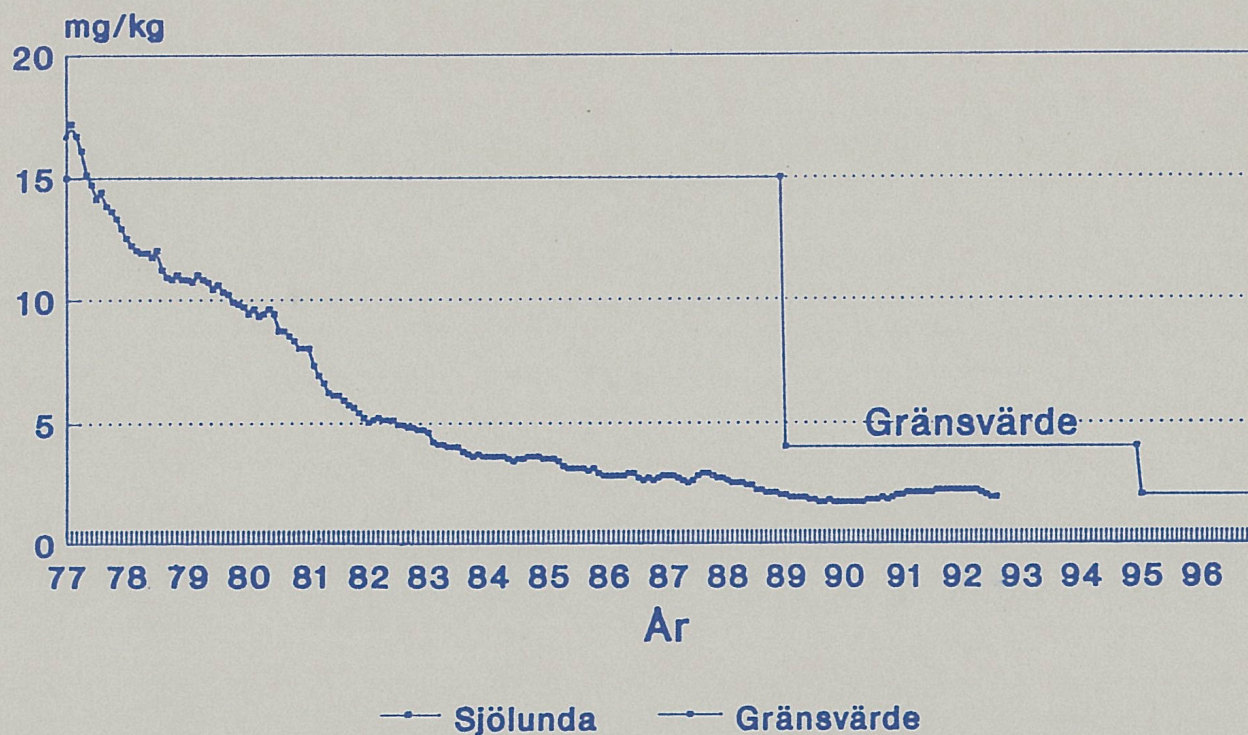




Slamspridning på åkermark

Per-Göran Andersson
Peter Nilsson

MILJÖPLUS Kadmium



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 en krona 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. Under perioden 1993-1995 har kommittén följande sammansättning:

Hans Mattsson, ordförande	Södertälje
Professor Peter Balmér	GRYAAB, Göteborg
Driftchef Sture Bergström	Gatukontoret, Skellefteå
Kommunalråd Bert-Ove Bäckman	Lycksele
Avdelningschef Jane Cederqvist	Sv kommunförbundet
Tekn dr Jan Hultgren	Stockholm Vatten AB
Kommunalråd Caisa Hörberg	Lidingö
Ordf i tekniska nämnden Thure Larsson	Gatukontoret, Visby
Tekn chef Peeter Maripuu	Lycksele
Va-chef Bengt L Persson	Gatukontoret, Malmö
Vd Lars Jansson	VAV
Forskningsledare Jan Falk, sekreterare	VAV

VA-FORSK
Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV
Regeringsgatan 86
111 39 STOCKHOLM
Tel: 08-23 29 35
Fax: 08-21 37 51

Rapport nr 1993-06



Slamspridning på åkermark

Per-Göran Andersson
Peter Nilsson

VA-FORSKs rapportserie

Rapportens titel:	Slamspridning på åkermark
Title of the report:	Land application of municipal sludge
<i>Rapportens beteckning</i>	
Nr i VA-FORSK-serien:	1993-06
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-88392-48-1
Författare:	Per-Göran Andersson och Peter Nilsson
Utgivare:	Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV
VA-FORSK projekt nr:	91-103
Projektets namn:	Slamspridning på åkermark
Projektets finansiering:	VA-FORSK
Rapporten beställs från:	Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 171 88 Solna, tel 08-734 51 00
<i>Rapportens omfattning</i>	
Sidantal:	40
Format:	A4
Upplaga:	2000
Sökord:	Rötslam, slamspridning, åkermark, långtidseffekter, närsalter, tungmetaller, organiska miljöstörande ämnen, marklevande organismer
Keywords:	Municipal sludge, land application, agricultural land, long term effects, nutrients, heavy metals, organic micropollutants, soil organisms
Sammandrag:	Rapport från tio års fältförsök med slamspridning på åkermark i sydvästra Skåne (1981-1991). Studien redovisar effekter på mark och gröda avseende näringsämnen, tungmetaller, organiska miljöstörande ämnen, marklevande organismer (maskar och mikrobiologi) samt grödans utveckling.
Abstract:	The report presents results from a ten year study on application of municipal sludge on agricultural land. The effects on land and crop are studied concerning nutrients, heavy metals, organic micropollutants, soil organisms (worms and microbiology) and the development of the crop.
Målgrupper:	Kommunala va-verk, myndigheter, lantbruket och dess organisationer, konsulter m fl
Utgivningsår:	1993
Pris 1993:	110 kr exkl moms

SAMMANFATTNING

Slamspridningen är ett sätt att återvinna växtnäring från jordbruket och återföra den till åkermarken. Omkring 40% av rötslammet består av organisk substans och slammets innehåll av fosforgödselmedel motsvarar miljonvärden. Slamspridningen innebär också att kommunerna undviker kostsam hantering av avloppsslam genom förbränning eller deponering. Genom slamgödslingen kan skördarna ökas, men villkoret är att detta kan ske utan skadlig inverkan på mark och gröda.

Fältförsöken med slamspridning på åkermark i sydvästra Skåne startades redan hösten 1981 och kan redovisa resultaten av 10 års forskning. I försöken har slam från reningsverk i Malmö och Lund spridits på två försöksplatser med för området representativa jordar. Försöken syftar till att undersöka slammets växtnäringvärde och de långsiktiga effekterna på mark och gröda. Ett omfattande analysprogram genomförs för att kartlägga slammets, markens och grödornas innehåll av tungmetaller, närsalter och organiska miljöstörande ämnen. Dessutom har jordens mikrobiologi undersökts och en studie av förekomsten av dagmaskar utförts.

Tack vare effektivare kontroll av vad som tillförs avloppsledningsnätet har halterna av tungmetaller minskat drastiskt i slammet från reningsverken som ingår i försöket. Metallhalten i slammet har minskat för de flesta metaller under försöksperioden. Halterna av bly, kadmium, krom och nickel har minskat, särskilt i slam från Källbyverket. Kromhalten har sjunkit betydligt vid båda reningsverken. Slammet från Malmö uppvisade mycket låga halter av alla undersökta organiska, miljöstörande ämnen. Av de 70 Priority Pollutants-ämnen som undersökts hade Malmös slam 4 kvantifierbara och 0 identifierbara ämnen, medan Lunds slam hade 13 kvantifierbara och 7 identifierbara ämnen. I Lunds slam var PAH och PCB-halten något över snittet för svenska slam, men värdena ligger i ett normalt intervall för avloppsslam. Inga rester av bekämpningsmedel kunde påvisas.

I försöken har det visats att variationer mellan olika jordar på olika försöksplatser är större än variationerna mellan olika försöksled - med eller utan slamtillförsel. Dessa variationer beror på att jordarna har ett naturligt metallinnehåll. Det atmosfäriska nedfallet kan också variera.

Slamtillförseln har höjt fosforvärdena i marken - mycket kraftigt på Igelösa och i lägre grad på Petersborg. Kalium-värdena har påverkats marginellt, medan magnesiumhalten inte påverkats alls. Mullhalten har påverkats positivt på Igelösa, men inte på Petersborg. Kväveinnehållet i marken har inte ökat mätbart i slambehandlade led. Inga förhöjda värden av kadmium i marken har kunnat konstateras efter slamspridning. Däremot har kopparvärdena ökat märkbart, framför allt på Igelösa. Kvicksilvrvärdena ökar något vid slamtillförsel i tredubbel giva. På Igelösa har zinkvärdena höjts efter slamspridning, men inte på Petersborg. Övriga metallhalter i marken har ej mätbart påverkats av slamtillförsel.

Av de 70 ämnen som omfattas av Priority Pollutants-listan, har inget ämne kunnat uppmätas (kvantifieras) i jorden. På Igelösa har 3 ämnen identifierats i led A0 (utan slam) och 1 ämne i led B0 (normal slamgiva). På Petersborg har 5 ämnen identifierats i led A0 och 8 ämnen i led B0. EOCL och PCB har inte påvisats trots fördjupad analys. AOX och EOX visade sig ha alltför låg tillförlitlighet vid analys av jordprover.

När det gäller grödan kunde inget ämne av de 70 PP-ämnen som undersökts påvisas i höstveten och ett ämne påvisas - men inte kvantifieras - i höstraps (DEHP). Vid odling av samma gröda var dioxinhalten högre i obehandlat försöksled (A0) än i led med normal slamgiva (B0). EOCL och PCB har inte kunnat påvisas i obehandlat försöksled (B0).

Markorganismerna är väsentliga för jordens bördighet och påverkas direkt av slamspridning. I fältförsöken har visats att slamtillförseln främst har en positiv effekt på dagmaskarten *Allolobophora chlorotica* vad gäller reproduktion, tillväxt och mortalitet. Resultatet av de mikrobiologiska testerna indikerar i de flesta fall ingen negativ inverkan på markens mikroorganismer efter slamtillförsel. Normal slamtillförsel (1 ton slam TS/ha och år) ger i genomsnitt en skördeökning på 13%. När slamgiva kombineras med normal handelsgödselgiva har behandlingen givit en skördeökning på 8% utöver ökningen genom handelsgödselgivan. Denna skördeökning är värd ca 600 kr/ha, räknat i lägsta prisnivå för avsalugrödor 1992. Slammet kan följaktligen värderas till ca 600 kr per ton TS i form av skördeökning. Försöken har visat att sockerbetan är den gröda som påverkas mest positivt av slambehandling. Största skördeökningen har visats första och andra året efter slamtillförsel.

ANVÄNDA FÖRKORTNINGAR

AOX	adsorberbara organiska halogenerade ämnen
Cd	kadmium
Cr	krom
Cu	koppar
DEHP	dietylhexylftalat
EOCL	extraherbart organiskt klor
EOX	extraherbara organiska halogenerade ämnen
Hg	kvicksilver
Ig	Igelösa försöksplats
Ni	nickel
PAH	polyaromatiska kolväten
Pb	bly
PCB	polyklorerade bifenyler
Pe	Petersborg försöksplats
PP	Priority Pollutants
SIS	Standardiseringskommissionen i Sverige
SLL	Statens Lantbrukskemiska Laboratorium
SNV	Statens Naturvårdsverk
TS	torrsubstans
Zn	zink

FÖRORD

För att kunna bedöma de långsiktiga effekterna och svara på frågorna kring slammet, startade SYSAV långsiktiga fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund 1981. Projektet finansieras idag av de nio kommunerna i sydvästra Skånes kommunförbund (SSK-regionen) i samverkan med SYSAV Utveckling AB. Projektet har även fått tilläggsanslag från VA-FORSK (VAV:s Forskningsråd).

Projektet har letts av en arbetsgrupp, som träffats regelbundet. I denna arbetsgrupp har följande personer ingått:

- Per-Göran Andersson	Malmöhus läns Hushållningssällskap
- Yngve Darte	Lunds gatukontor
- Stig Edner	Sydvästra Skånes Avfallsaktiebolag (SYSAV)
- Sven-Åke Fädmyr	Malmö VA-Verk
- Erling Midlöv	Malmö VA-Verk, vattenlaboratoriet
- Peter Nilsson	Lunds Tekniska Högskola, VA-Teknik

Detta är några av de få riktigt långsiktiga fältförsök som genomförts och de är på så sätt unika i Sverige. Efter tio års arbete kan man nu börja skönja långtidseffekter och har samlat värdefull kunskap om möjligheten att använda avloppsslam som gödningsmedel för åkermark.

Efter hand har projektet utvidgats och kompletterande undersökningar har genomförts. En omfattande studie av hur daggmaskar påverkas av slamspridningen har utförts av fil dr Torsten Gunnarsson, Ekologiska Institutionen vid Lunds universitet. Undersökningar av slammets inverkan på jordens mikrobiologi har gjorts av docent Lennart Torstensson vid Institutionen för mikrobiologi vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Ultuna.

Denna sammanfattning av försöksverksamheten under 1981-1991 har gjorts av lantmästare Per-Göran Andersson och tekn dr Peter Nilsson.

Lund och Bjärred i januari 1993

Peter Nilsson

Projektledare, LTH

Per-Göran Andersson

Malmöhus läns Hushållningssällskap

INNEHÅLL	SID
1. FÖRSÖKEN	11
- Bakgrund	11
- Uppläggning i olika försöksled	11
- Simulering av långsiktiga effekter	11
- Försöksplan	12
- Prover och analyser	13
- Slamprover - organiska miljöstörande ämnen	13
- Jordprover	14
- Prover på gröda	14
2. SLAMMET	15
- Reningsverken	15
- Slammets växtnäringsinnehåll	15
- Slammets innehåll av metaller	16
- Riktvärden för metaller i slam som ska användas på åkermark (SNV)	18
- Slammets innehåll av organiska miljöstörande ämnen	19
- Ämnen som omfattas av listan över Priority Pollutants	20
- Analys av EOCL och PCB	21
- Analys av AOX och EOX i slam	22
- Bekämpningsmedel	22
- Dioxinhalt i slammet	22
3. MARKEN	23
- Hur slammet påverkar markens växtnäringsinnehåll	23
- Markens innehåll av kväve	24
- Slammets effekt på markens metallinnehåll	25
- Slammets effekt på markens innehåll av organiska miljöstörande ämnen	26
- Priority Pollutants enligt SI-Senter	26
- Balansberäkningar på metaller	26
4. SKÖRDEN	27
- Skörden första året efter tillförsel av slam	28
- Skörden andra året efter tillförsel av slam	28
- Skörden tredje året efter tillförsel av slam	29
- Skörden fjärde året efter tillförsel av slam	29
- Slammets effekt på olika grödor	30
- Sammanfattning år/gröda	30
- Skördeprodukternas innehåll av metaller	31
- Skördeprodukternas innehåll av organiska miljöstörande ämnen	33
- Priority Pollutants enligt SI-Senter	33
- Dioxin	33
5. SLAMSPRIDNINGENS EFFEKT PÅ DAGGMASKAR	33
- Bakgrund	33
- Genomförande	33
- Resultat	34
6. MIKROBIOLOGISKA TESTER	37
7. FORTSATTA FÖRSÖK	38

1. FÖRSÖKEN

Bakgrund

Slamspridning på åkermark är ett sätt att återvinna den växtnäring som finns i avloppsslammet.

Samtidigt innebär slamspridningen att man undviker deponering eller förbränning av det kommunala avloppsslammet. Men om slammet är förorenat av tungmetaller och/eller miljöstörande organiska ämnen måste det tas om hand på annat lämpligt sätt än som växtnäringstillskott.

Varje år måste kommunerna i Sverige ta hand om tusentals ton avloppsslam från reningsverken. I princip finns det tre olika sätt att hantera detta slam. Det kan deponeras, brännas eller behandlas för att spridas som jordförbättringsmedel på åkermark. Det händer också att slammet komposteras, blandas med jord och används till bullervallar eller markanläggningar.

Att deponera så stora mängder slam vållar utrymmesproblem även för avfallsupplagen på landsbygden. Själva hanteringen ger driftstekniska problem vid avfallsupplaget eftersom massan är våt, tung och instabil. Förbränning av slammet kräver speciella, avancerade rökgasreningsanläggningar, något som inte finns i Sverige. Investeringskostnaderna för den typen av anläggningar är höga, vilket skulle resultera i ett fåtal anläggningar med omfattande transporter som följd. Detta i sin tur ger negativa miljökonsekvenser.

Debatten kring slamspridning har varit intensiv och är lika aktuell i dag som i början av 80-talet. Vilka mängder tungmetaller och miljöstörande organiska ämnen innehåller det kommunala avloppsslammet och vilken effekt har det på mark, skörd och gröda? Hur effektivt är det som gödningsmedel och vad tillför det på lång sikt, jämfört med konventionell handelsgödsel?

År 1988 spreds hälften av allt avloppsslam i behandlad form på åkermark. Det innebar att ca 2% av den totala åkerarealen i Sverige då slamgödlades. Hösten 1989 stoppades slamspridningen på åkermark i stort sett helt efter den intensiva debatten om tungmetaller. Naturvårdsverket beräknade att åkermarken i Sverige 1988 tillfördes 7300 kg kadmium genom handelsgödsel och atmosfäriskt nedfall. Slamspridningen beräknades för samma period tillföra ca 300 kg kadmium till marken i hela landet.

När fältförsöken inleddes 1981 var målsättningen att undersöka slammets växtnäringvärde och hur slamspridningen påverkade markens och grödornas innehåll av metaller. Fältförsöken startade på fem platser i sydvästra Skåne, varav tre försök har avslutats och redovisats. På två av försöksplatserna har projektarbetet fortsatt: Igelösa gård nordost om Lund, och Petersborgs gård söder om Malmö.

Platserna har valts eftersom de är representativa för skånsk slättbygd och belägna på den sk sydväst-moränen. Denna är bördig och innehåller inte mycket sten.

Rötslam har levererats från Källbyverket i Lund och Sjölundaverket i Malmö. Tillförsel av slam har skett hösten 1981, 1985 och 1989. Slamspridningen har skett efter skörd och före höstplöjning.

Undersökningar av organiska miljöstörande ämnen i slammet har pågått sedan 1989. De ämnen som identifierats i slammet har sedan undersökts i jord och gröda.

Uppläggning i olika försöksled

I fältförsöken finns tre olika försöksled: A, B och C. Det första ledet (A) består av helt obehandlad mark, där varken slam eller handelsgödsel tillförs. I det andra ledet (B) har slam tillförts med 1 ton slam TS (torrsubstans) per hektar och år. Det tredje ledet (C) har tillförts tredubbel slamgiva. Samtliga slambehandlingar har kombinerats med kväve-, fosfor- och kaliumgödning. Slamgödslade led har jäm-

förts med helt obehandlade och handelsgödslade led. Normalt sprids slam vart femte år men i fältförsöken har man valt att tillföra slam vart fjärde år.

Simulering av långsiktiga effekter

B-ledet har tillförts med 4 ton TS/ha vart fjärde år, vilket motsvarar SNV:s rekommendation för maximal giva. C-ledet har tillförts tredubbel giva: 12 ton TS/ha vart fjärde år. Detta för att simulera långtidseffekter på mark och gröda och för att se vad som händer när det ekologiska systemet provoceras.

Försöksplan

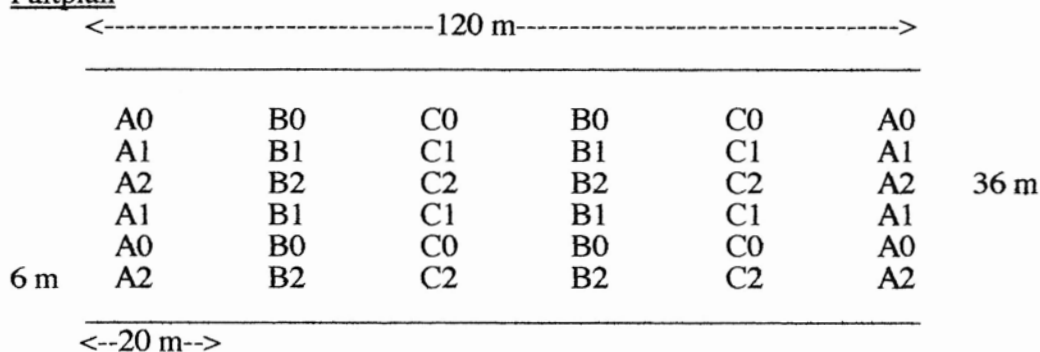
A	Utan slamgödsling
B	Med slamgödsling. 4 ton TS per hektar vart fjärde år (1981, 1985, 1989) = rek giva
C	Med slamgödsling. 12 ton TS per hektar vart fjärde år (1981, 1985, 1989) = tredubbel giva
0	Utan handelsgödsling.
1	NPK i förhållande till gröda. 1/2 N-giva, 1/1 PK-giva
2	NPK i förhållande till gröda. 1/1 N-giva, 1/1 PK-giva

Försöksplanen läses ut så här (exempel):

A0	=	Mark utan slamgödsling och handelsgödsling, dvs helt obehandlad mark
B1	=	Mark med rekommenderad slamgiva och handelsgödsling, 1/2 N-giva
C2	=	Mark med tredubbel slamgiva och handelsgödsling, 1/1 N-giva.

Givan av handelsgödsel beräknas utifrån den enskilda jordens och grödans behov av kväve. Hel giva är den normala användningen av handelsgödsel i det konventionella jordbruket.

Fältplan



Hela försöksytan är 120 x 36 meter och den enskilda försöksytan är 6 x 20 meter.

Försöksytorna har utformats så att översläpning vid jordbearbetning utesluts. Provtagningen sker inte vid ytornas kanter.

Slamspridning - grödor och tidpunkter

<i>År</i>	<i>Igelösa</i>	<i>Petersborg</i>
1981	Slamspridning	Slamspridning
1981	Sådd av höstvet	Sådd av höstvet
1982	Odling av höstvet	Odling av höstvet
1983	Odling av sockerbetor	Odling av sockerbetor
1984	Odling av vårvet	Odling av vårkorn
1985	Odling av havre	Odling av höstraps
1985	Slamspridning	Slamspridning
1985	Sådd av höstvet	Sådd av höstvet
1986	Odling av höstvet	Odling av höstvet
1987	Odling av sockerbetor	Odling av sockerbetor
		<i>Lägesrapport I</i>
1988	Odling av vårvet	Odling av vårvet
1989	Odling av vårkorn	Odling av höstraps
1989	Slamspridning	Slamspridning
		<i>Lägesrapport II</i>
1989	Sådd av höstraps	Sådd av höstvet
1990	Odling av höstraps	Odling av höstvet
1991	Odling av höstvet	Odling av sockerbetor
		<i>Lägesrapport III</i>

Slamprover och analyser

Vid varje spridningstillfälle analyseras slammet med avseende på växtnäring och tungmetaller. Både slam och jord har analyserats i ett omfattande program enligt SIS-standard. Större analysprogram har utförts året efter slamspridning och åren dessemellan har främst A0 och C0 studerats.

Från och med 1989 undersöks även s k organiska miljöstörande ämnen. Resultatet från analysen av slammet har sedan styrt arbetet med analysen av jord och gröda.

Bekämpningsmedel av olika slag kan naturligtvis vara miljöstörande när de sprids på åkermark via avloppsslammet. Multianalysen som utvecklats av Statens Lantbrukskemiska Laboratorium i Uppsala (SLL) täcker 107 olika ämnen. SLL har även utfört fördjupad analys kring fenoxisyror (6 st).

Vid senaste slamspridningen (1989) togs prover för analys av organiska föreningar och som huvudanalys valdes "Priority Pollutants" (PP). Ämnena i denna lista är miljöfarliga, dvs toxiska, svåra att bryta ned och bioackumulerbara. PP-listan från USA har anpassats till nordiska förhållanden av SI-Senter i samarbete med norska Naturvårdsverket. De ämnen som anses relevanta är totalt 70 stycken. SI-Senter har också bestämt EOCL - extraherbart organiskt klor, som är ett "samlingsmått" för kloretrade bioackumulerande ämnen. SI-Senter har även utfört en fördjupad analys av total PCB.

Försök till samlingsparametrar för miljöstörande organiska halogenerade ämnen är AOX och EOX.

Analysmetodikerna har till stor del utvecklats vid Linköpings universitet, varför vi låtit dem utföra de inledande analyserna.

Många organiska miljöstörande ämnen förekommer i mycket små koncentrationer. Eftersom det är svårt att statistiskt behandla värden som är mindre än (<), har laboratorierna ombetts att "pressa ner" detektionsgränserna. I vissa fall saknas vedertagen detektionsgräns.

Jordprover

Provtagningen har skett på samma sätt som för slam: ledvis och med prov och analys av varje försöksled året efter slamspridning. Åren dessemellan har prover tagits endast från A0 och C0.

Följande analyser har utförts:

* pH-H ₂ O	* K-HCL	* As	* Cr	* Cu
* P-AL	* Ca-AL	* Hg	* Co	* Zn
* P-HCL	* Mg-AL	* Cd	* Ni	* B
* K-AL	* S	* Pb	* Mn	* mullhalt

Proven tas i matjord, ned till 25 cm. Kväve analyseras två gånger per år i A0 och C0, dels före vintern och dels före vårbruket. Analysen omfattar både ammoniumkväve (NH₄-N) och nitratkväve (NO₃-N), och sker i tre skikt:

- a) 0-30 cm b) 30-60 cm c) 60-90 cm

Prover på gröda

Enbart de delar av skördeprodukten som förs bort från fältet analyseras. För exempelvis spannmål analyseras följaktligen kärnan, men inte halmen.

I kärna bestäms torrsubstans, renhet, rymdvikt, falltal och proteinhalt.

I oljeväxtfrö bestäms torrsubstans, renhet, klorofyll, proteinhalt och oljehalt.

För sockerbetor utförs normala analyser: renvikt, sockerhalt, blåtal, K + Na, sockerutbyte och jordhalt. Dessutom bestäms N, P, K, Ca, Mg, S, Hg, Cd, Pb, Cr, Co, Ni Mn, Cu, Zn och B i alla grödor.

Provtagning för analys av organiska föreningar har gjorts i spannmål och oljeväxter. Omfattningen av analysen har styrts av de ämnen som påvisats i slammet som spridits. Ett problem här har varit att försöksgårdarna inte haft samma gröda samtidigt. Därför har programmet modifierats med fler analyser. På så sätt kan man jämföra åren och även jämföra halter i samma typ av gröda.

2. SLAMMET

Innehållet av växtnäring och tungmetaller i avloppsslammet varierar både mellan olika år och mellan olika reningsverk. Igelösa har tillförts slam från Källbyverket i Lund, medan Petersborg fått slam från Sjölundaverket i Malmö. Värdena gäller för hela försöksperioden, 1981-1991.

Reningsverken

Vid Källbyverket i Lund behandlas avloppsvattnet från centralorten och från bebyggelseområdena Värpinge, Vallkärra och Stångby. Verket finns i Lunds sydvästra utkant och är dimensionerat för en tillrinning motsvarande 115.000 personer. Reningsverket arbetar med mekanisk rening genom bl a försedimentering, biologisk rening i biobäddar samt kemisk rening genom för- och efterfällning med järnklorid. Vattnet genomgår slutligen efterpolering i biologiska dammar före utsläpp i Höje å. Avskilt slam stabiliseras anaerobt samt slutavvattnas i centrifuger. Slammet används för tillverkning av anläggningsjord och som jordförbättringsmedel.

Vid Sjölundaverket renas avloppsvatten i tre steg: mekaniskt, biologiskt och kemiskt. Verket är dimensionerat för 550.000 pe. Inkommande flöde är i medeltal 120.000 m³/d. Avloppsvattnet kommer huvudsakligen från hushåll. Industriavloppsvattnet kommer till största delen från livsmedelsindustri. Det mekaniska reningssteget består av galler, sandfång och försedimenteringsbassänger. Det biologiska steget består av två parallella anläggningar: en aktivt slam anläggning och en biobäddsanläggning. Fosforavskiljning sker genom kombinerad förfällning och efterfällning. Järnsulfat används i förfällningen och AVR (aluminiumsulfat) vid efterfällningen. Tvåpunktsfällning infördes 1983. Tidigare utnyttjades enbart efterfällning med AVR. Avskilt slam behandlas genom förtjockning av primär- och överskottsslam, rötning av förtjockat slam och slutlig avvattnings av kem- och rötslam i centrifuger.

Slammets växtnäringsinnehåll

I tabellerna visas slammets växtnäringsinnehåll. Kväve och fosfor är de intressantaste faktorerna. Det finns stora skillnader i växtnäringsinnehåll mellan slam från de olika reningsverken och även mellan slam från samma verk under olika år. Mängden kväve varierar från år till år, men värdena är låga i förhållande till grödornas behov. Slammet innehåller en stor mängd organiskt bundet kväve, något som ej analyserats här. På sikt kommer förmodligen en del av detta kväve att levereras till matjorden.

Tabell 1a Växtnäringsinnehåll i slam tillfört försöksplatserna

% av TS									
År	TS,%	pH	NH ₄ +NO ₃	Tot-P	P-AL	Tot-K	K-AL	Ca-AL	Mg-AL
<i>Igelösa</i>									
1981	27	7,4	0,37	3,3	0,35	<0,37	0,1	8,9	0,19
1985	35	7,1	0,13	4,9	0,79	0,11	<0,1	5,4	0,14
1989	30	6,8	0,33	4,3	0,43	0,08	0,01	8,3	0,22
<i>Petersborg</i>									
1981	20	7,3	0,5	3,5	0,50	<0,5	0,25	11,5	0,75
1985	21	7,6	0,9	3,2	0,79	-	0,25	11,2	0,41
1989	25	5,8	2,4	3,0	0,32	0,36	0,17	7,6	0,31

Tabell 1b

Växtnäringsinnehåll tillfört med 1 ton slam TS, kg/ha

År	NH ₄ +NO ₃	Tot-P	P-AL	Tot-K	K-AL	Ca-AL	Mg-AL
<i>Igelösa</i>							
1981	3,7	33	3,5	<0,1	<1,0	89	1,9
1985	1,3	49	7,9	1,1	<1,0	54	1,4
1989	3,3	43	4,0	0,8	0,1	83	2,2
<i>Petersborg</i>							
1981	5	35	5,0	<5,0	2,5	115	7,5
1985	9	32	7,9	-	2,5	112	4,1
1989	24	30	3,2	3,6	1,7	76	3,1

Det finns en anmärkningsvärt stor skillnad i kväveinnehåll mellan slammet från Lund och Malmö, och dessutom är det stor skillnad mellan åren 1985 och 1989 i malmöslammet. För 1989 kan man beteckna slammet som en väsentlig kvävekälla till jorden.

Slammets innehåll av metaller

Över lag har slammets innehåll av metaller minskat under försöksperioden, 1981-1991. Detta är resultatet av en effektivare kontroll av vad abonnenterna (framför allt industrierna) tillför ledningsnätet inom respektive reningsverks upptagningsområde.

Generellt har halterna av bly, kadmium, krom och nickel minskat markant. Regelbundna mätningar under perioden 1977-1992 visar att kvicksilverhalterna har sjunkit avsevärt i slammet från Sjölundaverket i Malmö.

Tabell 2

Slammets innehåll av tungmetaller, mg per kg TS

	Bly	Kadmium	Koppar	Krom	Kvicksilver	Nickel	Zink
	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
<i>Igelösa (Källbyverket, Lund)</i>							
1981	162	3,0	1333	137	6,9	111	1037
1985	85	1,3	651	207	4,0	19	595
1989	59	1,7	1300	46	5,2	17	1100
<i>Petersborg (Sjölundaverket, Malmö)</i>							
1981	180	3,5	1100	135	4,5	25	1000
1985	103	2,8	1028	406	2,4	25	747
1989	120	2,2	1300	49	3,7	25	810

Halterna av bly, kadmium, krom och nickel har minskat drastiskt i slammet från Källbyverket. Halterna av koppar och zink är oförändrade. Kvicksilverhalten visar tendens att sjunka.

MILJÖPLUS

Kadmium

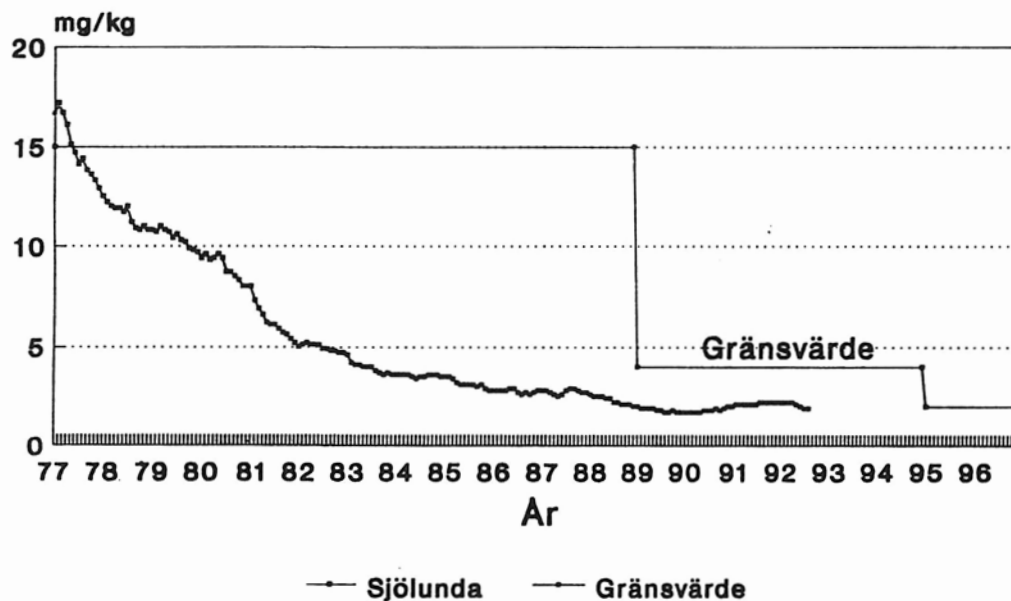


Diagram 1

Innehåll av kadmium i slam från Sjölundaverket 1977-1992

MILJÖPLUS

Kvicksilver

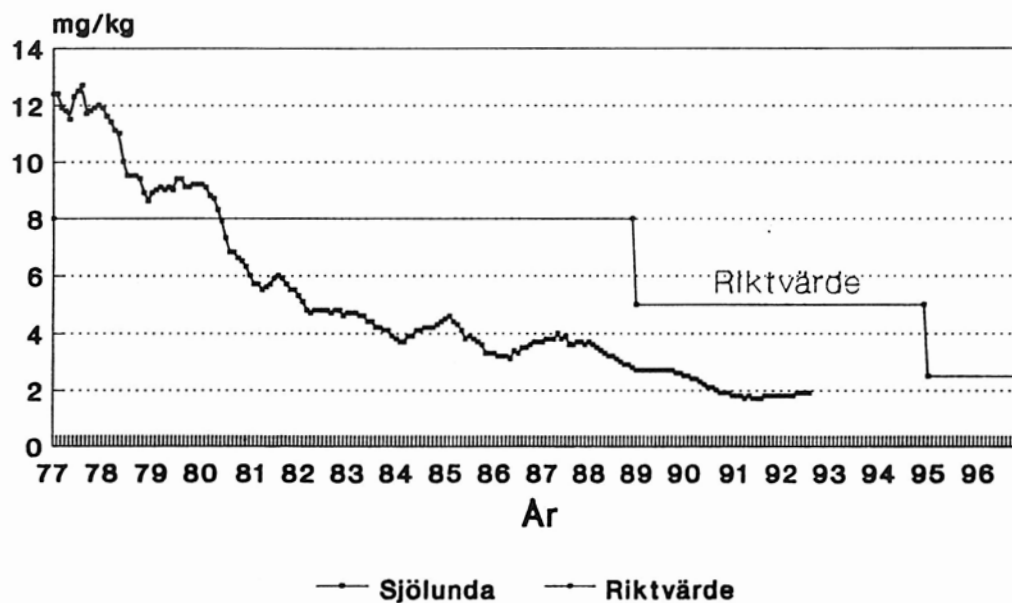


Diagram 2

Innehåll av kvicksilver i slam från Sjölundaverket 1977-1992

Minskningen av bly och kadmium har inte varit lika markant för malmöslammet. Däremot har krominnehållet sjunkit betydligt sedan 1985, då värdet var extremt högt. Koppar har ökat något, medan zink minskat något.

Riktvärden för metaller i slam som ska användas på åkermark (SNV)

Statens Naturvårdsverk har tagit fram riktvärden för tillåten mängd metallinnehåll i det avloppsslam som ska användas som jordförbättring på åkermark. Riktvärdena gäller maximala halter räknat i mg per kg torrsubstans.

Tabell 3 Riktvärden för metaller i slam för spridning på åkermark (SNV)
Gällande maxhalter i mg/kg TS

	Bly	Kadmium	Koppar	Krom	Kvicksilver	Nickel	Zink
	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
tom 1994	200	4	600	150	5	100	1500
from 1995	100	2	600	150	2,5	100	1500

Slammet som använts i fältförsöken vid senaste slamspridningen klarar riktvärdena enligt den nu gällande normen - utom för koppar. Lundaslammet ligger även över riktvärdet för kvicksilver. Naturvårdsverkets skärpta riktvärden från 1995 innebär en halvering av tillåten halt för bly, kadmium och kvicksilver.

Normerna som gäller från 1995 uppfylls ej när det gäller:

- * bly, kadmium, koppar och kvicksilver för malmöslammet
- * koppar och kvicksilver för lundaslammet

Under 80-talet fokuserades debatten kring kadmium. Halterna i slammet har minskat kraftigt sedan 1981. Vid rekommenderad giva med 1 ton slam TS per år tillförs marken i Igelösa 1,7 g Cd/ha och år, medan Petersborg tillförs 2,2 g Cd/ha och år. Med handelsgödsel tillförs ca 1,3 g/ha och år (genomsnitt under 80-talet), och via atmosfäriskt nedfall tillförs åkermarken i Skåne uppskattningsvis ca 1g/ha och år.

Enligt förslag från Naturvårdsverket (920630) anges nya och lägre riktvärden från och med 1998, vilka redovisas i tabell 4.

Tabell 4

Föreslagna riktvärden för metallhalter i slam - från 1998

METALL		FÖRSLAG TILL GRÄNSVÄRDEN FRÅN 1998 I MG/KG TS	
Bly	75	Kviksilver	2
Kadmium	1,5	Nickel	50
Koppar	400	Zink	600
Krom	50		

I tabellen anger SNV vidare att om marken i sig är kopparfattig ger slamgödslingen ett värdefullt tillskott, som annars skulle ha tillförts via handelsgödsel. Om växtnäringsbehov av koppar har konstaterats, kan något högre kopparhalter i slammet godtas. Likaså är zink bristämne i vissa marker, och då kan tillskott via slamtillförsel vara positivt.

De mycket låga riktvärdena i SNV:s förslag kommer att "slå ut" användningen av avloppsslammet från många reningsverk.

Slammets innehåll av sk organiska miljöstörande ämnen

Organiska miljöstörande ämnen finns endast i små koncentrationer i slammet, i vissa fall så små att de inte kan uppmätas. Priority Pollutants (PP) redovisas av SI-Senter på tre nivåer:

- 1) identifierat ämne som kan uppmätas (kvantifieras)
- 2) identifierat ämne som ej kan uppmätas (alltför liten koncentration)
- 3) ämne som ej har kunnat påvisas

I tabell 5 nedan redovisas resultaten av PP-analysen i mg/kg TS. Endast påvisade ämnen anges här. Resultatet av den totala analysen finns redovisade i bakgrundsrapporten.

Ämnen som omfattas av listan över Priority Pollutants

Tabell 5 Halter enligt PP-analys av slam per mg/kg TS (1989)

ÄMNE	LUND (Källby)	MALMÖ (Sjölunda)
Mono- och bicykliska aromater:		
Bensen		
Toluen		
Etylbensen		
M-/P-Xylen	16,0	
O-Exilen		
Styren	*	
Naftalen	*	
2-Metylnaftalen	*	
1-Metylnaftalen	*	
2,3-Metylnaftalen		
2,3,5-Metylnaftalen		
Bifenyl		
Polycykliska Aromatiska Kolväten (PAH):		
Dibensofuran		
Fenantren	3,8	
Dibensotiofen		
Pyren	3,5	
Fuoranten	4,3	
Benzo(B)fluoren	1,5	
Benzo(A)antracen	1,9	
Krysen/Trifenylen	1,3	
Benzo(E)pyren		
Benzo(A)pyren		
Indeno(1,2,3-CD)pyren		
Benzo (GHI)perylene		
Benzo (B/J/K)fluoranten		
Klorerade aromater:		
Klorbensen		
1,3-Diklorbensen		
1,4 Diklorbensen	*	
1,2-Diklorbensen		
1,2,4-Triklorbensen	*	
Pentaklorbensen		
Hexaklorbensen		
Oktaklorstyren		
Tetraklorbifenyl		
Pentaklorbifenyl		
Hexaklorbifenyl		
Diklor-P-cymen		
Fenoler:		
Fenol	74,5	8,3
O-Kresol		
M-/P-Kresol	96,3	32,6
2-Nitrofenol		
P-Nonylfenol	1.284,5	376,4
2,4,6-Triklorfenol		
Pentaklorfenol		
Tetraklorguajakol		

ÄMNE	LUND (Källby)	MALMÖ (Sjölunda)
Pesticider:		
Lindan		
4,4'-DDE		
4,4'-DDD		
4,4'-DDT		
Ftalater/Adipater:		
Dimetylfthalat		
Dietylfthalat	*	
Di-N--Butylfthalat		
Butylbenzylfthalat		
Di-(2-Etylhexyl) Fthalat	313,1	160,6
Di-(2-Etylhexyl)Adipat		
Fosfat-strar:		
Tri-N-butylfosfat		
Trifenylfosfat		
Triresylfosfat		
Aromatiska N-föreningar:		
Nitrobensen		
Etrar:		
Dioksan		
Halogenerade Alifater:		
Kloroform		
Bromidklormetan		
Dibromklormetan		
Bromoform		
Tetraklormetan		
Trikloreten	0,025	
1,1,1-Trikloretan		
1,1,2-Trikloretan		
Tetrakloreten	0,038	
Hexakloretan		

* = ämnet är identifierat, men koncentrationen är så låg att ett värde ej kan uppmätas

Allmänt kan sägas att det finns fler påvisade ämnen i slammet från Lund än i slammet från Malmö. Fenolföreningar finns i relativt höga halter i slam från båda reningsverken.

Regelbundna mätningar av PAH finns endast från ett fåtal slam. Med en grov generalisering kan man säga att PAH i slam (6 st enl SNV) ligger in intervallet 1-30 mg/kg TS för svenska slam.

Analys av EOCL och PCB

I tabell 6 nedan redovisas SI-Senters fördjupade analys av EOCL och PCB.

Tabell 6 EOCL och PCB i slam (mg/kg TS)

ÄMNE	LUND (Källby)	MALMÖ (Sjölunda)
EOCL	63,0	68,0
PCB	0,9	0,3

Summa PCB (7 st enl SNV) ligger för svenska slam i intervallet 0,1-7 mg/kg TS - de flesta dock strax under 1.

Analys av AOX och EOX i slam

Nedan redovisas resultaten av analyserna som utförts av Linköpings universitet, avseende AOX och EOX i slammet.

Tabell 7 AOX OCH EOX i slam - mg/kg TS

ÄMNE	LUND (Källby)	MALMÖ (Sjölunda)
AOX (mg/kg TS)	330	475
AOX (mg/kg org TS)	660	950
EOX (mg/kg TS)	40	30
EOX (mg/kg org TS)	80	60

Bekämpningsmedel

Resultatet av undersökningen om bekämpningsmedelsrester i slammet var entydigt. Inget av de 107 ämnena i Multimetoden kunde påvisas i slammet från Lund och Malmö. Fenoxisyror kunde inte heller påvisas, trots den lågt satta detektionsgränsen på 0,004 mg/kg TS. Projektgruppen har därför beslutat att inte utföra multianalys av jord och gröda under perioden 1989-1993.

Dioxinhalt i slammet

Dioxiner har också debatterats intensivt. Förekomsten av dioxin kan redovisas enligt olika metoder, där främsta skillnaden är hur ingående komponenter viktas. Analysen har utförts vid Institutionen för Miljökemi vid Umeå universitet. För svenska slam har värden på 6-115 pg/g TS dioxin uppmätts med den nordiska metoden. Resultatet av undersökningen redovisas i tabellen nedan.

Tabell 8

Dioxinhalt i slam (pg/g TS $\text{alt ng/kg TS} = 10^{-6} \text{ mg/kg TS}$)

METOD	LUND (Källby)	MALMÖ (Sjölunda)
Eadon	13	17
Nordisk	50	35
I-TEF	51	35

3. MARKEN

Hur slammet påverkar markens växtnäringssinnehåll

Omfattande analyser har utförts på matjorden. A0 och C0 har analyserats varje år, medan samtliga led har undersökts före slamtillförsel, samma år som slam tillförts, och året efter slamspridning.

Tabell 9

Markens innehåll av växtnäring, Igelösa och Petersborg
Prov har tagits före spridning av slam.

Försöks- plats/år	Led	pH	P-Al	K-Al	Ca-Al	Mg-Al	P-HCL	K-HCL	Mull %
<i>Igelösa</i>									
1981	Alla	7,0	9,0	11,4	415	10	47	138	-
1986	A0	6,9	7,9	8,2	360	11	57	157	3,0
	C0	6,5	22,5	9,1	388	13	115	174	3,4
	A0	6,2	6,8	7,3	360	9	45	119	4,2
1989	B0	6,0	11,8	9,8	355	12	55	158	3,9
	C0	6,0	20,1	9,9	325	11	80	155	3,6
	A2	6,2	6,9	9,1	370	11	41	129	4,1
1990	A0	6,6	5,5	7,9	344	10	32	122	3,5
	B0	7,3	11,6	8,6	366	11	44	134	3,9
	C0	7,6	23,5	8,2	360	12	63	141	4,1
	A2	7,3	6,1	9,2	350	11	33	130	3,0
<i>Petersborg</i>									
1981	Alla	6,8	11,1	8,9	195	7	47	123	-
1986	A0	6,7	9,1	10,3	212	7	47	126	2,2
	C0	6,6	9,8	9,0	200	6	45	128	2,0
	A0	6,5	8,5	7,1	180	5	32	121	1,6
1989	B0	6,7	12,8	8,3	192	6	39	131	1,6
	C0	6,6	15,8	8,6	179	6	45	123	1,8
	A2	6,6	9,5	8,3	181	6	35	128	1,9
1990	A0	6,7	8,3	6,2	180	5	34	118	1,6
	B0	6,8	13,2	7,7	192	6	40	119	1,9
	C0	6,6	11,5	6,5	156	5	44	117	1,5
	A2	7,0	10,4	8,4	186	6	38	120	1,8

Kommentarer:

- pH:** Fram t o m 1989 sänktes pH generellt. Skillnaderna är så små att de kan bero på årsmånsvariationen, dvs skillnaden i väderlek från år till år.
- P-Al:** På båda försöksplatserna har fosfor minskat i det helt obehandlade ledet. På Igelösa har slamtillförseln ökat fosforhalten ordentligt, medan ökningen på Petersborg varit måttlig. Med handelsgödsel har de ursprungliga värdena knappt kunnat bibehållas.
- K-Al:** Kaliumvärdena har sjunkit i alla behandlade led. Slam har endast haft försumbar effekt.
- Ca-Al:** Kalcium har generellt sjunkit, vilket kan beror på den allmänna försurningen. På Petersborg har slamtillförseln gett ett lågt värde 1990. Orsaken får vidare analyser ge svar på.
- Mg-Al:** Ingen påverkan genom någon behandling.
- P-HCL:** Tredubbla slamgivor har höjt fosforvärdena, medan fosfor som ingår i handelsgödseln inte har räckt till för att bibehålla fosforvärdena.
- K-HCL:** Slamgödslingen har påverkat svårslösligt kalium positivt på Igelösa, medan värdet är oförändrat för Petersborg.
- Mullhalt:** Inga mullhaltsprov togs 1981. Med 1986 som utgångspunkt kan man dock konstatera att slamgödsling haft positiv effekt på mullhalten vid Igelösa, men inte på Petersborg.

Markens innehåll av kväve

Tabell 10

Kväveinnehåll i marken

Ammonium- och nitratkväve i kg/ha i markprofilen, 0-90 cm. 82-86 enbart nitratkväve.

År	1982	1983	1984	1985	1986	1988	1989	1990	1991	Medeltal
Led	A0 C0	A0 C0	A0 C0	A0 C0	A0 C0	A0 C0	A0 C0	A0 C0	A0 C0	A0 C0
<i>Igelösa</i>										
Vår	76 29	26 29	50 56	- -	16 16	18 29	81 103	20 21	20 29	38 39
Höst	9 33	16 19	7 8	22 15	21 24	14 22	7 9	33 52	20 28	17 23
<i>Petersborg</i>										
Vår	26 21	21 32	46 41	- -	16 17	23 33	16 5	24 55	22 28	24 29
Höst	20 15	54 44	9 10	56 29	20 18	13 19	10 8	47 40	26 31	28 24

Slammets effekt på markens metallinnehåll

År 1990 och 1991 analyserades även markens innehåll av arsenik. Enbart tillförsel av slam tycks inte påverka arsenikvärdena. Däremot förefaller det som om tredubbel slavgiva i kombination med handelsgödsel ökar arsenikhalten i marken.

Tabell 11 *Slammets effekt på markens metallinnehåll*
Provet är taget på hösten 1989 före slamspridning.

År	Led	Bly	Kadmium	Koppar	Krom	Kviksilver	Nickel	Zink
		Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
<i>Igelösa</i>								
1981	Alla	19	0,3	12	-	0,05	14	70
1986	A0	13	0,25	11	40	<0,05	8,5	49
	C0	17	0,33	19	46	0,10	9,5	65
1989	A0	27	0,3	11	19	0,04	11	48
	B0	32	0,3	14	23	0,05	13	63
	C0	28	0,4	18	20	0,06	13	58
	A2	30	0,4	11	20	0,04	12	51
1990	A0	15	0,30	10	20	0,041	12	58
	B0	15	0,23	14	21	0,053	12	61
	C0	16	0,30	21	21	0,077	12	68
	A2	14	0,30	11	20	0,042	13	56
<i>Petersborg</i>								
1981	Alla	19	0,3	12	-	0,05	8,2	49
1986	A0	12	0,28	9,3	21	0,04	7,1	46
	C0	13	0,27	9,7	21	0,04	7,4	47
1989	A0	22	0,20	10	12	0,05	8,5	45
	B0	21	0,16	11	13	0,05	8,8	46
	C0	21	0,17	14	12	0,06	8,3	46
	A2	22	0,21	10	13	0,06	8,9	46
1990	A0	13	0,22	10	12	0,052	7,2	45
	B0	13	0,25	12	13	0,058	7,6	48
	C0	14	0,19	14	12	0,062	7,6	46
	A2	14	0,27	9	13	0,052	8,0	50

Kommentarer:

Pb: På båda försöksplatserna avviker år 1989 med höga värden. Ingen skillnad kan urskiljas mellan obehandlat och slambehandlat led.

Cd: Ingen säker skillnad kan fastställas mellan försöksleden. Det finns en tendens till allmänt sänkta halter sedan försöket startade på Petersborg.

Cu: Ökad slamgiva gav kraftigt höjda värden på Igelösa, medan ökningen på Petersborg inte är lika markant.

Cr: Slamtillförseln har inte haft någon effekt. Halterna har sjunkit kraftigt sedan 1986.

Hg: Värdena har höjts på båda försöksplatserna efter ökad slamtillförsel.

Ni: Slammet har inte haft någon mätbar effekt på nickelvärdena i jorden.

Zn: På Igelösa kan man konstatera en ökad koncentration i och med att slamtillförseln ökas, men så är inte fallet på Petersborg.

Slammets effekt på markens innehåll av s k organiska miljöstörande ämnen

Undersökningarna har fokuserats på år 1 och 4 (1990 och 1993). Dioxin har ej analyserats.

Priority Pollutants enligt SI-Senter

Jordprover från led A0 och B0 undersöktes på försöksplatserna. Inget PP-ämne har varit mätbart och endast de som kunnat identifieras redovisas nedan.

ÄMNE	IGELÖSA		PETERSBORG	
	A0	B0	A0	B0
Benzo/(A) Antracen				*
Krysen/Trifenylen				*
Benzo(E)Pyren			*	
Klorbensen			*	*
1,2,4-Triklorbensen			*	*
Fenol	*		*	
4,4'-DDE	*			*
Trifenylfosfat	*	*	*	*
M-P/-Kresol			*	

Slammet från Lund, som spridits på Igelösa, hade klart fler PP-ämnena. I marken på försöksplatserna visade det sig dock att Petersborg, som fått slam från Malmö, hade flest PP-ämnena.

På Petersborg har fler ämnena spårats i jord som slambehandlats (B0) än jord som inte slambehandlats (A0). På Igelösa är det tvärtom.

EOCL och PCB har inte påvisats i något av de fyra jordproverna, trots fördjupad analys.

Balansberäkningar på metaller

Ända sedan fältförsöken startade har omfattande analysprogram utförts varje år. Tack vare detta kan vissa balansberäkningar göras på exempelvis metaller. Leden A0 och C0 har analyserats ingående, men analysnoggrannheten har i vissa fall inte varit tillräcklig för exakta balansberäkningar.

Beräkningarna gäller enbart kärna, frö eller sockerbetsrot och har utförts genom att mängden metaller som tillförts marken via slam är känd. Från detta har mängden metaller som förts bort med grödan dragits ifrån. Skörderesterna (halm och blast) har lämnats kvar på fältet.

Tabell 12 Balansberäkningar för metaller 1981-1989, g/ha (tredubbel slamgiva)

Plats	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn
<i>Igelösa</i>						
Led A0	-4	-11	-140	-12	-12	-600
Led C0	45	2950	23600	4100	1550	18800
<i>Petersborg</i>						
Led A0	-3	-3	-100	-15	-15	-500
Led C0	71	3400	25400	6500	600	20400

Försöksled A0 har ju inte tillförts varken slam eller handelsgödsel och därför är det naturligt att man där får en negativ balans. Det innebär att det har förts bort mer metaller med grödan än vad som har tillförts marken i form av atmosfäriskt nedfall.

Led C0 (tredubbel slamgiva) ger en otvetydig ackumulering av metaller. Observera dock att enheten är g/ha. Med de analysmetoder som finns tillgängliga har vi endast kunna spåra koppar och kvicksilver i jordanalyserna.

Anrikningen av metaller som visas i tabell 12 är relativt stor räknat som g/ha, men räknar man ökningen per kg jord blir siffrorna betydligt lägre. Ökningen av 71 g Cd/ha för Petersborg motsvarar 0,014 mg/kg TS. Motsvarande ökning för Igelösa ger 0,009 mg/kg TS.

4. SKÖRDEN

I tidigare rapporter konstaterades att slamspridningen givit en avsevärd skördeökning under flera år efter tillförseln. Sammanfattningsvis kan man konstatera att slamgödsling ger största skördeökningarna år 1 och 2 efter spridning. Generellt har slamspridningen gett störst effekt på sockerbetor och minst på vårsäd.

Rekommenderad slamgiva utan handelsgödsel (B0-A0) ger en genomsnittlig skördeökning på 14-19%. När slam kombineras med halv handelsgödsel minskar skördeökningarna successivt från genomsnittligt 18% till 11% åren efter spridningen. Slam kombinerat med full handelsgödsel ger en osäker bild av resultatet, där år 3 ger en skördeökning på genomsnittligt 15% och övriga år ligger kring 7-10%.

I tabell 13 redovisas skörderesultaten år 1-4 efter slamspridning.

Skörden första året efter tillförsel av slam

Tabell 13 Skörderesultat första året efter slamspridning. Relativtal, %

År	1982		1986		1990		Medeltal		Ig + Pe
Plats	Ig	Pe	Ig	Pe	Ig	Pe	Ig	Pe	
Gröda	Höstvete		Höstvete		Höstraps/Höstvete				
A0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B0	107	117	103	111	114	128	108	119	114
C0	132	129	130	131	135	162	132	141	136
A1	177	156	167	154	179	184	174	165	170
B1	187	168	179	160	207	224	191	184	188
C1	194	176	179	169	228	234	200	193	197
A2	207	184	216	169	246	245	223	199	211
B2	211	190	220	172	261	253	231	205	218
C2	217	195	216	185	256	250	230	210	220

Med normal slamgiva som enda gödning har skörden ökat med 14%. Slam som tillförts utöver normal giva av handelsgödsel har gett en ökning med 7% (B2-A2).

Skörden andra året efter tillförsel av slam

Tabell 14 Skörderesultat andra året efter slamspridning. Relativtal, %.

År	1983		1987		1991		Medeltal		Ig + Pe
Plats	Ig	Pe	Ig	Pe	Ig	Pe	Ig	Pe	
Gröda	Sockerbetor		Sockerbetor		Höstvete/Sockerbetor				
A0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B0	125	135	129	120	104	97	119	117	119
C0	147	133	137	119	118	90	134	114	137
A1	100	109	159	183	137	145	132	146	148
B1	134	133	174	198	134	144	147	159	166
C1	158	133	182	197	152	147	164	159	179
A2	117	105	184	223	166	162	156	164	178
B2	144	137	200	227	166	173	170	179	188
C2	166	137	211	228	172	166	183	177	197

Normal slamgiva som enda gödning har ökat skörden med 19%. Slam utöver normal handelsgödselgiva har gett en ökning med 10% (B2-A2). Enbart slam har haft samma effekt som första året efter spridning. Slam i kombination med handelsgödsel har gett mindre total ökning år 2. Skördeökningen för normal slamgiva utöver full handelsgödselgiva har varit något större år 2 än år 1.

Skörden tredje året efter tillförsel av slam

Tabell 15 Skörderesultat tredje året efter slamspridning. Relativtal, %.

År	1984		1988		Medeltal		Ig + Pe
Plats	Ig	Pe	Ig	Pe	Ig	Pe	
Gröda	Vårvete/ vårkorn		Vårvete/vårkorn				
A0	100	100	100	100	100	100	100
B0	105	106	118	110	112	108	110
C0	112	108	132	116	122	112	117
A1	141	142	153	172	147	157	152
B1	142	144	167	180	155	162	158
C1	147	151	174	181	161	166	163
A2	180	188	194	212	187	200	193
B2	184	192	190	215	187	203	195
C2	185	193	200	205	193	199	196

Gödsling med enbart slam i normal giva har ökat skörden med 10%. Slamgödsling utöver normal handelsgödsling har ökat skörden med 2% (B2-A2). Med normal slamgiva och full handelsgödselgiva har ökningen varit betydligt mindre än år 2 och 3 (jfr B2-A2). Båda grödorna - vårvete och vårkorn - har reagerat på likartat sätt.

Skörden fjärde året efter tillförsel av slam

Tabell 16 Skörderesultat fjärde året efter slamspridning. Relativtal, %.

År	1985		1989		Medeltal		Ig + Pe
Plats	Ig	Pe	Ig	Pe	Ig	Pe	
Gröda	Havre/höstraps		Höstraps/höstvete				
A0	100	100	100	100	100	100	100
B0	98	114	121	97	109	106	107
C0	99	135	139	114	119	124	122
A1	95	175	148	136	122	154	138
B1	95	175	180	155	137	165	151
C1	100	185	182	144	141	165	153
A2	121	195	207	177	164	186	175
B2	148	196	204	184	176	190	183
C2	147	206	207	188	177	197	187

Enbart slamgödsling har inte påverkat havreskörden, medan däremot höstraps har reagerat mycket positivt. Skördeökningen med enbart normal slamgiva har i medeltal varit 7%. Slamgiva i kombination med normal handelsgödsling har gett 8% skördeökning, dvs samma nivå som övriga år.

Slammets effekt på olika grödor

Slammets inverkan på de olika grödorna i fältförsöken oavsett år ger följande:

- Höstraps har reagerat positivt på slamtillförsel och största skördeökningen visades vid halv handelsgödselgiva. Skördeökningen för normal slamgiva i kombination med full handelsgödselgiva (B2-A2) motsvarar ca 350 kr/ha (-92 års pris).
- Vårsäd har givit avsevärda skördeökningar efter slamtillförseln.
(vårkorn, Enbart slam och slam med halv handelsgödselgiva har inte ökat skörden. Slam i
vårvete kombination med full giva handelsgödsel har däremot givit avsevärd ökning.
och havre) Skördeökning för normal slamgiva i kombination med full handelsgödselgiva
motsvarar ca 220 kr/ha (-92 års pris).
- Höstvete har visat avsevärda skördeökningar alla år utom 1986. Ökningen för normal
slamgiva och full handelsgödselgiva (B2-A2) motsvarar ca 200 kr/ha (-92 års pris).
- Sockerbetor har reagerat mycket positivt på slamgödsling i kombination med handelsgödsling.
Normal slamgiva och normal handelsgödselgiva har ökat skörden med 18% jämfört
med helt obehandlat led.
Skördeökningen för normal slamgiva i kombination med full handelsgödselgiva
(B2-A2) motsvarar ca 1800 kr/ha (-92 års pris).

Sammanfattning år/gröda

Tabell 17 Effekt på skörd olika år efter slamspridning. Relativtal %.

Led	År 1	År 2	År 3	År 4
A0	100	100	100	100
B0	114	119	118	115
C0	136	137	124	119
A1	170	148	139	147
B1	188	166	153	158
C1	197	179	162	162
A2	211	178	160	175
B2	218	188	175	184
C2	220	197	180	185

Tabell 18 Skördeeffekt på samtliga grödor 1982-1991. Relativtal, %.

Led	Höstraps	Höstvete	Vårsäd	Sockerbetor	Vägt medeltal		
					Ig	Pe	Alla
A0	100	100	100	100	100	100	100
B0	108	111	110	121	111	110	113
C0	128	129	117	125	125	122	126
A1	162	154	142	139	147	161	150
B1	179	164	151	157	160	173	164
C1	186	173	156	163	168	176	171
A2	206	186	184	158	189	196	185
B2	214	194	189	176	197	202	193
C2	217	198	190	182	199	203	197

Skördeprodukternas innehåll av metaller

I genomsnitt finns det ingen skillnad mellan slambehandlade och icke slambehandlade led när det gäller grödornas innehåll av metaller. Kadmiumkoncentrationen i kärnan påverkas inte av slamtillförsel, medan däremot full giva handelsgödsel har ökat koncentrationen av kadmium.

Kopparhalterna sjunker vid ökad slamtillförsel om man inte samtidigt tillfört handelsgödsel.

Kromvärdena sjunker också vid ökad slamgödsling om handelsgödsel inte tillförts. Kombinationen halv handelsgödselgiva och tredubbel slamgiva ger ökad koncentration av krom i vetekärnan.

Nickelhalterna påverkas inte när enbart slam tillförts, inte heller i kombination med full handelsgödselgiva. Däremot stiger nickelhalterna i kärnan avsevärt när slam i kombination med halv handelsgödselgiva tillförts. För zink kan man inte se någon tendens alls, och både kvicksilver och kobolt befinner sig under detektionsgränsen i alla försöksled.

Här har vi valt att redovisa innehållet av kadmium och koppar, eftersom dessa metaller diskuterats under senare år. Diagrammet nedan visar tydligt att variationerna i skördeprodukternas metallinnehåll varierar betydligt mer mellan olika år än mellan slamgödslade och icke slamgödslade led.

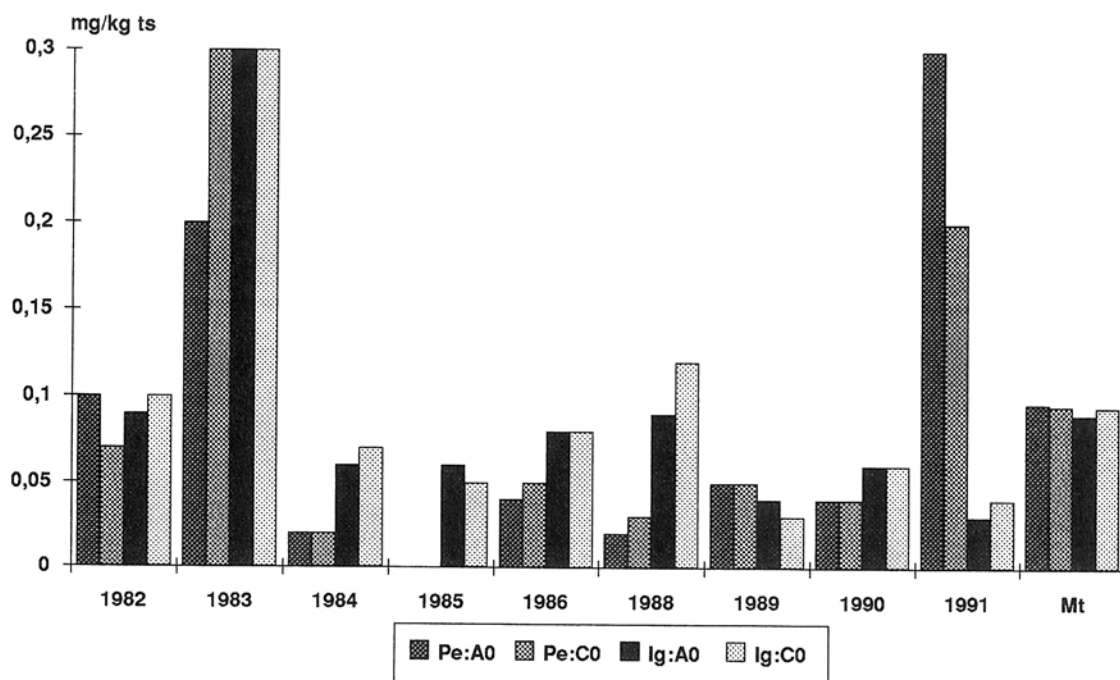


Diagram 3 Grödornas innehåll av kadmium 1982-1991 på Igelösa och Petersborg

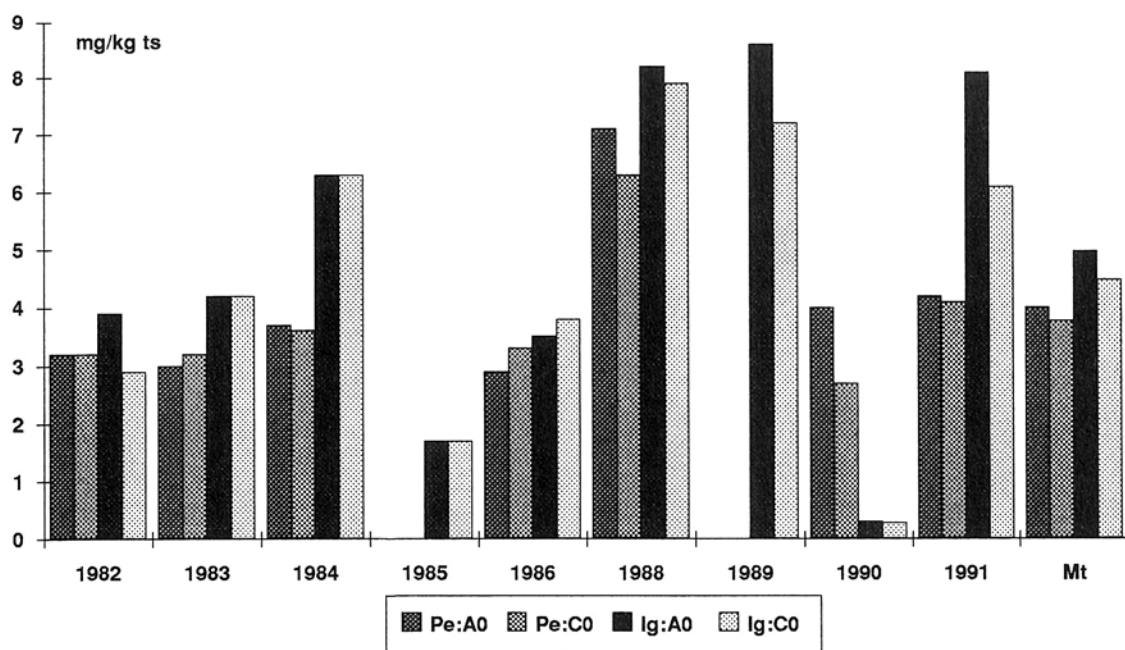


Diagram 4 Grödornas innehåll av koppar 1982-1991 på Igelösa och Petersborg

Från 1988 är kopparkoncentrationen mindre i den slambehandlade grödan än i den obehandlade. I genomsnitt är koncentrationen något lägre i slambehandlat led på båda försöksplatserna under perioden.

Skördeprodukternas innehåll av skadliga organiska miljöstörande ämnen

Priority Pollutants enligt SI-Senter

1990 års skörd av höstveten på Petersborg och hösträps på Igelösa analyserades med avseende på PP och dioxin. Analys av vetekärna och rapsfrö enligt PP-listan utfördes på B0 (normal slamgiva utan handelsgödsel). Vid analysen återfanns inget ämne i höstveten och ett ämne i hösträps - Di-(2-Etylhexyl)ftalat. Ämnet fanns i så låg koncentration att inget värde kunde uppmätas. Vid fördjupad analys kunde inte heller EOCL eller PCB påvisas. Nästa analys utfördes 1993.

Dioxin

Slammet från Lund har något högre dioxinhalt än Malmös slam, men ändå har grödan på Igelösa som gödslats med detta slam lägre dioxinhalter än grödan på Petersborg, som fått slam från Malmö.

Halten dioxin är klart lägre i slamgödslat led (B0) än för icke slambehandlat led (A0).

Resultaten visar på att faktorer som atmosfäriskt nedfall kan ha väl så stort inflytande. De otroligt små talen visar att slammet i sig inte har kunnat påvisas som dioxinkälla.

5. SLAMSPRIDNINGENS EFFEKT PÅ DAGGMASKAR

Reproduktion, tillväxt och mortalitet hos en daggmaskart - *Allolobophora chlorotica*

Bakgrund

I debatten kring slamspridningen på åkermark har det framförts att tungmetaller och organiska miljöstörande ämnen i avloppsslammet skulle inverka negativt på markorganismerna. Förutom att mäta inverkan av enskilda ämnen på gröda och mark är det också viktigt att undersöka vilken påverkan de kan ha på markens organismer. Som ett komplement till analysprogrammet har därför fältförsöken utökats med en undersökning av slamspridningens effekt på biologiska indikatororganismer.

Daggmaskar anses vara speciellt viktiga eftersom de drar ner organiskt material i jorden, ökar näringsomsättningen och gör jorden porös genom sin grävaktivitet. De är också viktsmässigt den största gruppen marklevande ryggradslösa djur (evertebrater) i åkerjordar.

Daggmaskar lever i jorden under hela sitt liv och håller sig inom ett begränsat område. Därför kommer de direkt att påverkas av slamspridningens effekter.

Det har gjorts ett flertal undersökningar av hur rötslam påverkar daggmaskar. De flesta har dock behandlat en art som kallas dyngmask (*Eisenia foetida*). Denna art trivs i rötslam och näringsrik kompost, men arten är tåligare mot flera toxiska ämnen än andra daggmaskarter. Dessutom saknas de i regel helt i åkermark på våra breddgrader.

Det har visat sig att *Eisenia foetida* har kunnat överleva i jord med stora mängder rötslam under ett antal månader. Dessa undersökningar visar alltså effekterna på daggmaskar som lever i rötslam och inte i slambehandlad åkerjord.

Genomförande

För att få fram relevanta resultat har vi i det här projektet i stället valt att studera hur slamspridning på åkermark påverkar livscykeln hos en daggmaskart som är vanlig i våra åkrar, nämligen

Allolobophora chlorotica. Den är vanligt förekommande i åkerjordar i södra och mellersta Sverige och är en liten, men relativt djupgrävande art.

Undersökningen har utförts av fil dr Torsten Gunnarsson vid Ekologiska Institutionen, Lunds universitet. Daggmaskarna som använts i försöket har levt i jord som ej gödslats eller besprutats de senaste 6 åren. Försöken med daggmaskarna utfördes hösten-vintern 90/91 i jord från försöksytorna i Igelösa och Petersborg. Jordarna är representativa för regionen när det gäller lerhalt och bördighet.

Kontrolljord samt jord som behandlats med normal och tredubbel slamgiva användes under försöken (led A0, B0 och C0).

Jorden i varje försöksyta sållades för att få bort större stenar och växtrester. Den blandades för att röttslammet skulle fördela sig jämnt och fuktades med destillerat vatten för att få lagom fuktighet (17 vikts% vattenhalt).

Sedan placerades 0,45 l jord i 0,5 l mjölkkartonger. Från respektive försöksplats användes 10 provkartonger per försöksled: helt obehandlad jord, normal slamgiva och tredubbel slamgiva från Igelösa och Petersborg. I varje kartong placerades 6 vuxna eller halv vuxna daggmaskar av arten *A. chlorotica*.

Förvaringstemperaturen var 15°C.

Under 4 månader följdes bl a kokongproduktion, mortalitet och viktsförändringar hos "föräldragenerationen", samt under 5 månader kläckningsframgång, tillväxt och mortalitet hos "juvenilerna" (ungarna). Maskarna i de olika försöksleden har sedan jämförts med varandra.

Var sjunde dag under 12 veckor togs jorden ur kartongerna. Maskarna räknades, sköljdes i kranvatten och vägdes. Sedan återfördes de till respektive kartong med ny jord, som hade samma slaminnehåll som den tidigare. Den tidigare använda jorden spolades genom ett såll och producerade kokonger placerades under vatten i märkta plastburkar. Vattnet byttes varje vecka under 20 veckor. Antalet kläckta maskar, antalet tomma kokonger och kläckningstid noterades.

Resultat

Resultatet av undersökningen visade att slammet hade en positiv effekt på daggmaskarnas kokongproduktion, och att den ej påverkade mortalitet och vikt hos föräldragenerationen. Hos juvenilerna (ungarna) stimulerades tillväxten i slambehandlad jord från Petersborg, men var oförändrad i försöksledet vid Igelösa.

Spridning av röttslam på åkermark förefaller främst att ha positiv effekt på daggmaskar. Största effekten uppvisas när jorden före behandling har ett för daggmaskar lågt näringsinnehåll. Den näringsfattigare jorden verkar dock vara känsligare för övergödning med röttslam, vilket kan minska den positiva effekten på daggmaskar.

Tabell 19 visar effekterna på *A. chlorotica* av slambehandlad jord, jämfört med helt ogödslad jord.

Inga negativa effekter erhöles.

Sammanfattningsvis kan man av resultaten dra slutsatsen att om slamspridningen sker med rekommenderad giva, dvs 1 ton TS/ha och år, och om halten av toxiska ämnen i slammet fortsätter att minska genom effektivare kontroll, bör slammet kunna anses vara positivt för daggmaskar och kunna användas riskfritt under lång tid (se även tabell 19).

Effekter på: Tillförd mängd rötslam (ton TS/ha vart 4:e år)

P-generationen

mortalitet	0	0
viktsförändring	(+)	(+)
kokongproduktion	+	++

F1-generationen

kläckningsframgång	(0-+)	(+)
kläckningstid	0	0
antal juvenila/kokong	0	0
storlek vid kläckning	0	0
mortalitet	0	0
tillväxt	0 till++	0 till +
inaktivitetsperioder	(0 till +)	(0 till +)

+ = positiv effekt

++ = mycket positiv effekt

0 = ingen effekt

Tecken inom parentes anger tendenser.

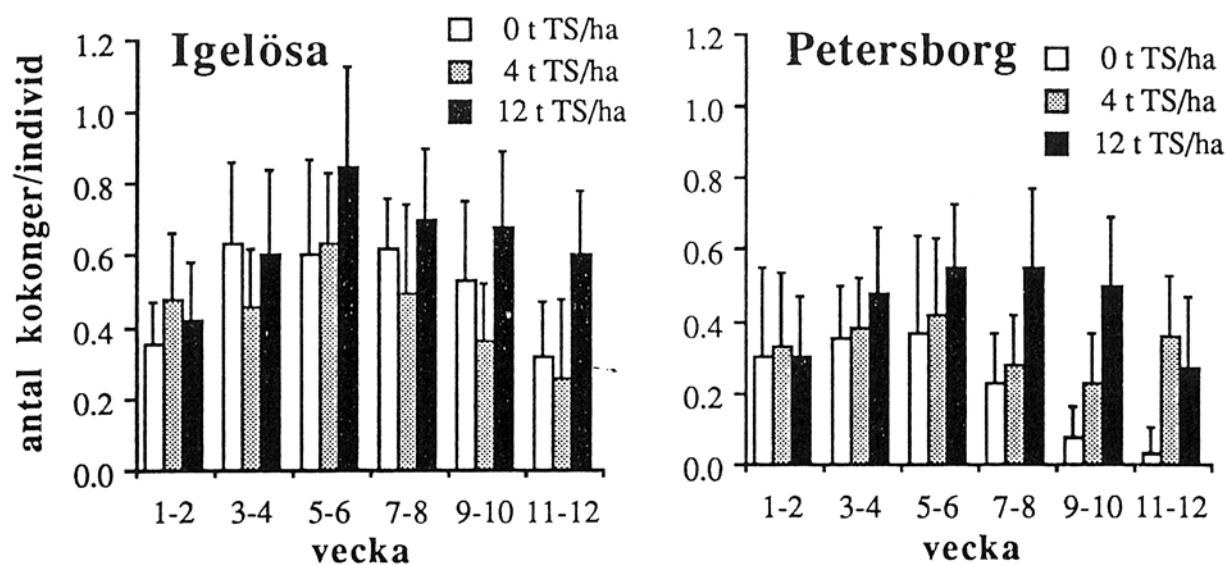


Fig 1. Kokongproduktion (antal/individ per 2 veckor) hos *A chlorotica* under 12 veckor i slambehandlad åkermark, vid 15°C. Slam har tillförts vart 4:e år.

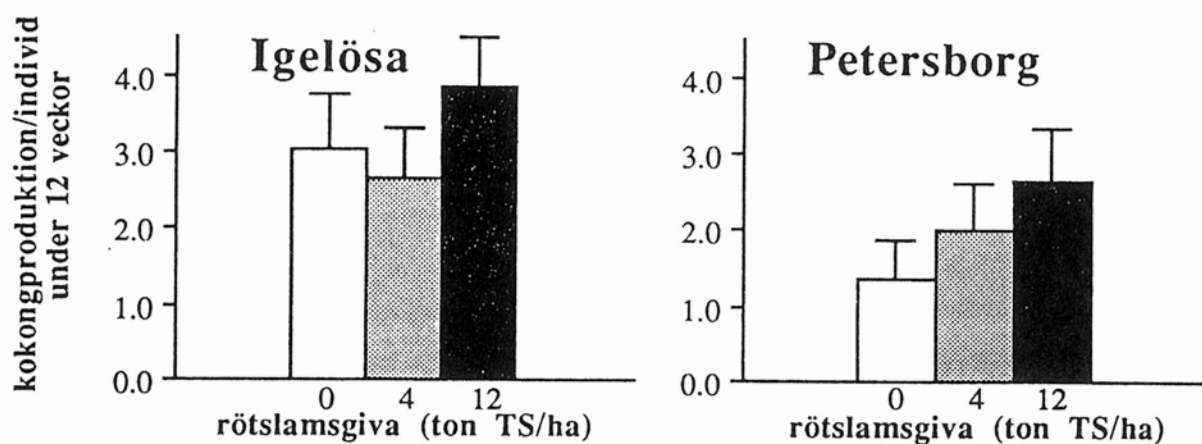


Fig 2 Sammanlagd kokongproduktion per 12 veckor hos *A. chlorotica* i slambehandlad åkermark vid 15°C. Slam har tillförts vart 4:e år.

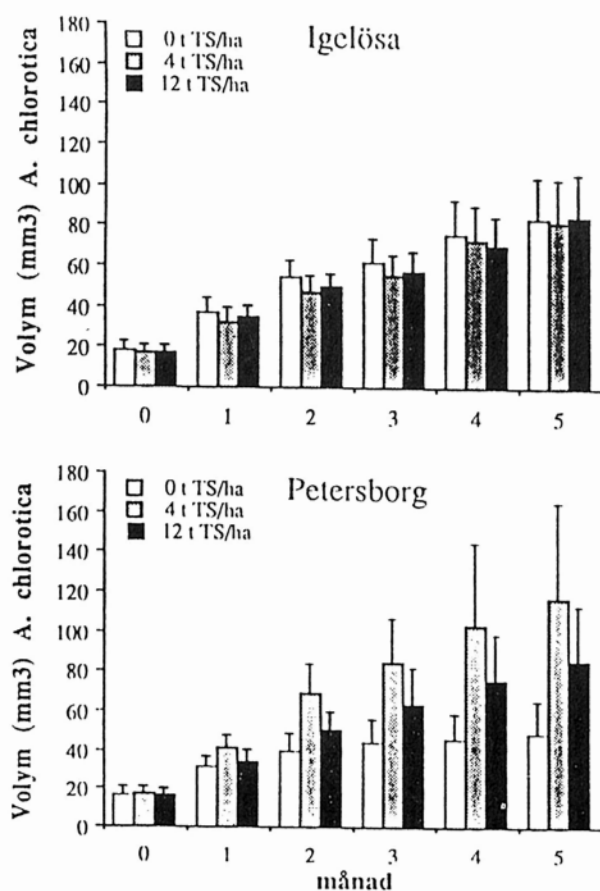


Fig 3 och 4 Volymtillväxt hos juvenila individer av *A. chlorotica* i slambehandlad åkerjord. Slam har tillförts vart 4:e år.

6. MIKROBIOLOGISKA TESTER

Markens bördighet eller produktionsförmåga beror på de mikroorganismer som är aktiva i den. Slamspridning påverkar markens mikroorganismer. Vanligen stimulerar slam deras aktivitet, vilket som regel är positivt för markens bördighet. Men om det finns tungmetaller och kemikalier i slammet kan detta ge negativa effekter på mikroorganismerna.

De tester som utförts i fältförsöken belyser slamspridningens påverkan på omsättningen av tre viktiga ämnen i marken: kol, kväve och fosfor. Slamspridningens inverkan på speciellt känsliga grupper av mikroorganismer har också testats liksom två nedbrytningsmekanismer för kemikalier i marken. Testerna har utförts på prover från försöksplatserna Igelösa och Petersborg, i augusti 1990. Undersökningen, som utförts av docent Lennart Torstensson, Institutionen för mikrobiologi, SLU, redovisas i sin helhet i bakgrundsrapporten.

De mikrobiologiska tester som utförts är:

Markandning
Nitrifikation
Kvävefixering
Fosfatasaktivitet
Kemikalienedbrytning

Testresultaten visar att de två försöksplatserna är olika när det gäller markens mikrobiologiska förhållanden. Detta förklaras till största delen av att de har olika multhalter. Jorden från Petersborg innehåller bara hälften så mycket organiskt kol och kväve som jorden från Igelösa.

De normala biologiska aktiviteterna i marken resulterar i att koldioxid avges. Detta brukar kallas markrespiration eller markandning och är ett mått på den aktuella markens biologiska aktivitet. Varje mark har en naturlig "basrespiration" när den inte är störd.

I försöket kunde ingen signifikant skillnad i respirationshastighet mellan de olika försöksleden i de två jordarna påvisas.

När ammonium oxideras i marken bildas först nitrit och sedan nitrat. Ammoniumjonen är ganska orörlig, medan nitrit- och nitratjonerna är rörliga och lätt kan lakas ur till vattensystemen. Markens kapacitet för nitrifikation kan avgöras genom att man bestämmer dess förmåga att oxidera ammonium.

Vid normal och tredubbel slamgiva förändrades inte jordens ammoniumoxidation, vilket ur miljösynpunkt är fördelaktigt. Däremot steg den signifikant med ökande giva handelsgödsel.

Kvävefixering i åkerjord sker exempelvis i symbiosen mellan *Rhizobium*bakterier och baljväxter samt genom frilevande bakterier och blågröna alger. I fältförsöken ingick undersökning av frilevande bakterier, såsom heterotrof kvävefixering. Det visade sig att stigande kvävemängder i jorden inte gav minskad kvävefixering. Stigande mängder slam minskade däremot kvävefixeringen i jordarna signifikant - särskilt i Petersborg. Här kan en gifteffekt föreligga.

Ett annat sätt att undersöka kvävefixeringen i jorden är att använda blågröna alger, vilka fungerar som indikatorer på störningar i markens ekologiska system. Vid test med blågröna alger framkom inga signifikanta skillnader mellan de olika försöksleden. Däremot var kvävefixeringen av algerna något högre i jord från Petersborg än från Igelösa.

Fosfors omsättning i marken har stor betydelse för bördigheten. Fosfataser kallas de enzymer som frigör oorganiskt fosfat genom hydrolys. Som alla enzymer är fosfatasernas aktivitet beroende av pH. I försöket visade det sig att både sur och basisk fosfatasaktivitet var högre i Igelösa än i Petersborg, beroende på mullhalten. Man bör förvänta sig att fosfatasaktiviteterna stiger med ökad tillförsel av handelsgödsel och slam.

Nedbrytning av kemikalier i jord sker via metaboliska och/eller cometaboliska processer. Inga skillnader kunde påvisas mellan de olika försöksleden vid test av metaboliska processer. Däremot fanns en skillnad mellan försöksplatserna, vilket sannolikt beror på att jorden på Petersborg tidigare behandlats med bekämpningsmedel av fenoxisyratyp. Vid test av de cometaboliska processerna fanns ingen signifikant skillnad vare sig mellan försöksleden eller försöksplatserna.

Sammanfattningsvis kan konstateras att slamtillförseln indirekt har påverkat flera av de testade mikroorganismernas aktivitet genom förändringar i markens mullhalt och pH. Däremot är det få testresultat som tyder på direkt negativ inverkan av slamtillförseln. Enda undantaget utgörs av heterotrof kvävefixering. Denna process har i andra tester visat sig vara speciellt känslig för koppar, och vi har en påvisad förhöjning av koppar i slammet.

7. FORTSATTA FÖRSÖK

De långsiktiga fältförsöken fortsätter tills vidare. Närmast är det aktuellt med ny slamspridning hösten 1993. Vi planerar att göra en ny lägesrapport över 12 år (1981-1993), vilken då kommer att behandla 3 hela cykler med slamtillförsel.

Vi anser att försöken i sig representerar ett så stort värde att försöken bör fortsätta med regelbunden slamspridning även framöver och närmast hösten 1993. Uppföljning av effekten på skördarnas storlek bör ske varje år.

Referens:

”Slamspridning på åkermark - fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund under åren 1981-1991 Lägesrapport III”.

Bulletin serie VA nr 67.

Per-Göran Andersson, Malmöhus läns Hushållningssällskap och Peter Nilsson, VA-teknik, LTH. Lund 1992.

Bakgrundsrapporten kan beställas i sin helhet från:

Malmöhus läns Hushållningssällskap
Borgeby
237 91 BJÄRRED

och

Lunds Tekniska Högskola
Avd VA-Teknik
Box 118
221 00 LUND

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien – 1993-04-30

- 1992-01 Hydraulisk analys av vattenledningsnät, *Lennart Andersson*
1992-02 Samverkan mellan avloppsnät och reningsverk, *Claes Hernebring*
1992-03 Lukt- och smakstörningar i dricksvatten, *Kjell Kihlberg, Roger Sävenhed*
1992-04 Artificial Groundwater Recharge – State of the Art, *Cristina Frycklund*
1992-05 Analysmetod för klordioxid, klorit och klorat, *Mats Lindgren, Einar Pontén*
1992-06 Undersökning av förfilter för järn- och manganreduktion vid dricksvattenrening, *Tibor Nemeth, Åke Elgemark*
1992-07 Inventering av datorbaserade system för övervakning och styrning inom kommunal teknik, *Bengt Zagerholm*
1992-08 Bräddning – Problemets omfattning i svenska tätorter, *Mats Andreason, Johan Larsson*
1992-10 PRISEK Prioritering Samhällskonsekvenser Ekonomi – Ekonomisk modell och systematisk effektrevisning för värdering och prioritering av va-åtgärder, *Bertil Gustafsson, Gilbert Svensson*
1992-11 Konditionsstabilitet hos avloppsledningar av betong, *Viveka Lidström*
1992-12 Skadefall på nylagda betongledningar, *Ann-Christin Sundahl*
1992-13 Konstjord grundvattenbildning, *Bertil Sundlöf, Lars Kronqvist*
1992-14 Trädrötter och ledningar, *Örjan Ståhl*
1992-15 Naturliga system för avloppsrening och resursutnyttjande i tempererat klimat, *HB Wittgren, Kenth Hasselgren*
1992-16 Vattenboken – En bok för mellanstadiet om vårt svenska vatten, *Accurat Information AB, VAV*
1992-17 Vattenboken – Lärarboken, *Accurat Information AB, VAV*
1992-18 Utvärdering av VA-FORSK, *Björn Svedinger*
1992-19 Hårdgöring av dricksvatten med krita-kolsyra – ett alternativ till kalk-kolsyra, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
- 1993-01 Alternativ va-teknik – Exempelsamling, *Per-Arne Malmqvist, Agneta Samuelsson*
1993-02 Luft- och sedimentansamlingar i tryckledningar – Inledande studie, *Lennart Jönsson*
1993-03 Algtoxiner i dricksvatten – en undersökning vid två svenska vattenverk samt litteraturstudie, *Heléne Annadotter*
1993-04 Simulering av hydrologin inom urbana områden. Metodikmanual – MouseNAM, *Lars-Göran Gustafsson*
1993-05 Användning av klordioxid — Reaktorstudier och halter i distributionssystemet vid nio vattenverk, *Mats Lindgren, Einar Pontén*
1993-06 Slamspridning på åkermark, *Per-Göran Andersson, Peter Nilsson*
1993-07 Analys av tillförselgrad till avloppsverk — svårigheter och möjligheter. Tillämpning på tillrinningen till Tivoliverket i Sundsvall, *Claes Hernebring*

Övrig Publicering

Video Vatten och Avlopp för låg- och mellanstadiet

Påverkan på vattenkvaliteten i Stångån för utsläpp inom Linköpings tätort, Stadsb 2, 1991

Plats för regn. VA-FORSK och MOVIMUM, 1990

Klororganiska föreningar från disk- och blekmedel. Naturvårdsverket Rapport 4009, 1992

Kartläggning av förekomsten av legionella i svenska vattensystem, Byggforskningsrådet R9:1993

