råvara

Slam kan även tjäna som råvara för utvinning av olika produkter, bl.a. fosfor, tungmetaller och lättnedbrytbart organiskt material för intern användning i reningsverkets kvävereningsprocess (Naturvårdsverket 1997c). Fördelen med detta är att fosfor och tungmetaller kan separeras och därmed får man en mycket ren fosforfraktion. Dessutom skapar reningsverket sin egen kol/energikälla (via hydrolys av slammet) som i vissa fall kan behövas för kvävereningsprocessen, alternativt för energiproduktion via røtkammare. Ytterligare en fördel är en drastiskt minskad volym på återstående material som behöver tas omhand (bl.a. ett tungmetallrikt slam/organisk fraktion). Metoderna är mer eller mindre färdigutvecklade. De främsta nackdelarna är att kväve och organiskt material inte kan återföras till jordbruket, kostnaderna, samt att processerna är tekniskt komplicerade och kräver delvis ny kompetens.

BEVATTNING MED AVLOPPSVATTEN

Energiskog, i huvudsak pil och vide (*Salix*), är den vanligaste grödan när bevattning används som metod för avloppsrening och återföring av näringsämnen till jordbruket. Även gräset rörfen förekommer, men i betydligt mindre omfattning. Vattenfaktorns betydelse i *Salix*odling är ofta förbisedd och har visats vara den vanligaste anledningen till att vissa odlingar inte nått upp till förväntad avkastning. Näringsbehovet, som normalt tillgodoses med konventionella handelsgödselmedel, skiljer sig inte nämnvärt från traditionella jordbruksgrödor. Genom att bevattna en *Salix*odling med förbehandlat avloppsvatten får man, förutom själva renings-effekten på avloppsvattnet, även en ökad produktion av biomassa på den bevattnade ytan. Denna effekt belyses ytterligare i kapitel 6 om "Systemstudier".

Inom Projekt 8 har en pilotanläggning i Kågeröd (Svalövs kommun) studerats där *Salix* bevattnades med biologiskt behandlat avloppsvatten under perioden 1992-97. Sedan 1997 drivs en fullskaleanläggning med 13 ha *Salix*odling.

Avloppsvattentillförseln under de fem växtsäsongerna varierade mellan 340 mm och 2 040 mm beroende på försöksled. Årsmedelnederbörden uppgick till 760 mm. Från och med det andra året uppgick bevattningsperiodens längd till 185 dygn per säsong, d.v.s. ca 6 månader. Resultaten från försöken indikerar att det för flödesutjämning under växtperioden endast erfordras lagringsvolymen motsvarande några få dygns avloppsvattentillrinning. Behovet av säsongslagring, då hela årsflödet av avloppsvatten skall användas för bevattning av *Salix*, kan bedömas motsvara 6-8 månaders avloppstillrinning.

Den för tillväxten optimala vattentillförseln var 6 mm/dygn, eller ca 1 000 mm per säsong, vilket tillförde 156 kg N, 27 kg P och 168 kg K. Avskiljningen av näringsämnen och organiskt material i mark-växt-systemet var effektiv och i stort sett oberoende av belastningen. Reduktionen i den omättade zonen, beräknad ur skillnaden mellan tillförd mängd i systemet och beräknad perkolerad mängd genom rotzonen till grundvattnet, varierade i de olika försöksleden mellan 82 och 93 % för totalkväve, 90 och 97 % för totalfosfor och 74 och 82 % för BOD₅. Avskiljningen bedömdes i huvudsak vara en kombination av växtupptag, filtrering och mikrobiell nedbrytning i rotzonen, samt denitrifikation.

Koncentrationerna av makronäringsämnen (N, P och K) och metaller (Cu, Zn, Pb och Cd) i stamveden var oberoende av mängden tillförd avloppsvatten. Skillnaderna mellan klonerna var också små. Generellt minskade halterna av näringsämnen och metaller i takt med tillväxten av stamved.

Försöken visade att dimensionering med hänsyn till optimal tillväxt hos *Salix* troligen innebär en viss överkapacitet i mark-växt-systemet med avseende på avskiljning av kväve, fosfor och BOD. Under dessa förutsättningar kan metoden huvudsakligen betraktas som återvinning av avloppsvatten, där resurserna i det förbehandlade avloppsvattnet ersätter motsvarande mängder handelsgödsel och bevattningsvatten.

Om målet primärt är avskiljning av närsalter i *Salix*odling tyder resultaten på att den erforderliga ytan kan halveras utan att reningseffekten - åtminstone kortsiktigt - går förlorad. En sådan dimensionering innebär troligen att det sker en betydande ackumulering av fosfor i marken som på sikt kan läcka till yt- eller grundvatten, samt att en stor andel av den återförda kvävemängden går förlorad till atmosfären via denitrifikation. Dessutom reduceras mängden biomassa som kan produceras med minst 25-30% per ytenhet till följd av vattenövermättnad i rotzonen.

Med de erfarenheter som hittills finns behövs det ca 50-100 m² åkermark per person (Projekt 8). Dessutom tillkommer dammar för säsongslagring av avloppsvattnet för att kunna bevattna under växtsäsongen. Ett samhälle med 10 000 invånare kräver därför mellan 50 och 100 ha åkermark vid bevattning av *Salix*. Denna areal måste dessutom finnas i nära anslutning till det befintliga reningsverket där avloppsvattnet har förbehandlats. För större städer är därför bevattning med avloppsvatten ett mindre lämpligt alternativ till annan teknik för återföring av växtnäring från avloppsvattnet till jordbruket. Däremot lämpar sig tekniken väl för mindre samhällen där man samtidigt har behov av att förbättra/förändra avloppsvattenreningen. Den möjliga drivkraften för denna lösning är behovet av förbättrad/förändrad avloppsvattenrening där återföringen av växtnäring ger ett positivt mervärde.

FOSFORAVSKILJNING MED FILTER

Dagens småskaliga avloppsreningsteknik med slamavskiljning och behandling av spillvatten genom infiltration eller markbädd innebär små möjligheter att återvinna näringsämnen. Dessutom är fosfor- och kväveavskiljningen ofta otillräcklig. Ett sätt att förbättra detta är att förbehandlat spillvatten från enskilda eller mindre avloppsanläggningar leds till ett filter med adsorberande material som är utbytbart (Projekt 9). Detta innebär att fosfor temporärt fixeras i ett material som sedan kan bytas och användas som jordförbättringsmedel och/eller P-gödsel. "Fosforfällan" skulle kunna anpassas till såväl befintliga infiltrationsanläggningar som till helt nya koncept. Material som visat sig vara effektiva både som P-fastläggare och P-avgivare till grödor på fältet skulle direkt kunna finna sin marknad i kombination med vissa typer av befintliga lösningar.

Filtren kan bestå av en rad olika material, ett eller flera blandade i samma filter. Spillvattnets uppehållstid i filtret är bl.a. avgörande för hur mycket fosfor som kan fastläggas. Vissa filtermedia, t.ex. slagg, kan även ta upp tungmetaller.

Masugnsslagg har visat sig vara ett utmärkt material. I ett långtidsförsök fastlades kontinuerligt över 95 % av den tillförda fosfor. Slaggen innehåller kalciumoxid och används redan idag på vissa platser som kalkningsmedel i jordbruket. Lika bra fastläggning konstaterades för ett naturligt kalkmaterial, särskilt efter att det upphettats. Även Leca (*light expanded clay aggregate*) har testats.

Den fastlagda fosfors växttillgänglighet har undersökts med dels en extraktionsmetod, och dels i kärlförsök. Fosfortillgänglighet var bäst i den behandlade kalken medan fosfor var hårdare bundet till slagg och Leca. Fältförsök pågår med filter-moduler.

VÅTKOMPOSTERING AV KÄLLSORTERAT TOALETTAVFALL

Avloppsvattnet från toalettstolen (urin, fekalier och spolvatten) kallas för svartvatten. För enskild bebyggelse är det relativt vanligt med uppsamling av svartvattnet i en sluten tank. I tätbebyggelse med gemensam VA-lösning finns endast svartvattensystem i några försöksområden, bl.a. en grundskola i Kvikksund (Eskilstuna kommun).

Eftersom svartvattnet innehåller över 80 % av växtnäringen i avloppsvattnet (se Tabell 4) och endast utgör några få procent av den totala avloppsvattenvolymen (volymen är bl.a. beroende av toalettens tekniska utformning) är dessa system intressanta för att kunna återföra växtnäring till jordbruket. Toalettfraktionen går även att få ren från yttre föroreningar. En stor del av smittämnen finns i svartvattnet vilket gör att det behöver hygieniseras före jordbruksanvändningen. På grund av lukt behöver svartvattnet även stabiliseras (lättnedbrytbart organiskt material omsätts biologiskt). För mindre flöden av svartvatten är våtkompostering en lämplig hygieniserings- och stabiliseringsmetod (Projekt 10, 15 och 17).

Våtkompostering (aerob termofil slamstabilisering) är en behandlingsmetod där slamformigt organiskt material stabiliseras i en reaktor genom aktiv syretillförsel. Våtkompostering karakteriseras av en hög behandlingstemperatur till följd av en kraftig värmeutveckling under den aeroba nedbrytningen. I en välisolerad reaktor kan 60-65 °C uppnås om råslammet innehåller tillräckligt mycket energi (Norin 1996). För att åstadkomma avdödning av sjukdomsframkallande mikroorganismer (hygienisering) utformas ofta anläggningen så att en viss temperatur (t.ex. 60 °C) hålls under en bestämd tid (t.ex. minst 12 timmar). Ett råslam har normalt tillräckligt stort energiinnehåll om TS-halten överstiger 3-4%. TS-halten bör å andra si-

dan inte överstiga ca 10% för att syretillförseln fortfarande skall vara effektiv och energisnål. Förutom hygienisering mineraliseras även organiskt bundet kväve till för växterna mer lättillgängligt kväve. Materialet blir även enklare att pumpa och sprida vilket förenklar jordbruksanvändningen.

Våtkompostering kräver energitillskott eftersom det åtgår el för att driva luftare och pumpar i behandlingsanläggningen. Normalt varierar elbehovet mellan 10 och 30 kWh/m³ behandlat slam vid kontinuerlig behandling. Om det finns ett uppvärmningsbehov i anslutning till anläggningen kan man utnyttja den utvecklade värmeenergin.

Traditionellt har våtkompostering använts för att behandla avloppsslam och flytgödsel, men i princip kan tekniken tillämpas på flera typer av material. Fast organiskt avfall passar bra för processen om materialet är lättnedbrytbart.

Svartvatten från en vattentoalett går normalt inte att våtkompostera utan tillsatsmaterial eftersom svartvattnet ensamt inte är tillräckligt energirikt (det innehåller för mycket vatten). Som tillsatsmaterial kan köksavfall, stallgödsel eller annat organiskt avfall användas.

Val av toalettssystem har en avgörande betydelse för utformningen av system för såväl omhändertagande av svartvatten som våtkompostering. Användning av extremt snålspolande toaletter (< 1 liter/spolning eller urinsortering kombinerade med liten vattenvolym för ”stor” spolning) är en förutsättning för att systemet överhuvudtaget ska bli intressant ekonomiskt, energimässigt och tekniskt. Om < 1 liter vatten per ”stor” spolning används kan blandningen svartvatten och köksavfall bli så energirik att ytterligare tillsatsmaterial inte krävs för att driva våtkomposteringsprocessen.

Flera förstudier kring svartvattenhantering och våtkompostering har genomförts i Sverige. Hittills (1999) har endast ett större system byggts där svartvatten, köksavfall och flytgödsel behandlas gemensamt (anläggningen finns i Kvicksund och svartvattnet kommer från en skola med knappt 500 personer). Erfarenheterna hittills indikerar att spolvattenvolymer behöver minskas ytterligare (idag finns ett vakuumsystem med ca 1,3 l/spolning) för att inte behöva blanda in stora mängder gödsel som energikälla.

Avskiljning av toalettavfallet kräver stora ingrepp i fastigheter om det ska införas i befintlig bebyggelse. Dessutom krävs ett separat system för bortledning och behandling av BDT-vattnet. Detta alternativ lämpar sig därför bäst vid nyproduktion eller vid omfattande renoveringar. Anläggningen för våtkompostering behöver vara av en viss storlek av både tekniska och ekonomiska skäl. Däremot behöver inte anläggningen lokaliseras till bebyggelsen utan kan med fördel placeras i anslutning till den jordbruksmark där användningen sedan skall ske. Bebyggelsen där avskiljning av toalettavfallet sker behöver därmed inte vara samlad och storleken på orten/bebyggelsen kan variera.

KÄLLSORTERING AV HUMANURIN

Större delen av den växtnäring som lämnar ett hushåll via spillvatten och organiskt hushållsavfall återfinns i urinen (se Tabell 4). Samtidigt är volymen humanurin liten. De hygieniska riskerna vid lagring och jordbruksanvändning av humanurin är små och innehållet av oönska ämnen, bl.a. metaller, är mycket lågt. Därför har system för avskiljning och hantering av humanurin rönt stort intresse.

FoU-programmet har delfinansierat ett större projekt där många aspekter på urinsortering har studerats (Projekt 12). Följande delstudier har ingått i projektet:

- avdödning av bakterier, protozoer och virus i källsorterad humanurin;
- fältstudier av olika indikatorbakteriers förekomst i källsorterad urin, inklusive biologisk "fingerprinting" i några anläggningar;
- undersökning av fekala streptokockers tillväxt vid olika temperaturer;
- utveckling och verifiering av en kemisk indikator för fekal inblandning i källsorterad urin;
- undersökning av 557 bakteriestammar (enterokocker) med avseende på eventuell antibiotikaresistens;
- mikrobiell riskanalys av urinsorterande avloppssystem;
- mätning av toalettanvändning, hemvaro samt mängd och sammansättning på den uppsamlade urinlösningen;
- enkätstudie rörande bl. a. funktion och driftsäkerhet;
- studier av stopp i toaletternas urinvattenlås i två bostadsområden;
- studier av faktorer som påverkar bildningen av stopp i toaletternas urinvattenlås
- studier av slam som bildas i ledningssystemet (pågående);
- undersökning av urinkvävets växtnäringssvärde och av eventuell växttoxisk effekt i såväl kärl som fältförsök;
- modellering och simulering av urinsorterande avloppssystem för att undersöka effekter på miljöpåverkan och naturresurshushållning av urinsortering under varierande förutsättningar;
- laboratoriestudier för att undersöka möjligheten att på olika sätt koncentrera urinen.

Några av de viktigaste slutsatserna från projektet är (projektet är slutrapporterat i Jönsson m.fl. 2000):

- Urinen bör lagras avskilt mellan en och sex månader före användning. Tiden beror på lagringsförhållanden och val av gröda.
- Efter lagringstiden bedöms det att urinen håller en hög hygienisk kvalitet vad gäller bakterier och protozoer.
- Risker orsakade av virus har ännu inte kunnat bedömas. Detta gäller även konventionella avloppssystem. Studier på urinsorterande system pågår.
- Under lagringen hygieniseras urinen. Detta sker snabbare och säkrare ju högre temperaturen är, ju mer koncentrerad urinen är och ju mer pH avviker från 7.
- Fekalier som hamnar fel, t.ex. i samband med diarré, bedöms utgöra den störst smittorisken.
- Större delen av urinen sorteras rätt. Andelen är högre ju bättre motiverade brukarna är.
- Stopp uppstår i toalettens urinvattenlås efter något års användning. De flesta stopp orsakas av hår, pappersfiber och utfällning av olika fosforföreningar och de är därför lätta att rensa. Övriga stopp är svåra att rensa och består av fosfor-, magnesium- och kalciumrika utfällningar på rörväggarna.
- Den källsorterade urinen innehåller mycket och lättillgänglig växtnäring.
- Halterna av tungmetaller i urinlösningen är mycket låga och risken för toxisk effekt på stråsåd är försumbar.
- Vattenutsläppen av kväve minskar kraftigt vid urinsortering. Om avloppsvattenreningen är dålig minskar även fosforutsläppen kraftigt, annars är minskningen mindre.
- Ammoniakutsläppet till luft för hela systemet bör, om rätt teknik används, kunna hållas under 10% av urinens kväveinnehåll.

- Urinsortering leder i regel till att endast små mängder energi sparas.
- Urinen kan koncentreras med flera olika metoder, vars resursbehov varierar.

BEHANDLING AV ORGANISKT HUSHÅLLSAVFALL

Rötning (anaerob behandling), kompostering eller våtkompostering (aerob behandling) är de metoder som kan komma ifråga för behandling av organiskt hushållsavfall innan det kan användas som gödsel och/eller jordförbättringsmedel. Metoderna syftar till att helt eller delvis hygienisera och stabilisera avfallet. Om rötning kombineras med ett hygieniseringssteg (där temperaturen höjs till minst 70 °C under minst 1 tim) får man en godtagbar hygienisering (behandlingskrav om animaliskt avfall ingår, Jordbruksverket 1998).

Av ekonomiska och tekniska skäl väljer man ofta att sambehandla det organiska hushållsavfallet med annat organiskt avfall, t.ex. från slakterier, livsmedelsindustri, restauranger och storkök, handel, gödsel, park- och trädgårdsavfall samt vallgrödor.

Kompostering leder till en fast slutprodukt som kan användas för trädgårds- och anläggningssändamål – d.v.s. en jordprodukt. Våtkompostering eller rötning leder till en flytande slutprodukt som kan användas som gödselmedel inom jordbruket. Vilken behandlingsmetod som väljs är beroende av flera faktorer där ekonomi och avsättning av slutprodukten är de viktigaste (Projekt 10). Ekonomin är i sin tur beroende av en rad faktorer, där de viktigaste är kostnader för andra behandlingsalternativ (främst deponering och förbränning), vilka mängder som ska omhändertas, samt intäkter från försäljning av gas och/eller värme.

Det fasta organiska avfallet innehåller förutom växtnäring även energi som kan vara intressant att ta tillvara, t.ex. i form av biogas som bl.a. kan användas som fordonsbränsle. Livsmedelsindustrins organiska avfall utgör därför en viktig resurs som till stor del redan tas tillvara bl.a. via behandling i biogasanläggningar (speciellt slakteriavfallet) innan det förs tillbaka till jordbruket. Däremot är det bara begränsade mängder av det organiska avfallet från handel, storkök, restaurang och hushåll som hittills behandlas och återförs till jordbruket. Fram till 1997 användes en del av handelns, storkökens och restaurangernas organiska avfall som djurfoder. Men i och med införandet av ett EU-direktiv via SJVFS 1998:34 måste allt organiskt avfall behandlas genom kokning innan det får användas som foder. Även slakteriavfall berörs av detta regelverk (se nedan). Detta har inneburit att i stort sett allt organiskt avfall som tidigare använts som djurfoder istället deponeras. I och med deponiskatten och förbudet att deponera organiskt avfall från och med år 2005 (Renhållningsförordningen 1998:902) kommer huvuddelen av detta avfall att behandlas i syfte att utvinna energi och kunna återföra växtnäringen alternativt förbrännas.

Avfallet från flertalet av landets större slakterier tas idag omhand i röttningsanläggningar (biogasanläggningar). Hittills har 8 större biogasanläggningar byggts. Vid dessa anläggningar behandlas även annat organiskt avfall från t.ex. restaurang och storkök, handel, livsmedelsindustri m.m. Rötrestmängden från dagens biogasanläggningar är ca 200 000 ton/år (Edström 1999, pers. med.). Orsaken till att man valt anaerob behandling av detta avfall är möjligheten att utvinna energi i form av biogas (metan) från processen. I flera fall används sedan biogasen som fordonsbränsle.

För biogasanläggningar (rötanläggning där den producerade biogasen används) har Nordberg m.fl. (1998) angivit storlekskriterier för etablering av anläggningar i Sverige. Utgångspunkten i bedömningen var kommuner med >20 000 invånare i tätorten (vilket finns i 55 av landets

kommuner). Med denna storlek på tätorten bedömdes det finnas avsättning för biogasen till fordonsdrift, i första hand till större fordonsflottor (linjetrafik, taxi, distribution etc.), men på sikt även till privata personbilar. Biogasanläggningarna kan delas in i tre kategorier med avseende på de material som behandlas (rötas).

Kategori 1

Den potentiellt tillgängliga energin i matrester, industriella restprodukter och reningsverksslam och eventuellt även park- och trädgårdsavfall (d.v.s. restprodukter som ger en inkomst i form av en behandlingsavgift) måste överstiga 10 GW/år. Detta motsvarar en anläggning på 1,1 MW, vilket bedöms vara den minsta anläggningsstorleken som bör uppnås för att produktionskostnaden skall understiga 30 öre/kWh.

Kategori 2

Andelen matrester och industriella restprodukter skall vara minst 50% vid samrötning med vallgröda, där den totala energin motsvarar 10 GWh/år (1,1 MW anläggning). Träck och urin i flytgödsselform samt park- och trädgårdsavfall kan ingå om den totala potentiellt tillgängliga energin motsvarar minst 15 GWh/år (1,7 MW anläggning). Med dessa förutsättningar bör produktionskostnaden vara <40 öre/kWh.

Kategori 3

Den totala potentiellt tillgängliga energin, d.v.s. alla lantbruksrelaterade-, kommunrelaterade- och branschspecifika restprodukter, måste uppgå till minst 15 GWh/år. I en sådan anläggning bedöms produktionskostanden för gasen vara ca 50-60 öre/kWh. Denna höga produktionskostnad medför att dessa anläggningar egentligen ligga utanför det 10-åriga perspektiv, vilket är det normala när potentialer bedöms.

Oberoende av behandlingsmetod är graden av föroreningar avgörande för om det behandlade organiska hushållsavfallet kan avsättas som gödsel och/eller jordförbättringsmedel. Föroreningar kan dels vara metaller och oönskade organiska ämnen, men även plast, glas och andra synliga föroreningar. Eftersom det saknas regelverk för jordbruksanvändning av kompost och rötrest har branschen (via RVF – Svenska Renhållningsverksförbundet) tillsammans med framför allt Naturvårdsverket utarbetat ett förslag till certifieringssystem för kompost och rötrest från organiskt avfall (AFR 1998). Där finns bl.a. förslag till maximala halter för metaller och synliga föroreningar.

Kvaliteten på rötresten från dagens anläggningar är som regel god när det gäller innehåll av tungmetaller men koncentrationen av växtnäring är för låg för att tillåta en rationell jordbruksanvändning. Ytterligare anläggningar är planerade och i dessa kommer bl.a. organiskt hushållsavfall att behandlas (Edström 1999, pers. med.).

4 Växtnäringens tillgänglighet

Av olika växtnäringsämnen intar fosfor en nyckelposition såväl i odling som i kretsloppet stad-land. Detta beror på att fosfor mer än andra växtnäringsämnen är en ändlig resurs. Samtidigt är fosfor lättare att återföra från avloppsvattnet och andra organiska avfall än vad kväve och kalium är.

En stor del av markens fosforförråd finns i markens organiska material (skörderester, markens mikroorganismer m.m.). Fosfor frigörs och blir tillgängligt för växtupptag efterhand som det organiska materialet bryts ned (mineraliseras). Kalkning av marken kan påskynda mineraliseringen avsevärt (Linderholm 1997).

AVVATTNAT SLAM FRÅN AVLOPPSRENINGSVÄRK

Vid rening av avloppsvatten används olika fällningskemikalier för att bl.a. binda löst fosfor. Järn- eller aluminiumsalter är vanligast i Sverige, men även kalk förekommer. Fältförsök som Linderholm (1997) genomförde i Dalarna visade inte på några skillnader i fosfors växttillgänglighet när olika fällningsmedel hade använts. Försöken visade även att fosforgödsling med slam ska betraktas långsiktigt. I ett flerårsperspektiv kunde man inte konstatera några skillnader mellan olika fosforgödselmedel (järn-, aluminium- eller kalkslam, samt handelsgödsel eller biobränsleaska).

Fältförsök i Skåne har däremot visat på en sämre skörd när slam använts som fosforgödselmedel, i jämförelse med handelsgödsel (Projekt 4; Andersson & Nilsson 1996). Om slam kombinerades med handelsgödsel ökade däremot skörden ytterligare jämfört med om enbart handelsgödsel användes.

En viktig skillnad mellan försöken i Dalarna och Skåne var markens fosforförråd (fosforklass). I försöken i Dalarna valdes fält med låg fosforklass, medan den i de skånska försöken var hög.

Ettåriga kärlförsök (Projekt 1) visade på ett lägre fosforutnyttjande från slam än från handelsgödsel. Även Linderholm (1997) observerade en sämre effekt första odlingsåret, medan det under år två och tre inte gick att se någon skillnad.

En slutsats från försöken är att slamfosfor är långsamverkande (det krävs tid för mineralisering och omvandling i marken) och att dess växttillgänglighet ökar när det är fosforbrist i marken. Ytterligare en slutsats är att fällningskemikalierna i slammet inte förefaller binda den fosfor som finns i marken i någon större grad.

VÅTSLAM

Jämfört med ett avvattnat slam innehåller våtslam (oavvattnat slam) relativt sett mer kväve och kalium per mängd fosfor. Mängderna varierar inom vida gränser beroende av ursprung och vilka verksamheter som är anslutna till VA-systemet.

Växtnäringens tillgänglighet i våtslam har bara varit föremål för enstaka studier i Sverige, bl.a. därför att huvuddelen av slammet avvattnas före användning. Intresset för våtslamshantering ökar dock.

Försöksresultaten i Projekt 6 visar att våtslam kan användas som ett kvävegödselmedel, men att kväveutnyttjandet är något lägre än för handelsgödsel. Lagring (>6 månader) ökar kväve-mineraliseringen och höjer därmed ammoniumhalten radikalt, vilket är positivt ur växtnäringssynpunkt men betyder samtidigt att risken för ammoniakavgång ökar. Dessutom förefaller lagring leda till en bättre hygienisk status

Våtslam som lagrats liknar i flera avseenden den rötrest som kommer från biogasanläggningar där slakteriavfall, gödsel, organiskt avfall från handel, restaurang och storkök samt hushåll behandlas anaerobt (rötas). En rad fältförsök håller på att genomföras med rötresten från dessa behandlingsanläggningar. Resultaten från dessa försök kommer att visa hur denna typ av flytande växtnäring kan användas inom jordbruket.

HUMANURIN

Mängden humanurin som årligen används inom jordbruket är mycket liten och därmed även den areal som gödslas (troligen < 100 ha/år). De praktiska erfarenheterna från jordbruksanvändning i full skala är därför mycket begränsade. Fältförsöken är även de få, och har ännu inte legat i tillräckligt många år för att man ska kunna dra några säkra slutsatser.

Humanurin är i första hand ett kvävegödselmedel, även om det också innehåller betydande mängder fosfor, kalium och mikronäringsämnen. Kvävet föreligger till stor del som ammoniumkväve (ca 90% av tot-N) och är därmed lätt upptagbart för växter. Fosfors växttillgänglighet har hittills inte utvärderats specifikt i något fältförsök, utan försöken har helt varit inriktade på kväveutnyttjandet.

Om humanurin lagrats i minst 6 månader anses den vara en hygieniskt säker produkt, vilket gör att den kan ytspridas i t.ex. växande gröda. Stor volym och därmed långsammare spridning samt risken för packningsskador gör att man ofta vill undvika att sprida flytande gödselmedel med hög kvävehalt omedelbart före sådd. Höstspridning eller tidig vårspridning utan att någon gröda sås direkt efteråt ökar risken för kväveförluster via urlakning och bör därför undvikas. Av dessa orsaker är det intressant att kunna sprida humanurin i växande gröda eftersom packningsproblemen blir mindre, lägligheten bättre och kvävet direkt kan utnyttjas av den växande grödan (Projekt 12, Jönsson 2000).

Fältförsök gödslade med humanurin visade på ett något lägre kväveutnyttjande jämfört med handelsgödsel. I några försök har även eventuella toxiska eller tillväxthämmande effekter studerats (Projekt 11). Inga sådana effekter har kunnat konstateras varken när humanurin getts som startgiva före sådd eller i växande gröda (Steineck m.fl. 1999).

RÖTRESTER

De årliga mängderna och därmed den gödslade arealen är betydligt större för rötresten än för humanurin. Om dagens anläggningar (1999) behandlar material upp till kapacitetstaket skulle den gödslade arealen bli ca 10 000 ha/år. Eftersom anläggningarna bl.a. har tekniska problem var den gödslade arealen sannolikt endast ca 5 000 ha under 1999 (Edström 1999, pers. med.).

Om rötningen föregås av ett hygieniseringssteg är rötresten en hygieniskt säker produkt att använda inom jordbruket. Rötresten har många egenskaper gemensamma med nöturin, t.ex. högt pH-värde, låg TS-halt och en liknande fördelning mellan ammonium- och organiskt bundet kväve. Cirka 2/3 av kvävet föreligger som ammoniumkväve och vid användningen skall man beräkna givan efter ammoniuminnehållet. Rötresten används, liksom humanurin, som ett kvävegödselmedel, men rötresten innehåller även betydande mängder fosfor, kalium och mikronäringsämnen (Projekt 13).

Både danska och svenska fältförsök visar att rötrester har förmåga att leverera växtnäring på liknande sätt som flytgödsel. Man får bättre växtnäringsutnyttjande om rötresten sprids före sådd än vid spridning i växande gröda. Om man däremot ger grödan en startgiva med handelsgödselkväve och sedan sprider rötresten, får man ett bättre utnyttjande av kvävet i rötresten än om enbart rötresten sprids i växande gröda utan startgiva (Projekt 13).

5 Hygien

De hygieniska aspekterna är ofta eftersatta i samband med att kretsloppsanpassade avlopps-lösningar planeras och byggs. En viktig anledning är att regelverk saknas angående hygieniska aspekter för behandling av avloppsvatten och användning av organiska gödselmedel inom jordbruket. Hantering av animaliskt avfall (från bl.a. slakterier, livsmedelsindustrin och storkök) är däremot reglerat (Jordbruksverket 1998).

BEHANDLINGSMETODER

För att hygienisera organiskt avfall kan man använda fysikaliska, kemiska och biologiska behandlingsmetoder eller kombinationer av dessa (Projekt 17). Eftersom hygieniska risker är ett brett begrepp, då det omfattar risker med avseende på många olika typer av organismer, väljer man ofta ut vissa indikatororganismer. Salmonellabakterier, parasitägg och fekala streptokocker är ofta använda indikatorer när det gäller organiskt avfall. Ett vanligt kriterium för att bedöma graden av hygienisering är att det inte går att påvisa varken salmonella eller livskraftiga parasitägg efter behandlingen. Vidare skall antalet fekala streptokocker vara mindre än 100 st. per gram behandlat material. I Projekt 17 har man gjort en genomgång av litteraturen som grund för att bedöma olika metoder för hygienisering av organiskt avfall. I Tabell 5 sammanfattas resultaten av denna genomgång, som bl.a. visar att hög temperatur ($>60-65\text{ }^{\circ}\text{C}$) under en viss tid (t.ex. pastörisering, torkning och termofila processer) eller behandling med basiska eller andra "starka" kemikalier (t.ex. osläckt kalk, perättiksyra och formalin) ger en tillfredställande hygienisering.

Däremot verkar inte lagring eller frysning/tining kunna uppfylla hygieniseringskraven. Enligt Naturvårdsverkets allmänna råd för jordbruksanvändning av slam (Naturvårdsverket 1990) har man dock tidigare bedömt långtidslagring (minst 6 månader) av t.ex. rötat slam från avloppsreningsverk som en tillfredsställande metod för hygienisering.

Risken för återinfektering måste alltid beaktas när man ska hygienisera organiskt avfall. En viktig faktor för att minska risken för återinfektering är att materialet är tillräckligt stabiliserat, d.v.s. att restmängden av biologiskt lättomsatt material är liten. Biologiska metoder ger både en hygienisering och stabilisering av avfallet medan fysikaliska metoder enbart innebär en hygienisering. De kemiska metoderna ger en hygienisering genom att förändra den kemiska miljön i materialet så att mikroorganismerna dör. Om den tillsatta kemikalien slutar att verka kan materialet återinfekteras (Projekt 17).

Tabell 5. Olika metoder som uppfyller vissa hygieniseringskrav. "Ja" innebär att det finns avdödningsdata som tyder på att kravet kan uppfyllas och "Nej" att det finns avdödningsdata som tyder på att metoden inte uppfyller hygieniseringskravet. Med tecknet "-" avses att data saknas (data från Projekt 17).

Behandlingsmetoder	Salmonella	Parasitägg	Fekala streptokocker
Fysikaliska metoder			
Pastörisering	Ja	Ja	Ja
Termisk torkning	Ja	-	Ja
Mikrovågor	Ja	Ja	-
Bestrålning	-	-	-
Frysning/tining	Nej	Nej	Nej
Kemiska metoder			
Kalkbehandling	Ja	Ja – om osläckt kalk	Ja
Kaliumhydroxid	-	-	Nej
Ammoniumhydroxid	-	-	Ja
Perättiksyra	Ja	Ja	-
Formalin	Ja	Ja	Ja
Klor, klordioxid	-	-	-
Biologiska metoder			
Anaerob stabilisering (termofil process)	Ja	Ja	Ja
Kompostering (reaktorkompostering)	Ja	Ja	Ja
Aerob termofil slamstabilisering	Ja	Ja	Ja
Lagring	Ja	-	-
Aktivslamprocess	Nej	Nej	Nej

SMITTSPRIDNING

Hygieniska aspekter på främst "kretsloppsanpassad" avloppshantering i glesbygd och mindre bostadsområden har studerats inom FoU-programmet (Projekt 21). Stor vikt har lagts vid risken för att smitta kan spridas indirekt till såväl människor som djur efter att restprodukten återförts till jordbruksmark. Risken för sådan indirekt smittspridning har i oftast bedömts som större än risken för direkt smittspridning (vid skötsel, reparationer, transport och hantering av systemet/restprodukten). Om smittämnen kommer ut i miljön så har vissa av dem en mycket lång överlevnadstid (flera år, i extremfall årtionden). Andra smittämnen har mycket lång inkubationstid (också flera år) och vissa kan dessutom etablera en smittareservoar bland vilda djur, utan att djuren behöver visa symtom på sjukdom. Många i dessa sammanhang aktuella sjukdomar är zoonoser, d.v.s. de kan smitta mellan människa och djur. En ökad spridning av smittämnen i miljön kan därför leda till svåra problem.

Det föreligger ett stort behov av information till beslutsfattare, intresseorganisationer, lantbrukare m.fl. angående smittspridningsriskerna från kretsloppsanpassade avlopps- och avfallssystem. Ytterligare kunskap behövs t.ex. nära det gäller systemens funktion och långsiktiga hållbarhet samt mikroorganismers överlevnad och spridning i miljön.

6 Systemstudier

I de systemstudier som genomförts inom FoU-programmet har tekniska, ekonomiska och miljömässiga effekter av olika hanteringskedjor vägts samman. Scenarier har konstruerats och studerats i konkreta situationer (Projekt 16 och 18) liksom i ett modellsamhälle (Projekt 22). Huvuddelen av underlaget till detta kapitel, liksom till kapitel 2 "Mängder och flöden", är hämtat från Projekt 22.

För att åstadkomma en återföring av växtnäring från den urbana till den agrara sektorn har lantbruket en central roll. Samverkan med lantbruket redan i inledningsskedet, när projekt planeras, är därför viktigt. Kravspecifikationer, där krav angående utsläpp, återföring av växtnäring, ekonomi, brukaraspekter etc. formuleras för de föreslagna lösningarna, har visat sig vara ett bra verktyg i planeringsprocessen (Projekt 16).

En metod för att göra en samlad bedömning och kunna jämföra olika avloppssystem är att tillämpa en klassificeringsmodell där olika aspekter betygssätts och sedan ger ett samlat resultat. Utfallet ska betraktas som ett hjälpmedel för att få en överblick när olika systemlösningar ska jämföras. Den modell som Projekt 18 arbetat med visar att urinsortering av toaletter kan vara lämpliga att använda i framtiden. Ett viktigt hinder är kostnaderna för lösningen. Detsamma gäller för övriga så kallade alternativa systemlösningarna. På den positiva sidan finns den ökade återföringen av kväve till jordbruket.

SIMULERING AV OLIKA SYSTEMLÖSNINGAR

I FoU-programmet "Organiskt avfall som växtnärringsresurs" har mycket ny kunskap genererats om olika kompletterande⁴ avloppssystem. Denna kunskap har syntetiserats i Projekt 22 och utgjort grund för jämförelser av olika system för hantering av avlopp och fast organiskt avfall. Projektet har även föreslagit FoU-behov. Dessa förslag stämmer väl med de FoU-behov som identifieras i kapitel 9.

I Projekt 22 har systemens miljöpåverkan, resursanvändning och hygien simulerats och jämförts med hjälp av analysverktyget ORWARE (ORGanic WASTE REsearch model). Systemens simulerade flöden (avlopp, avfall, kompost, slam, luft- och vattenutsläpp, m.m.) har jämförts med avseende på flöden av växtnäring och föroreningar till åkermark, vatten, luft och deponi. Potentiell miljöpåverkan från flödena har beräknats. De system som har jämförts är konventionellt system, energiskogsbevattnings, våtkompostering och urinsortering.

Vid jämförelsen har systemen belastats med hushållsavloppsvattnet (inklusive påslag för ovidkommande vatten) och det fasta organiska hushållsavfallet från 20 000 heltidspersoner, d.v.s. personer som uppehåller sig inom avloppssystemets område hela dygnet. Sammansättningen på avlopp och avfall har grundats på schablonvärden. Varken dagvatten, branschspecifikt avfall eller industriavlopp har ingått i jämförelsen.

Avloppet leds i det konventionella systemet i en spillvattenledning (duplikatsystem) till ett avloppsreningsverk med mekanisk, biologisk och kemisk rening. Kvävereduktionen i verket

⁴ Termen "kompletterande" avloppslösningar används istället för "alternativa" eftersom flera av avloppslösningarna för närvarande inte helt och hållet kan ersätta ett konventionellt avloppssystem

är 70%. Slammet rötas, avvattats, lagras och sprids sedan på åkermark. Rötgasen används för att producera elenergi och värme. Det källsorterade fasta organiska avfallet komposteras i en central kompost och sprids sedan på åkermark.

Systemet med energiskogsbevattning skiljer sig från det konventionella genom att avloppsreningsverket saknar både kemisk fosforrening och speciell kvävereduktion. I systemet med energiskogsbevattning lagras dessutom allt utgående avloppsvatten vintertid. Sommartid används det för bevattning av energiskog. Bevattningen ökar energiskogens avkastning och denna meravkastning av flis antas utnyttjas genom förbränning i ett värmeverk.

Systemet med våtkompostering skiljer sig från det konventionella genom att vakuumtoaletter (0,8 l/spolning) används. Klosettvattnet transporteras med vakuum till vakuumstationer. Det blandas med malt organiskt hushållsavfall och pumpas till en våtkompostreaktor, där det behandlas. BDT-vattnet behandlas i ett reningsverk med mekanisk, biologisk och kemisk rening, men utan speciell kvävereduktion. Rötslammet från BDT-vattenreningen och våtkomposten används på åkermark.

I systemet med urinsortering används urinsorterande toaletter. Den källsorterade humanurinen samlas in, hygieniseras genom lagring under minst 6 månader utan tillförsel av färsk urin, och används därefter som gödselmedel på åkermark. En annan skillnad mot det konventionella systemet är att reningsverket saknar speciell kvävereduktion, i övrigt är det identiskt.

Risken för direkt smittspridning från systemen har jämförts i en diskussion utifrån avloppsflödenas storlek och inblandning av fekalier. Risken för indirekt smittspridning har jämförts i en diskussion baserad på det intag av smittämnen Salmonella, EHEC och Cryptosporidium som grisar och kor beräknas kunna få. I den hygieniska jämförelsen antas, liksom i simuleringarna i övrigt, att systemen är i normal drift och att de fungerar som avsett.

De jämförda aspekterna har delats in i tre prioritetsgrupper med avseende på hur viktiga de olika aspekterna bedöms vara för valet mellan olika systemlösningar. I *prioritetsgrupp 1* finns hygien och de aspekter där avlopps- och avfallssystemet kan ge ett betydande bidrag (mer än 5 %) till samhällets antropogena miljöpåverkan eller resursförbrukning. I *prioritetsgrupp 2* finns aspekter där avlopps- och avfallssystemets påverkan är mindre, men fortfarande viktig (0,1-5 %). För aspekterna i *prioritetsgrupp 1* och *2* visas utfallet av jämförelsen mellan systemen i Tabell 6 på nästa sida. Avlopps- och avfallssystemets påverkan på aspekter i *prioritetsgrupp 3* är marginell, mindre än 0,1%, i förhållande till övrig antropogen påverkan och dessa aspekter behandlas därför inte mer i denna sammanfattning

Tabell 6. Resultat av jämförelser mellan konventionellt system, energiskogsbevattnings, våtkompostering och urinsortering. Det konventionella systemet är referensalternativ (R) (tabell från Projekt 22).

Aspekt	Konventionellt	Energiskog	Våtkompost	Urinsortering
Prioritetsgrupp 1				
Smittspridning	R	Potentiellt ofta bättre	Troligen betydligt bättre	Troligen lika
Eutrofiering hav	R	+++	+	=
Eutrofiering sjö	R	+++	+	=
Kadmium till vatten	R	+++	=	=
Bly och koppar till vatten	R	+++	=	=
Kvicksilver till vatten	R	+++	+	=
Fosfor till åker	R	=	=	=
Kväve till åker	R	+++	+++	+++
Kadmium till åker	R	--	=	=
Bly och koppar till åker	R	=	=	=
Kvicksilver till åker	R	--	-	=
Prioritetsgrupp 2				
Förorening	R	=	---	---
Energianvändning	R	=	---	=
Värmeproduktion	R	+++	=	=
Antal spillvattenledningar	R	=	Dubbla	Dubbla
Ytbehov, lagring	R	Mycket större	Större	Större
Fotooxidanter-NO _x	R	=	=	-
Fotooxidanter-organiska	R	=	+	=
Tungmetaller till deponi	R	=	=	=

= avvikelse med mindre än ± 25 % jämfört med konventionellt system.

+ resp. -, avvikelse med $\pm 26-50$ % jämfört med konventionellt system i positiv respektive negativ riktning.

++ resp. --, avvikelse med $\pm 51-75$ %.

+++ resp. ---, avvikelse med $> \pm 75$ %.

De eutrofierande utsläppen beräknades vara klart minst för systemet med energiskogsbevattnings (Tabell 6). Detta beror på att de enda utsläppen till vatten från detta system är den ökade utlakningen från åkermark, orsakad av gödsling med slam och kompost, samt den ökade lakvattenproduktionen från deponin, orsakad av det deponerade gallerrenset. Även för våtkompostsystemet minskar de eutrofierande utsläppen betydligt.

De tre undersökta systemen, energiskogsbevattnings, våtkompostering och urinsortering beräknades samtliga leda till en mycket stor ökning (12-16 ggr.) av flödet recirkulerat växttillgängligt kväve jämfört med det konventionella systemet. Vid energiskogsbevattnings ökade också flödena av kadmium och kvicksilver till åker kraftigt. Vid våtkompostering ökade flödet av kvicksilver till åker betydligt, medan ökningen för de övriga tungmetallerna var liten. Vid urinsortering var ökningen av tungmetallflödena till åker marginella för de undersökta metallerna.

Förutsättningar som har stor betydelse för hur jämförelsen mellan systemen utfaller beträffande smittspridning är: att våtkompostsystemet sköts så att den färdiga våtkomposten inte förorenas av obehandlat klosettwater och att inga patogener sprids med den luft som används i

vakuumssystemet, och; att vid energiskogsbevattnings måste placeringen av lagringsdamm och energiskogsodling väljs med omsorg och inhägnas.

Vid våtkompostering visade sig både transportavståndet och mängden spolvatten ha stor betydelse för systemets energiförbrukning, och speciellt för dess oljeförbrukning. Vid urinsortering var inverkan av transportavstånd betydande medan inverkan av spolvattenmängd var liten. Vid energiskogsbevattnings har givetvis avståndet mellan reningsverk och energiskog stor betydelse för ledningsdragningen.

I samtliga studerade system skulle flödet av tungmetaller till åker väsentligt minska, och flödet till deponi väsentligt öka, om slammet deponerades istället för att spridas på åkermark. Deponering av slammet skulle även minska återförseln av fosfor till åkermark. Denna minskning skulle vara lägst för våtkompostering, och klart högst för konventionellt system och energiskogsbevattnings. I Tabell 7 visas hur jämförelsen skulle utfalla vad gäller flöden till åker av näringsämnen och tungmetaller. Referensfallet i Tabell 7 är samma som i Tabell 6, d.v.s. konventionellt system där avvattnat rötslam och kompost från central kompostering av organiskt hushållsavfall sprids på åkermark.

Tabell 7. Flöden av näringsämnen och tungmetaller till åkermark från de ovan beskrivna systemen om slammet deponeras istället för att spridas på åkermark. Gradering och referenssystem är samma som i Tabell 6, d.v.s. konventionellt system med spridning av slam på åkermark utgör referens (tabell från Projekt 22).

Aspekt	Konventionellt	Energiskog	Våtkompost	Urinsortering
Fosfor till åker	- - -	=	=	-
Växttillgängligt kväve till åker	- - -	+++	+++	+++
Kadmium till åker	+++	++	+++	+++
Bly och koppar till åker	+++	+	++	+++
Kvicksilver till åker	+++	+	=	+++

Huvuddelen av forskningen inom FoU-programmet har ägnats åt olika hanteringsmetoder för organiskt avfall. Tyngdpunkten har legat på att finna de metoder som är möjliga för att återföra växtnäringssämnen till jordbruket under så hygieniskt och miljömässigt goda förutsättningar som möjligt, och som dessutom är rimliga inom en överskådlig framtid. Därmed har en utgångspunkt tagits i den befintliga infrastrukturen med avloppsledningar och reningsverk. Ny teknik har prövats i sådana fall då gamla, ofta enskilda, anläggningar har varit otillfredställande eller på försök vid renovering av flerfamiljshus från miljonprogrammets tid.

Motiven för att intressera sig för andra tekniska lösningar för hantering av organiskt avfall än de traditionella varierar inom och mellan inblandade grupper. De mest centrala aktörerna kan delas in i fyra huvudgrupper: medborgare, kommuner, staten och näringslivet. Utbytet mellan de fyra grupperna regleras genom incitament av olika slag: det kan vara tvingande lagar och regler, marknadspriser och kostnader som eventuellt justeras genom ekonomiska styrmedel i form av avgifter och skatter, eller information och utbildning som påverkar både beslutsfattare och dem som förväntas följa fattade beslut. Inom FoU-programmet har framför allt attityder och beteenden hos enskilda hushåll och kommuner studerats, men det är viktigt att komma ihåg att bakom utvecklingen finns ett antal intresseorganisationer, som bedriver en omfattande informationsspridning och lobbyverksamhet, och inte minst massmedia, som också påverkar acceptansen av nya metoder att hantera organiskt avfall.

Nya systemlösningarna påverkar medborgarna genom att det vanligen krävs nya eller förändrade beteenden. Företagen påverkas också, direkt i egenskap av teknikleverantörer, men också indirekt som producenter av varor och tjänster. Konsumenterna efterfrågan är, eller sägs åtminstone vara, av stor betydelse för den hållning som jordbrukets och livsmedelsindustrins organisationer intar till användningen av det organiska avfallet. För kommunernas del gäller, att de har skyldighet att ta hand om avfall och det kan i princip göras på olika sätt, utifrån såväl lokala förutsättningar som från de incitament som ges av den statliga miljöpolitiken. Därutöver finns även EU-regler som måste införlivas i verksamheten.

HUSHÅLLENS ACCEPTANS AV NY TEKNIK

Acceptansen av nya tekniska system har studerats både på individnivå och på organisationsnivå. I en rapport från Naturvårdsverket (1997a) redovisas en undersökning av attityder, värderingar och livsstilar hos olika kategorier av människor för att kartlägga beteenden och handlingsberedskap hos den enskilde individen vad gäller synen på kretslopp (Projekt 18 och 19). Dels fick hushåll (både fritidsboende och permanentboende) i tre kommuner (Tanum, Norrtälje och Kävlinge) besvara en enkät, dels genomfördes djupintervjuer med ett mindre antal hushåll. Studien visade, att hushållen överlag var väl medvetna om såväl globala miljöhot som mera näraliggande miljöproblem. Vad gäller åtgärder sågs lösningarna främst ligga hos myndigheterna genom skärpt lagstiftning och kontroll, men det fanns också önskemål om större ansvar från industrin och jordbruket. Hushållen såg sin roll som mera begränsad: att visa disciplin, samarbetsvillighet, sparsamhet och god vilja i största allmänhet.

I fråga om avfall fanns en medvetenhet hos de flesta om att källsortering är önskvärd. Det fanns dock en skepsis gentemot kommunernas sätt att hantera dessa frågor – kunde man lita på att inte allt ändå till slut hamnade i samma hög? Vad gäller hushållens inställning till VA fanns klara besked om att man ville ha kommunalt avlopp. Det ansågs som enkelt, säkert, tryggt, hygieniskt och man slapp att själv befatta sig med illaluktande restprodukter. Detsamma gällde toaletterna. Flertalet hushåll var nöjda med det system de hade, och detta gällde också dem som hade någon form av alternativt system. Däremot fanns en tveksamhet inför urinseparerande toaletter. Många kunde tänka sig en sådan om det verkligen var bra för miljön, men det skulle i så fall vara ett bra och beprövat system. Toaletten får inte lukta, bullra, vara skrymmande eller svår att städa. Det får heller inte bli dyrare.

När det gäller livsstil visade det sig att drygt 90 % gärna vill leva mer miljövänligt under förutsättning att det inte blir för krångligt, för tidskrävande eller dyrare än idag. Det krävs också att andra gör det och att jag får ut något av det. Sammanfattningsvis kan det sägas att hushållen har en hög ambitionsnivå som dock är svår att förena med familjens livsstil och resurser. En åldersrelaterad skillnad uttrycktes också i undersökningen, nämligen den att ungdomen är mera miljömedveten än den medelålders "slit- och släng"-generationen. Men det finns också en resonans för en mera kretsloppsanpassad livsstil hos de äldre, bland vilka många har upplevt tider då det mesta togs tillvara och återanvändes av ekonomiska skäl.

Inom det angränsande forskningsprogrammet Systemanalys-VA har breda studier gjorts av kretsloppsanpassning med tonvikt på urinsortering i olika typer av boendemiljöer (Naturvårdsverket 1998a och 1998b). Beteendestudien har redovisats i en särskild rapport (Widahl m.fl. 1999). I rapporterna redovisas en inventering av platser där det finns försök med urinsortering toaletter. Listan omfattar 4 hyreshus, 7 områden med bostadsrättsföreningar/småhus/radhus, 11 ekobyar och 3 semesteranläggningar. Av dessa valdes fyra områden för närmare studium: Smedens ekoby i Jönköping, Ekoporten i Norrköping (vilket är ett ombyggt hyreshus från 60-talets miljonprogram), Miljöhuset i Hallsberg (också en ombyggnad, i detta fall av ett åttavåningshus från 50-talet), och slutligen Södra Valsäng på Tjörn (som består av en grupp fristående villor och sommarhus, varav ungefär hälften är permanent bebodda). Med denna uppläggning ville forskarna fånga olika typer av anläggningar, både sådana för boende ur en normalpopulation och andra för boende som har en speciell miljömotivation. Resultaten är fokuserade på faktiska erfarenheter och problem vad avser teknikens funktion, skötsel och drift. Det handlar om hela kedjan från planering och projektering av en speciell tekniktillämpning (urinsortering toaletter) till lokal behandling och användning av restprodukterna, d.v.s. urin och komposterade fekalier.

I rapporten betonas det, att urinsorteringen för sitt genomförande har varit beroende av eldsjälar, antingen boende eller tjänstemän, som med stöd av delegerat ansvar drivit fram projektet. I Smeden och i Södra Valsäng sköter de boende själva de delar av VA-systemet som finns i det egna huset, och en frivillig driftsansvarig har hand om systemet i stort. I Södra Valsäng är hushållens ansvar inte lika omfattande som i Smeden då man valt ett gemensamt reningsverk med anställd personal. I Ekoporten är det fastighetsskötaren som tar hand om fekalie/hushållskomposter, tömning och kontakten med en bonde för hämtning av urin och kompost. I Hallsberg förs fekalier till det kommunala avloppet. Ju mindre transparent systemet är för de boende, desto viktigare är informationen till hushållen för att undvika inblandning av ovidkommande föremål och skadliga ämnen i restprodukterna. I Smeden blir brukaransvaret mest tydligt, medan källsorteringen för hyresgästerna i Hallsberg endast blir synlig i form av en tankbil som tömmer urintanken. Forskarna anser dock, att de boendes generella miljöengagemang

gemang har vuxit genom kontakten med de alternativa VA-systemen, oavsett fysisk utformning och ansvarsfördelning.

Studien visar också att många situationer har uppstått där etablerade rutiner saknats. Bland annat har behovet av modeller för avtals- och ansvarsfrågor blivit uppenbart. Målsättningen är att långsiktiga avtal skall finnas med jordbrukare som kan sprida urinen och utvärdera resultatet på skörden, men detta led i hanteringskedjan har varit bekymmersamt. Intresse finns hos vissa lantbrukare, men EUs regler för ekologisk odling, liksom kvalitetssäkringen av restprodukter, är problem som ännu inte är lösta. Det råder också stor osäkerhet om hygieniska krav och risker. Det finns ett ganska spritt motstånd mot att äta produkter som har odlats med hjälp av humanurin och fekaliekompost, och för närvarande används det komposterade materialet mestadels som jordförbättringsmedel på rabatter och gräsmattor.

Vid Institutionen för Konsumentteknik vid Chalmers pågår en utvärdering av en kretsloppsanpassad ombyggnad av förortsbebyggelse, där det gäller försök med urinseparerande toaletter i ett befintligt flerbostadshus i Kyrkbyn, Göteborg. Intervjuer har gjorts i flera omgångar med nyckelpersoner i byggprocessen: arkitekter, entreprenörer, samt med olika medlemmar i hushållen. Resultaten är ännu inte bearbetade. Dahlman (1999, pers. med.) pekar på samma problembild som den som redovisas av Naturvårdsverket (1998a): det finns ännu många olösta frågor vad gäller avsättningen av restprodukter och tillhörande frågor vad gäller kvalitetsansvar, transporter och investeringar, och de hygieniska aspekterna är inte tillräckligt utredda. Dahlman har ett konkret förslag: en kommunal tjänst som VA-konsulent borde skapas som stöd för projekt med ny avloppsteknik. En sådan skulle samla know-how, ha kunskap om avtal, svara för utbildning och katastrofberedskap och därigenom minska den sårbarhet som nu finns genom att så mycket arbete och ansvar vilar på ett litet antal eldsjälar.

KOMMUNERNAS BEREDSKAP FÖR NY TEKNIK

Delvis inom FoU-programmet (Projekt 20), har det granskats hur kommunerna har tolkat begreppet kretsloppsanpassning. Genom en enkät som omfattat samtliga kommuner i landet kan man konstatera att de metoder som hittills dominerat är återanvändning av slam, bevattning med avloppsvatten och urinsortering. År 1997 använde 105 av Sveriges 288 kommuner allt slam till något ändamål. I 12 kommuner användes mindre än 20 %. Resten av kommunerna ligger någonstans mellan dessa ytterligheter. Huvudintrycket är, att slamanvändning idag inte är någon försöksverksamhet utan en etablerad form av återanvändning. Brist på villiga mottagare och lämplig mark, samt höga metallhalter utgör komplikationer i några kommuner. I 44 kommuner har man valt att i varierande omfattning arbeta med bevattning och urinsortering, här kallat "ny teknik". Metoderna utesluter inte varandra, en kommun kan tillämpa två eller tre metoder. Bevattning är den ovanligaste. Endast 12 kommuner uppger att avloppsvatten används för bevattning, och då främst bevattning av energiskog. För de bevattningsanläggningar som finns på Öland och Gotland gäller, att metoden kommit till stånd på grund av vattenbrist snarare än på grund av en önskan att ta tillvara näringsinnehållet. Många kommuner har planer på att i framtiden använda slam i högre utsträckning än nu. Så många som 100 kommuner har mer eller mindre konkreta planer på att börja med urinsortering, ofta i anknytning till Agenda 21-arbetet, då det visat sig lättare att få gehör för sådana planer om det finns samband med Agenda 21.

Ett antal faktorer som påverkar kommunernas slamanvändning har studerats. Sammanfattningsvis tycks det vara så att kretsloppsanpassning förekommer mest i större kommuner med god tillgång på åkermark. De kommuner som har infört både ny teknik och slamåtervinning

utmärks av att de har god ekonomi, mycket VA-personal, lägre antal sysselsatta inom tillverkningsindustri och att de i högre grad är socialdemokratiskt styrda.

Fallstudier i tre utvalda kommuner visar att det ofta är lokala politiker som bidragit till att ge ny teknik en plats på den kommunala agendan. Fallstudierna visar också, att en stor kommun med större personella och materiella resurser ger en mera heterogen kretsloppsanpassning – det finns helt enkelt utrymme för flera slag av lösningar. Urinsortering är dock en metod som väcker häftiga negativa känslor hos en del tjänstemän på kommunernas tekniska förvaltningar. I de fall där metoden används sker det också i liten skala. Från den dominerande koalition som finns inom VA-sektorn efterlyses generellt mera forskning och större enighet bland experterna om vilken ny teknik som är bäst. En betydelsefull skillnad är, att både tjänstemän och politiker inom den tekniska sektorn utgår från de villkor som det befintliga VA-systemet ställer, medan aktörerna inom miljöförvaltningen, både politiker och tjänstemän, är mer inriktade på kretslopp och resurshantering där (nya) tekniska lösningar utgör medel.

Det finns ett antal politiska och strukturella förhållanden i omvärlden som styr kommunernas arbete mot målsättningen 'en hållbar utveckling'. En viktig del utgörs av kommunernas nätverk (Tabell 8). Konsulter används i 90% av alla kommuner, med varierande grad av frihet. Länsstyrelserna påverkar i två tredjedelar av kommunerna, framför allt som en myndighet som sätter ramar och gränser för verksamheten, men också som en kunskapskälla. Naturvårdsverket spelar en roll som myndighet, men också som informationskälla genom utgivningen av skrifter. Men bara ett mycket litet antal angav att de hade direktkontakt med verket. Lite förvånande är det att dialogen med lokala aktörer är så tunn. Lokala politiker påverkar avloppsarbetet i knappt hälften av kommunerna, kommunmedborgarna märks nästan inte alls. Men å andra sidan är det troligt att mycket engagerade medborgare i allmänhet ansluter sig till någon lokal miljöskyddsorganisation, t.ex. Naturskyddsföreningen, och att de den vägen utövar inflytande.

Tabell 8. Informanternas beskrivning av vilka aktörer som påverkar utformningen av den lokala avloppspolicyn. Totala antalet kommuner var vid tillfället 288.

Aktör	Antal/andel
Konsulter	258 (90%)
Länsstyrelsen	193 (67%)
Naturvårdsverket	152 (52%)
Lokala politiker	133 (46%)
Lokala organisationer	94 (33%)
Allmänheten	48 (17%)

Kommentar: Uppgifterna baseras på resultaten från en nationell undersökning utförd av Söderberg (1999, sid. 83).

Inom projektet Östhammars Kretsloppsverk (Projekt 16) har tanken på en förbättrad dialog drivits med syfte att utveckla samarbete mellan lantbrukare, forskare och kommunala tjänstemän för att få till stånd kretsloppsanpassade lösningar inom VA-området i Östhammars kommun. Projektet genomfördes dels som en studiecirkel, dels i en projektgrupp. Kontakter har skapats mellan aktörer som tidigare inte har samarbetat, och en gemensam kunskapsbas utvecklades. En brist var, att politiker saknades i både studiecirkeln och i projektgruppen. Därmed saknades en förankring i den kommunala organisationen. En slutsats är, att det är viktigt att få med nyckelpersoner som har stort inflytande, både formellt och informellt, på de frågor som behandlas i projektgruppen (Lönngren 1998).