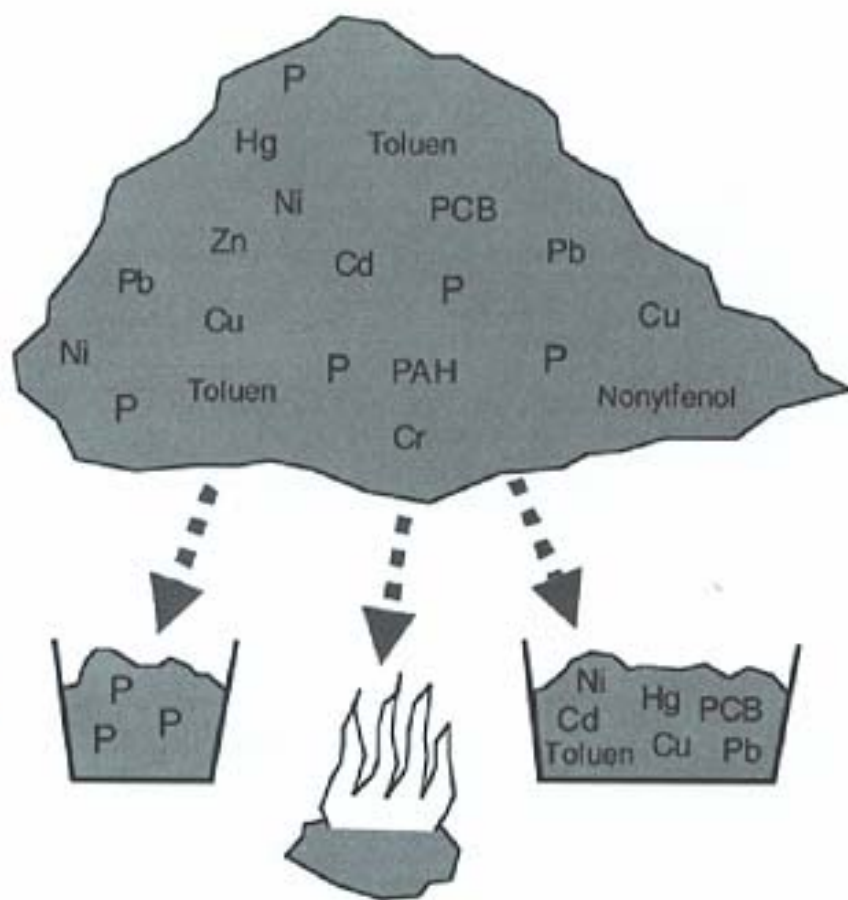


Slamkvalitet och trender för slamhantering

VA-FORSK
RAPPORT
2001 • 05

Erik Levlin
Henrik Tideström
Sachida Kapilashrami
Kristina Stark
Bengt Hultman



01•05

VA-FORSK

VAV

Rapportens titel:	Slamkvalitet och trender för slamhantering
Title of the report:	Sludge quality and trends for sludge management
Rapportens beteckning	
Nr i VA-FORSK-serien:	2001 • 5
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-89182-56-1
Författare:	Erik Levlin, Vattenvårdsteknik, KTH, Henrik Tideström, VAI VA-Projekt AB, Sachida Kapilashrami, Vattenvårdsteknik, KTH, Kristina Stark, Vattenvårdsteknik, KTH, Bengt Hultman, Vattenvårdsteknik, KTH
Utgivare:	VAV AB
VA-FORSK projekt nr:	99-117
Projektets namn:	Slammängder och slamkvalitet vid kommunala avloppsverk
Projektets finansiering:	VA-FORSK, MISTRA (Urban Water)
Rapporten beställs från:	AB Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 113 87, Stockholm, tfn 08-457 11 00
Rapportens omfattning	
Sidantal:	80
Format:	A4
Upplaga:	1200
Sökord:	Avloppsslam, enkät, metallinnehåll, organiska miljögifter, slam användning
Keywords:	Sewage sludge, inquiry, metal contents, organic pollutants, sludge use
Sammandrag:	Rapporten beskriver trender i slamkvalité och slam användning samt diskuterar strategier för framtida slamhantering.
Abstract:	The report describes trends in sludge quality and sludge use and discusses strategies for future sludge management.
Målgrupper:	Kommuners VA-tekniska förvaltningar, miljövårdsmyndigheter, konsulter inom VA-branschen
Utgivningsår:	2001
Pris 2001:	200 kr, exkl. moms

Sammanfattning

Användningen av metaller och persistenta ämnen i samhället återspeglas i sammansättningen av slam från kommunala avloppsreningsverk. Det finns dock inget proportionellt samband mellan ackumulerad mängd av metaller i urban miljö och halten i slam. Statens Lantbrukskemiska Laboratorium (SLL) publicerade år 1985 en sammanställning av slamanalyser för åren 1969 - 1981. Statistiska centralbyrån (SCB) och Naturvårdsverket har gemensamt gett ut slamstatistik för åren 1987, 1990, 1992, 1995 och 1998. Till en början redovisades endast metaller och näringsämnen men från år 1995 omfattar statistiken även organiska ämnen. Sammantaget kan denna statistik beskriva trender i slamkvalitet för perioden 1969 - 1998. Metallhalten i slam för de metaller som regleras i lagstiftningen har minskat mellan 1969 och 1998 med 59 - 92%, varav de flesta mellan 80 och 92%.

En separat bearbetning har genomförts av statistik insamlad av Svenska vatten- och avloppsföreningen (VAV) för åren 1995, 1996 och 1997. Svarefrekvensen var 1995 176 svar från 171 kommuner, 1996 227 svar från 216 kommuner och 1997 192 svar från 171 kommuner. De rapporterade halterna i slam från VAVs enkät för 1997 visade på en god överensstämmelse med statistik från SCB och Naturvårdsverket för 1998. Medelvärde för andelen rapporterade halter av Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Zn, nonylfenol, PAH och PCB över gränsvärdet är 6 %. Vid jämförelse av slam från olika avloppsverk är korrelationen mellan halten av olika metaller (t ex koppar och nickel) låg. Detta medför att 49 % av de rapporterade slammen hade någon förorening som var högre än gränsvärdet. Om ämnet toluen tas bort från föroreningarna överstiger enbart 35% av slammen något gränsvärde. 23 % av rapporterade slam överstiger gränsvärdena för metaller. Mängden slam som kan tillföras åkermark begränsas även av högsta mängd metall som får tillföras räknat som g metall/ha, år. För en normal fosforgiva på ca 20 kg/ha, år kommer enligt VAVs statistik ca 80 % av slammen att ha en alltför hög metallhalt jämfört med gränsvärdet av någon metall.

Förutsättningarna för kommunernas slamhantering har genomgått stora förändringar. Alternativen för hantering av slam från avloppsverk är användning inom jordbruk, användning inom skogsbruk, användning till grönområden, framställning av anläggningsjord, deponering på tipp, förbränning och produktutvinning. Användning av slam i jordbruket ses idag som ett förstahandsalternativ för att åstadkomma återföring av näringsämnen i slam till växande grödor. Innehållet av metaller och giftiga organiska ämnen i slam är minskande, men medför ökande motstånd från jordbrukare, livsmedelsindustrin och miljöorganisationer mot användning av slam i jordbruket. Utnyttjandet begränsas av slammets kvalitet i jämförelse med gällande lagstiftning och av acceptans för slammet om kvalitetskraven klaras. Att lägga slam på deponi kommer att upphöra med förbudet mot deponering av organiskt material som träder i kraft år 2005. Alternativen förbränning och produktutvinning ur slam förväntas därför komma att öka. En väg för att kretsloppsanpassa avloppshanteringen är att sortera olika strömmar redan före tillförsel till avloppsledningsnätet. Alternativt kan slammet betraktas som en råvara från vilken olika produkter (inkl fosforföreningar) kan utvinnas och skadliga ämnen avskiljas till en liten delfraktion som sedan kan behandlas för återvinning eller deponeras under välkontrollerade betingelser.

Summary

The use of metals and persistent species in the society is reflected in the composition of sludge from municipal sewage treatment works. However, there are no proportional connection between the amount of metals in urban environment and the content in sludge. SLL, Agricultural Chemical Laboratory, published in 1985 a report with sludge analyses from the year 1969 – 1981. SCB, Statistics Sweden, and SEPA, Swedish Environmental Protection Agency, have together published sludge statistics for the years 1987, 1990, 1992, 1995 and 1998. In the beginning metals and nutrients were accounted, but since 1995 the statistics also include organic species. Together these statistics can describe trends in sludge quality for the period 1969 – 1998. Metal contents in sludge for the metals that are regulated by legislation, have between the years 1969 and 1998 decreased with 59 – 92%, most of them between 80 and 92%.

A separate work was done on statistics collected by VAV, Swedish Water and Wastewater Works Association, for the year 1995, 1996 and 1997. The response frequency was for year 1995, 176 answers from 171 municipalities, 1996 227 answers from 216 municipalities and 1997 192 answers from 171 municipalities. The reported concentrations in sludge for the VAV enquiry for 1997 were in good agreement with concentrations reported by the SEPA and SCB for 1998. The mean value for number of reported content of Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Zn, nonylphenol, PAH and PCB higher than the restricted limit is 6.3%. At comparison between sludge from different treatment plants the correlation between the content of one metal (for instance copper) with another metal (for instance nickel) is low. This gives that 49 % of the reported sludge have some pollutant exceeding the permitted limit. Without toulén only 35 % of the reported sludges exceeds the permitted limits. Looking only at the metal content 23 % of the reported sludges exceeds the permitted limits. The amount of sludge that can be used on agricultural soil is also limited by the highest allowed amount of metal added to soil when fertilising with sludge, given in g Me/ha, year. For a normal addition of phosphorus with 20 kg/ha, year the VAV statistics show that 80 % of the sludges had some metal with a concentration higher than the permissible limit.

The conditions for the sludge handling options in the municipalities have passed large changes. The alternatives for management of sludge from sewage treatment works are use in agriculture, use in forestry, use for green areas, production of construction soil, deposition, incineration and product recovery. Sludge use on agricultural land is a preferred alternative for the recovery of nutrients in sludge to growing crops. The content of metals and toxic organic species in the sludge is decreasing, but gives increasing resistance from farmers, food industry and environmental organisation against use of sludge in agriculture. The usage is limited by sludge quality compared to legislation and of acceptance of sludge if the quality demands is accomplished. Deposition of sludge will come to an end by prohibition against deposition of organic materials from year 2005. The alternatives incineration and product recovery from sludge are therefore expected to increase. One way to adapt sewage system to recycling is to separate different streams before entering the sewage network. Alternatively, the sludge can be regarded as a raw material from which different products (including phosphorus) can be extracted and toxic species may be separated to a minor fraction that can be treated for recovery or deposited under controlled conditions.

Förord

Strategin för den framtida slamhanteringen är för närvarande mycket omdiskuterad och en betydande skillnad föreligger i åsikter. Hantering av slam från kommunala avloppsreningsverk har blivit ett ökande problem. Deponering av slam motverkas med hjälp av lagstiftning och ekonomiska styrmedel. Det är osäkert om slam som uppfyller myndigheternas krav kommer att kunna accepteras för jordbruksanvändning. Även om slamkvalitén förbättras i takt med ökande krav måste därför alternativa lösningar för slamhantering beaktas. Övriga alternativ som användning inom skogsbruk, grönområden, framställning av anläggningsjord, förbränning och produktutvinning är värda att hålla öppna för fortsatt bedömning av vägval.

Denna rapport, som beskriver trender i slamkvalité och slamanvändning samt diskuterar strategier för framtida slamhantering, bör kunna ge beslutsfattare och kommunala planerare underlag för ställningstagande. Rapporten beskriver dels nuläget vad gäller metaller och organiska föroreningar i slam samt hur slammet hanteras och används. Därutöver diskuteras möjliga utvecklingsstrategier för framtiden.

Projektledare är Bengt Hultman, Vattenvårdsteknik, KTH och Erik Levlin, Kristina Stark och Sachida Kapilashrami, medarbetare på Vattenvårdsteknik, har bidragit till arbetet med rapporten. Erik Levlin och Sachida Kapilashrami har genomfört en bearbetning av enkäter med frågor om slamkvalité och trender för åren 1995, 1996 och 1997, utsända av Svenska Vatten och Avloppsverksföreningen, VAV, till Sveriges kommuner. Som extern expert till projektet har Henrik Tideström, VA-projekt, bidragit med en betydande del av texten och som granskare av övrigt textmaterial. Henrik Tideström är även huvudförfattare till VA-Forsk rapport 2000-2 som handlar om användningsmöjligheter för avloppsslam. Projektet har samfinansierats av VA-FORSK och MISTRA (programmet Urban Water).

Stockholm juni 2001

Bengt Hultman

Innehållsförteckning

Inledning	1
Källor till metaller och persistenta ämnen.....	5
Exempel på källor till oönskade ämnen i slam	5
Metaller	5
Zink	5
Kadmium	5
Nickel	6
Kvicksilver.....	6
Bly	6
Koppar	7
Organiska persistenta ämnen	7
Nonylfenol.....	7
PAH.....	7
PCB.....	7
Ftalater	7
Källor för metaller i Stockholm stad.....	8
Bly i bensin som blykälla i slam	8
Dagvatten som källa till metaller	10
Halter av metaller och persistenta ämnen.....	11
Trender för slamkvalité 1969 – 1998.....	11
Resultat från VAV-Enkät.....	14
Frågeformulär	14
Redovisade analysresultat.....	14
Analysresultatens spridning	16
Relationer mellan halter av olika ämnen	18
Föroreningshalter jämfört med gränsvärden för slam.....	19
Föroreningshalt jämfört med gränsvärden för tillförsel av metall till åkermark	21
Naturvårdsverkets och SCB-statistik från 1998.....	23
Jämförelser med övrig statistik	25
Slammängd, slamvolym och användning.....	27
Resultat från VAV-Enkät.....	27
Jämförelse med övrig statistik	28

Bedömning av framtida slamhantering	31
Förutsättningar	31
Alternativ för slutanvändning och deponering	32
Alternativ	32
Jordförbättring, jordtillverkning och täckning av deponier	32
Skogsbruk	33
Förbränning.....	34
Jordbruk	35
Slamfraktionering och produktutvinning.....	35
Metallutvinning.....	37
Föroreningar i slam	38
Risk och gränsvärden.....	38
Maximal ackumulering av metaller i mark.....	39
Ytterligare möjlig metallhaltsreduktion.....	40
Prognos för framtiden	42
Sammanfattande diskussion	43
Källor till metaller och persistenta ämnen	43
Halter av metaller och persistenta ämnen i slam	43
Olika strategier för slamhantering	44
Användning inom jordbruket.....	45
Användning inom skogsbruk	46
Användning på grönytor och jordtillverkning	46
Deponering på tipp.....	46
Förbränning.....	47
Produktutvinning genom slamfraktionering	47
Diskussion.....	48
Referenser	49

Bilagor

Inledning

Användning av slam i jordbruket är ett förstahandsalternativ för att åstadkomma återföring av näringsämnen i avlopp till växande grödor. För att slammet ska kunna användas i jordbruket måste dess innehåll av föroreningar hållas under kontroll. Innehållet av metaller och giftiga organiska ämnen medför emellertid ökat motstånd från jordbrukare, livsmedelsindustrin och miljörörelsen mot användning av slam i jordbruket. Många av de oönskade ämnen som används i samhället hamnar på ett eller annat sätt i de kommunala avloppsreningsverkens slam och även i slam från trekammarbrunnar. Även om alla kemikalier och varor inte har en direkt koppling till de kommunala VA-systemen, avspeglas användningen av metaller och svårnedbrytbara organiska ämnen i samhället i de kommunala avloppsslammens kvalitet.

Vid tillverkning och användning av kemikalier och varor i samhället sprids olika föroreningar i miljön. Spridningen sker från punktkällor eller diffusa källor. Traditionellt har miljövården i Sverige huvudsakligen varit inriktad på att minimera punktkällorna. De senaste 20 – 30 åren har punktutsläppen av många miljöfarliga ämnen minskat radikalt. I takt med minskade punktutsläpp har den diffusa spridningen ökat i betydelse.

Fram till och med 1980-talet var myndigheternas strategi att så mycket som möjligt av lakvattnet från soptipparna, avloppsvattenutsläppen från tätorternas industrier, dagvatten m m skulle ledas till de kommunala avloppsreningsverken. Även om man insåg att många av dessa avloppsvatten inte var behandlingsbara med de reningsprocesser som används i avloppsreningsverken, ville man använda reningsverken som en extra säkerhet, eller utnyttja kommunernas ledningsnät och reningsverkens recipienter.

Mot slutet av 1980-talet och början av 1990-talet ändrade Naturvårdsverket taktik, miljöarbetet blev mer inriktat på användningen av kemikalier och den diffusa spridningen av föroreningar. 1991 gav Naturvårdsverket ut en anslutningspolicy¹ som innebar att endast behandlingsbart avloppsvatten bör ledas till de kommunala avloppsreningsverken. Med ”behandlingsbart” vatten avses vatten ”av hushållskaraktär” innehållande i huvudsak biologiskt lättnedbrytbara föroreningar. Vatten med höga halter av metaller eller svårnedbrytbara organiska ämnen är inte behandlingsbara i anslutningspolicyns mening och bör följaktligen inte ledas till avloppsreningsverken.

De flesta kommuner arbetar i stort sett enligt Naturvårdsverkets anslutningspolicy. År 1996 hade samtliga storstäder och dess förorter samt minst tre fjärdedelar av de större städerna fastställt egna anslutningspolicys med krav på anslutna verksamheter². Totalt uppgick andelen kommuner med formellt fastställda anslutningspolicys till ca 60 %. Dessa kommuner står för ca 80 % av slamproduktionen i landet. Reningsverken och de kommunala miljöförvaltningarna har ofta ett gott samarbete, när det gäller att upptäcka och åtgärda miljöfarliga utsläpp.

Många kommunala VA-verk genomför eller planerar att införa miljöledningssystem, några har även också produktcertifierat sitt slam (P-märkning av Biomull). Enligt kraven på miljöledningssystem och P-märkning ska varje verk ta fram tydliga strategier för ständiga förbättringar av verksamheten.

De tungmetaller och organiska ämnen som ingår i det svenska regelverket för slam användning i jordbruket är sådana ämnen som har prioriterats i miljöarbetet under många år och i olika medier, både i Sverige och internationellt. Metallhalter har mätts mer eller mindre regelbundet i och med att Socialstyrelsen gav ut Råd och anvisningar år 1973³. Mellan åren 1979⁴ och 1994 reglerades slam användningen och kontrollen av olika allmänna råd (rekommendationer) från Naturvårdsverket. De organiska ämnena började mätas först år

1990, då Naturvårdsverket gav ut Allmänna råd 90:13⁵. För tre av de användningsområden som är aktuella för avloppsslam, har myndigheterna fastställt generella kvalitetskrav för användning i jordbruk, skogsbruk och på grönytor. För övriga användningsområden som täckning av avfallsdeponier samt förbränning, finns däremot inga generella kvalitetskrav.

Regeringen införde 1994 gränsvärden för sju metaller i slam⁶ med högsta tillåtna metallkoncentration i slam för jordbruksändamål angivna i mg per kg TS (torrsubstans). Samma år gav Naturvårdsverket ut sin slamkungörelse som innehöll gränsvärden för hur mycket metall som får tillföras marken vid gödsling med slam⁷ (reviderad 1998). Gränsvärdet sänks successivt och strängare regler trädde i kraft den första januari 2000. För slam till grönytor finns riktvärden från Naturvårdsverket⁵ och för användning i skogsbruket finns riktvärden från Skogsstyrelsen⁸. Tabell 1 visar gränsvärden och riktvärden, samt från vilket år de gäller.

Tabell 1. Gränsvärden för metaller i slam och för tillförsel av metall vid gödsling med slam samt riktvärden vid användning av slam till grönytor och i skogsbruket.

	Tillförsel till åkermark vid gödsling med slam		Slam till jordbruk	Slam till grönytor	Produkter i skogsbruk
	Gränsvärden	Gränsvärden	Gränsvärden	Riktvärden	Riktvärden, södra Sverige
Införd år	1995	2000	1998	1990	1999
Metall	g/ha, år	g/ha, år	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS
Bly, Pb	100	25	100	100	250
Kadmium, Cd	1,75	0,75	2	2	30
Koppar, Cu	600	300	600	600	500
Krom, Cr	100	40	100	150	250
Kvicksilver, Hg	2,5	1,5	2,5	2,5	5
Nickel, Ni	50	25	50	100	200
Zink, Zn	800	600	800	1 500	6 000
Arsenik, As					20
Bor, B					500
Kobolt, Co					100
Mangan, Mn					30 000
Molybden, Mo					10
Vanadin, V					100

Sverige har låga gränsvärden jämfört med andra länder i Europa. Tabell 2 visar gränsvärden för metaller och andra föroreningar i slam och tabell 3 gränsvärden för tillförsel av metall vid gödsling med slam i olika europeiska länder⁹.

Tabell 2. Gränsvärden i mg/kg TS för metaller och andra föroreningar i slam i olika europeiska länder.

Land	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	Övriga ämnen		
EG direktiv 86/278/EEC	750- 1200	20- 40	1000- 1500	1000- 1750	300- 400	16- 2,5	2500- 4000			
Belgien										
Flandern	600	12	500	750	100	10	2500			
Vallonien	500	10	500	600	100	10	2000			
Danmark*	120	0,8	100	1000	30	0,8	4000			
Tyskland								Dioxin/furan	PCB	AOX
Jord pH 5-6	900	5	900	800	200	8	2000	100	0,2	500
Jord pH >6	900	10	900	800	200	8	2500	100	0,2	500
Finland	150	3	300	600	100	2	1500			
Frankrike	1600	40	2000	2000	400	20	6000	Selen, Se: 200		
Irland	750	20		1000	300	16	2500			
Italien	750	20		1000	300	10	2500			
Luxemburg	1200	40	1750	1750	400	25	4000			
Nederländ.	100	1,25	75	75	30	0,75	300	Arsenik, As: 15		
Norge	100	4	125	1000	80	5	1500			
Sverige	100	2	100	600	50	2,5	800			
Schweiz	500	5	500	600	80	5	2000			
Spanien										
Jord pH <7	750	20	1000	1000	300	16	2500			
Jord pH >7	1200	40	1500	1750	400	25	4000			

* I Danmark får de som använder slam som gödsel- eller jordförbättringsmedel välja mellan haltgränsvärden eller gränsvärden uttryckta som kvoten mellan metall och fosfor. Dessa "kvotgränsvärden" ligger på en sådan nivå att det är tillåtet att använda ett avloppsslam som vid en normal fosforhalt (2 – 3% av TS) innehåller betydligt mer metaller än vad haltgränsvärdet medger.

Tabell 3. Gränsvärden i g/ha och år för tillförsel av metall vid gödsling med slam i olika europeiska länder.

Land	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	As	F	Mo	Se
EC direktiv 86/275/EC	15000	150	4000	12000	3000	100	30000				
UK	15000	150	15000	7500	3000	100	15000	700	20000	200	150
Tyskland	1500	16	1500	1300	300	13	2500				
Frankrike	2400	60	3000	3000	600	30	9000				300
Sverige	25	0,75	40	300	25	1,5	600				

Med LRF:s, VAV:s och Naturvårdsverkets slamöverenskommelse som kom 1995¹⁰ infördes som en försiktighetsåtgärd även att de organiska indikatorämnena i slam som används i jordbruket bör understiga vissa värden:

Nonylfenol	50 mg/kg TS (från år 1997)
Toluen	5,0 mg/kg TS
Summa PAH (polyaromatiska kolväten, 6 föreningar)	3,0 mg/kg TS
Summa PCB (polyklorerade bifenyler, 7 föreningar)	0,4 mg/kg TS (årsmedelvärde) ⁱ

De avloppsreningsverk som vill använda sitt slam i jordbruket är skyldiga att mäta slammets innehåll av näringsämnena fosfor och kväve samt sju tungmetaller och tre svårnedbrytbara organiska ämnen (krav fanns på kontroll av fyra organiska ämnen mellan 1994 och 1998). Kravet att mäta tungmetaller har varit obligatoriskt sedan 1994, då regeringen införde gränsvärden för metaller i slam. Det var först då som praktiskt taget allt slam började kontrolleras kontinuerligt. Svårnedbrytbara organiska ämnen började mätas kontinuerligt när LRF:s, VAV:s och Naturvårdsverkets gemensamma rapport om slamöverenskommelsen kom ut 1995. Parallellt med de obligatoriska mätningarna har en del avloppsreningsverk, sporadiskt eller mer eller mindre regelbundet, mätt halten av andra ämnen som kan finnas i slam: silver, kobolt (rekommenderades av Naturvårdsverket 1979 – 86), cyanider, ftalater, DDT, bromerade flamskyddsmedel, dioxiner etc.

De sammanlagda utsläppen från punktkällor och trafik av metaller till luft och vatten minskade med 85 – 99 % mellan åren 1970 och 1995, vilket i stort sett motsvarar minskningstakten i slam. Utsläppen till luft har reducerats mer än utsläppen till vatten, där utsläpp från kommunala avloppsreningsverk ingår till mellan 10 och 90 %, beroende på metall.

För de flesta metaller är industrin den helt dominerande utsläppskällan till luft och vatten. Undantagen är utsläpp av bly och kvicksilver till luft, som år 1995 till 50 % kom från andra källor (bly: trafik och värmeverk; kvicksilver: krematorier, värmeverk och avfallsförbränning).¹¹ Den största delen – 90 % (530 kg) – av kvicksilverutsläppen till vatten skedde enligt SCB via kommunala avloppsreningsverk¹². På grund av stora osäkerheter vid analys av renat kommunalt avloppsvatten, som har mycket låg kvicksilverhalt (vanligtvis <0,1 µg/l), är denna siffra troligen starkt överskattad. De flesta kvicksilveranalyser som utförs på renat avloppsvatten rapporteras som mindre än ett värde, som har varierat mellan <0,1 och <0,5 µg/l.¹³ Med tanke på att mängden kvicksilver i slam var 307 kg år 1995 och att avskiljningsgraden i kommunala reningsverk brukar variera mellan 75 och 90 %, ¹⁴ torde den verkliga utsläppsmängden ligga i intervallet 35 – 100 kg.

Tack vare utsläppsminskningar till luft i Sverige och övriga Europa har även det atmosfäriska nedfallet av metaller minskat rejält. Minskningen märks mest i Götaland och Svealand där bly- och kadmiumnedfallet har minskat med 90 % eller mer sedan 1970, men minskning har också skett kring stora punktkällor i Norrland. Räknat på Sverige som helhet, har nedfallet av dessa metaller minskat med minst 70 % de senaste tjugo åren.¹⁵ Även kvicksilvernedfallet har minskat avsevärt. Merparten av det nedfall som fortfarande sker i Sverige härrör från utsläpp på kontinenten.

ⁱ Enstaka prov får maximalt innehålla 1,0 mg/kg TS. Vid 12 prover per år får maximalt 3 prover ha en halt mellan 0,4 – 1,0 mg/kg TS. Över tiden får halttenden (årsmedelvärdet) inte vara stigande.

Källor till metaller och persistenta ämnen

Exempel på källor till oönskade ämnen i slam

Utifrån uppgifter från undersökningar i olika delar av landet samt litteratur och kontakter med tjänstemän på Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen, kan bl a följande källor till oönskade ämnen i slam identifieras. Undersökningar i bl a Stockholm¹⁶, Malmö¹⁷ och Uppsala¹⁸ har visat att hushållen bidrar med mer än hälften av tillförseln av vissa metaller till avloppsreningsverken. Dagvatten från vägar, tätorter och industritomter är också en relativt stor källa till flera oönskade ämnen i slam¹⁹.

Metaller^{20,21,22,23,24,25}

Zink

Följande utgör tänkbara källor för zink i avloppsslam:

- Spillvatten från bilvårdsanläggningar (kan ha 5 – 6 gånger högre zinkhalt än hushållspillvatten).
- Spillvatten från ytbehandlings (galvanisering)- och verkstadsindustri.
- Dag-, tak- och dränvatten (på grund av korrosion av material och produkter som har behandlats med zink eller i övrigt innehåller zink t ex lyktstolpar, räcken, däck).
- Hushåll (urin, avföring, korrosion).
- Spillvatten från förbränningsanläggningar (avfallsförbränning, energianläggningar).

Kadmium

Sedan 1982 finns ett partiellt kadmiumförbud i Sverige. Förbudet regleras av miljöbalkens förordning (1998:944) om förbud m m i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter. Förbudet gäller för användning av kadmium för ytbehandling, som stabilisator eller som färgämne. Kemikalieinspektionen har dock i sina föreskrifter till förordningen (KIFS 1998:8) medgett en rad undantag från kadmiumförbudet. De flesta undantag togs bort 1995, men några kvarstår, bl a för konstnärsfärger, vissa glas- eller porslinsprodukter, varmvattenberedare, radiatorer, vissa elektriska apparater och maskiner och viss användning inom flyg-, rymd-, gruv-, offshore- och kärnkraftssektorerna. Kadmium förekommer också som förorening i zink.

Utifrån studier i Uppsala, Stockholm, Linköping, Göteborg, Malmö och andra kommuner kan generellt sett följande källor till kadmium i kommunalt avloppsslam identifieras:

- Spillvatten från bilvårdsanläggningar (kan ha 10 – 15 gånger högre kadmiumhalt än hushållspillvatten och bidra med 20 – 30 % av kadmium i slam).
- Dagvatten från vägar, parkeringsplatser, trafikplatser, industritomter och försvarsanläggningar (kan på grund av korrosion av material och produkter som innehåller kadmium och kadmiumförorenat zink samt atmosfäriskt nedfall bidra med 15 – 50 % av kadmiumbelastningen på ett reningsverk).
- Hushåll (kan på grund av urin och avföring samt korrosion av VVS-utrustning, hushållsapparater m m stå för 30 – 50 % av kadmiumbelastningen).
- Konstnärsskolor, studieförbund och andra ställen där konstnärsfärger (t ex kadmiumgult och kadmiumrött har dispens från kadmiumförbudet) används.
- Tvättvatten från tvätterier som tvättar verkstadskläder.

- Spillvatten från verkstadsindustri och ytbehandlare (kadmium kan förekomma som förorening i kemiska produkter och zink).
- Spillvatten från försvarsindustrin och dess underleverantörer (som har dispens från kadmiumförbudet).
- Spillvatten från glasindustri (omfattas i vissa fall av dispens från kadmiumförbudet).
- Rök-gaskondensat och annat avloppsvatten från förbränningsanläggningar.
- Grundvatten från borrade brunnar i områden med kadmiumrik berggrund (t ex kambrisk sandsten).

Nickel

Följande utgör tänkbara källor för nickel i avloppsslam:

- Spillvatten från ytbehandlare, verkstadsindustri och andra som bedriver förnickling eller bearbetar rostfritt stål.
- Spillvatten från bilvårdsanläggningar (kan ha 2 – 3 gånger högre nickelhalt än hushållspillvatten).
- Fällningskemikalier. Teoretiskt sett kan vissa kvaliteter vara huvudkällan till nickel i slam.ⁱ

Kvicksilver

Följande utgör tänkbara källor för kvicksilver i avloppsslam:

- Hushåll (korrosion av amalgamfyllningar – generellt sett är amalgamfyllningar den helt dominerande källan till kvicksilver i slam – bidraget från hushållen via urin och avföring kan uppgå till 50 %).
- Tandvårdsmottagningar.
- Laboratorier (analyslaboratorier, skolor etc) och andra lokaler där man hanterat eller har hanterat kvicksilver (vattenlås, vaskar, hoar och avloppssystem).
- Rök-gaskondensat från avfallsförbränningsanläggningar.

Bly

Följande utgör tänkbara källor för bly i avloppsslam:

- Tvättvatten från bilvårdsanläggningar (4 – 7 gånger mer bly än i hushållspillvatten).
- Dagvatten från trafikplatser och industritomter (atmosfäriskt nedfall, slam i rännstensbrunnar, blyackumulatorer).

ⁱ För de flesta metaller är fällningskemikalier normalt inte någon betydande källa, men nickel och krom är undantag. Enligt rapport från ett slamsamråd i Olofströms kommun var bidraget från fällningskemikalier ca 10 % av nickelhalten i slam från ett reningsverk (Jämsverket).

Koppar

Följande utgör tänkbara källor för koppar i avloppsslam:

- Tappvattensystem (kopparrör, VVS-detaljer av koppar och mässing).
- Industrispillvatten.
- Dagvatten från trafikplatser, kyrkogårdar och industritomter (i huvudsak från koppartak på bostadshus och offentliga byggnader samt bromsbelägg²⁶, men också från atmosfäriskt nedfall, impregnerat trä och elektrisk utrustning).

Organiska persistenta ämnen^{10,27,28}

Nonylfenol

Följande utgör tänkbara källor för nonylfenol i avloppsslam:

- Rengöringsmedel, lim, smörjmedel och andra kemiska produkter inom industrin (verkstads-, textil-, glas-, pappers- och massaindustri).
- Hårvårdsprodukter och kosmetika.
- Flytande polymerer till vattenrening och slambehandling.
- Bilvårdsmedel.
- Vattenbaserade färger (pigmenterade).

PAH

Allmän diffus förekomst. PAH kan nå reningsverken via regnvatten, dagvatten från trafikplatser och industritomter samt rökgaskondensat.

- Bilavgaser.
- Rökgaser från förbränningsanläggningar (både energiproduktion och avfallsförbränning).
- Asfalt.

PCB

Allmän diffus förekomst. PCB kan nå slammet via dagvatten.

- Gamla golv- och väggmaterial.
- Fogmassor, lim, isolerglas i gamla byggnader.
- Gamla elkablar i mark (i isoleringen) och kondensatorer.
- Atmosfäriskt nedfall (PCB används fortfarande i bl a Ryssland).

Ftalater

Allmän diffus förekomst. Ftalater kan nå slammet via dagvatten, bilvårdsanläggningar och avlopp från hushåll (tvättvatten).

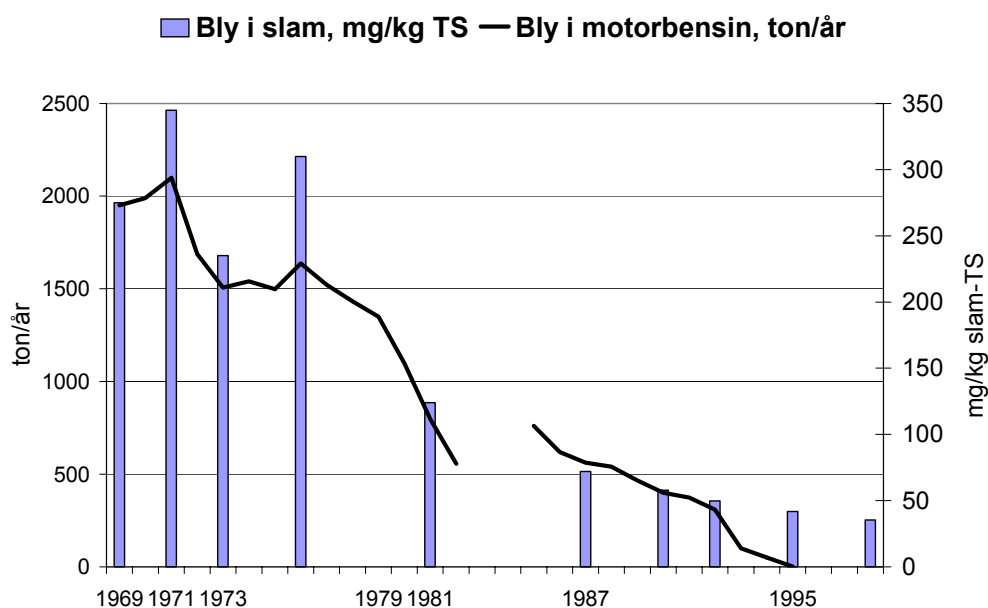
- Mjukgjord PVC-plast (exempelvis i plastgolvmattor).
- Underredsmassor på utländska och äldre bilar.
- Plåttak ytbelagda med PVC.

Källor för metaller i Stockholm stad

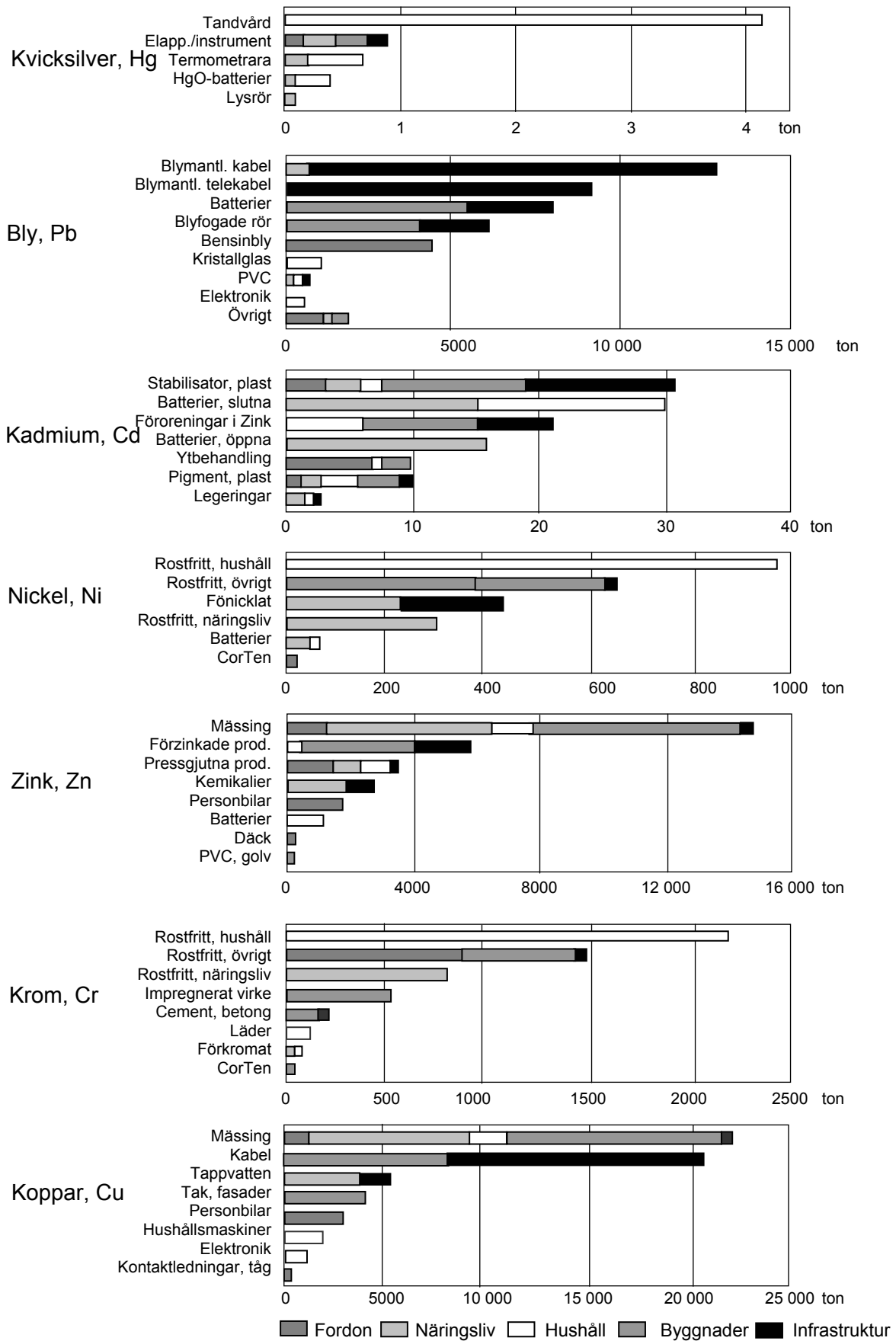
Slamstatistiken och uppgifter om användningen av vissa kemiska produkter visar på ett samband mellan kemikalieanvändningen i samhället och slamkvalitén. Det finns också samband mellan slamkvalitet och utsläpp till luft och vatten. Metaller och organiska föroreningar har många olika användningar i samhället vilket leder till att halterna i slammet varierar oberoende av varandra. Figur 2 visar ackumulerad mängd använda metaller i Stockholms stad 1996 fördelade på fordon, näringsliv, hushåll, byggnader och infrastruktur²⁰. Mängden metall i slam (halten gånger slammängden) är inte direkt proportionellt till mängden använd metall i samhället. Halterna av kadmium och kvicksilver i slam är av samma storleksordning men mängden använd kadmium är tio gånger större än mängden använd kvicksilver. Den stora mängd kvicksilver som använts i tandvården gör att läckaget från amalgamplomber är den enskilt största källan till kvicksilver i slam. Viss användning av metall ger ett större bidrag till metallhalter i slam än annan användning. Koppar i elkablar torde ge ett mindre bidrag till kopparhalten i slam än koppar i tak, vattenledningar och bromsbelägg.

Bly i bensin som blykälla i slam

En av de enskilt största orsakerna till att blyhalten har minskat i slam är den minskade användningen av blyad motorbensin, vilket framgår av figur 1. Mellan 1969 och 1987 minskade blyhalten i bensin avsevärt, motsvarande en minskning från 2 400 till 560 ton bly per år, vilket är en ca 77 procentig minskning på 20 år. År 1993 hade blymängden i bensin minskat med ytterligare 80 %. Efter år 1995, då förbudet mot blyad motorbensin infördes med några få undantag, användes mindre än 1 ton bly per år²⁹. Av figur 1 framgår också att den snabbt minskande användningen av blyad motorbensin under mitten och slutet av 1990-talet inte har följts av en lika snabb minskning av blyhalten i avloppsslam. Detta beror sannolikt på att bly finns kvar i sediment i dagvattenbrunnar och dagvattenledningar, vilket ger en fördröjningseffekt.



Figur 1. Blyhalt i slam och mängd bly i försäld motorbensin



Figur 2. Ackumulerad mängd metall i Stockholm stad 1996²⁰.

Dagvatten som källa till metaller

Olika källors bidrag till metaller i avloppsslam i S:t Gallen, Schweiz, har studerats av Boller³⁰. Tabell 4 visar bidrag av tungmetaller från hushåll, industrier, vägar och tak till ett avloppsnät och hur de fördelas på utsläpp till vatten och metallinnehåll i avloppsslam för ett kombinerat och ett separat system. Tabellen visar att metaller i dagvatten från vägar och tak utgör ett betydande tillskott till innehållet i avloppsslam. För kadmium och bly ger vägdagvatten det största tillskottet medan takdagvatten ger det största bidraget av koppar. I ett kombinerat system kommer de mesta av dagvattnets tungmetaller att hamna i slammet, medan i ett separat system ger utsläpp av orenat dagvatten att de mesta av tungmetallinnehållet går ut i recipienten. Om man anlägger ett separat system där dagvattnet ej leds till reningsverket, minskar därmed tungmetallinnehållet i slammet. Om dagvattnet ej renas på annat sätt, får man dock som tabellen visar ett ökat utsläpp av tungmetaller till recipienten.

Tabell 4. Tungmetallbelastning i g/invånare och år fördelat på olika källor samt fördelning på slam och utsläpp för ett kombinerat och ett separat avloppssystem³⁰.

Belastning i g/inv., år	Kadmium, Cd	Koppar, Cu	Bly, Pb	Zink, Zn
Hushållsavloppsvatten	0,015 (11 %)	4,0 (24 %)	2,5 (17 %)	20,0 (28 %)
Industriavloppsvatten	0,025 (19 %)	3,1 (18 %)	1,3 (9 %)	20,7 (29 %)
Vägdagvatten	0,071 (53 %)	3,7 (22 %)	7,2 (48 %)	16,7 (24 %)
Takdagvatten	0,020 (15 %)	6,1 (36 %)	3,9 (26 %)	12,5 (18 %)
Övrigt vatten	0,003 (2 %)	0,1 (<1 %)	0,1 (<1 %)	0,6 (<1 %)
Totalt	0,134	17,0	15,0	70,5
<u>Kombinerat system:</u>				
Utsläpp till vatten	0,062 (46 %)	5,1 (30 %)	3,9 (26 %)	27,6 (35 %)
Innehåll i avloppsslam	0,073 (54 %)	11,9 (70 %)	11,1 (74 %)	50,9 (65 %)
<u>Separat system:</u>				
Utsläpp till vatten	0,112 (84 %)	11,5 (68 %)	11,8 (79 %)	43,3 (54 %)
Innehåll i avloppsslam	0,026 (16 %)	6,0 (32 %)	3,5 (21 %)	36,2 (46 %)

Kopparinnehållet i takdagvatten beror till stor del på utlösning från koppartak. Dock har även kopparhalterna i vägdagvatten ökat på senare år då bromsbelägg med asbest har ersatts med bromsbelägg som innehåller koppar. Trots att bromsbeläggen utgör ett ganska litet användningsområde, svarar de för den största spridningen av koppar till miljön²⁶. Metallen kommer ut som partiklar och utgör ca en tredjedel av all koppar, totalt ca 12-13 ton, som når Stockholmsmiljön. Bidraget från koppartaken är ca 1 ton per år, från tappvattensystemet ca 4,3 ton, 1,2 ton beräknas komma från luftledningar (finns hos Banverket och SL) och ca 0,4 ton från vägbeläggningar.

Att större reningsverk har högre metallhalter kan bero på att i större städer leds en större andel av dagvattnet ner i gatubrunnar och via det kommunala avloppsnätet till reningsverket. I mindre samhällen med en glesare bebyggelse infiltreras en större andel takdagvatten i trädgårdar medan en större andel vägdagvatten leds bort i diken. I vissa små orter kan dock lakvatten från gruvavfall som behöver renas, ledas till det kommunala reningsverket och ge höga metallhalter i avloppsslammet. Rening av dagvatten från tungmetaller kan vara ett sätt att minska metallhalter i avloppsslam. Reningen kan utföras med jonbytare eller med fällning med vätesulfid. Att införa separata avloppssystem gör att metallerna går ut i miljön och är därför miljömässigt ingen bra lösning.

Halter av metaller och persistenta ämnen

Trender för slamkvalité 1969 – 1998

Den statistik som är tillgänglig när det gäller föroreningshalten i slam avspeglar av naturliga skäl det sätt som ovan beskrivna mätningar har bedrivits under åren. Den bästa statistiken finns på tungmetallinnehållet. Statens Lantbrukskemiska Laboratorium (SLL) publicerade år 1985 en sammanställning av slamanalyser från 30 – 96 kommunala avloppsreningsverk med anslutning > 5 000 personekvivalenter (pe)³¹. Sammanställningen gäller för åren 1969 – 1981. Statistiska Centralbyrån (SCB) och Naturvårdsverket har gemensamt gett ut slamstatistik för åren 1987, 1990, 1992, 1995 och 1998^{32,33}. Denna statistik har gällt alla avloppsverk över 2 000 pe (tillståndspliktiga avloppsanläggningar). Till en början redovisades metaller och näringsämnen, sedan 1995 omfattar slamstatistiken även organiska ämnen. Genom sammanställning av statistik från SLL för åren 1969 – 1981 och från Naturvårdsverket och SCB för åren 1987 – 1998 kan uppgifter för perioden 1969 – 1998 presenteras.

Tabell 5 visar en sammanställning av hur mycket halterna har reducerats mellan åren 1969 och 1998 för de metaller i slam som regleras i lagstiftningen. Halterna har minskat med 59 – 92 % varav de flesta med 80 – 92 %. Uppgifterna anger storleksordningar snarare än exakta värden, dels på grund av att färre reningsverk ingår i värdena före år 1987, dels på grund av att olika analysmetoder har använts under åren. Exempelvis kom den flamlösa atomadsorptionstekniken, som numera föreskrivs för kadmium och kvicksilver (Naturvårdsverkets författningssamling, SNFS 1994:2), inte i allmänt bruk förrän efter 1988/89, då de första svenska standardmetoderna gavs ut för dessa metaller.

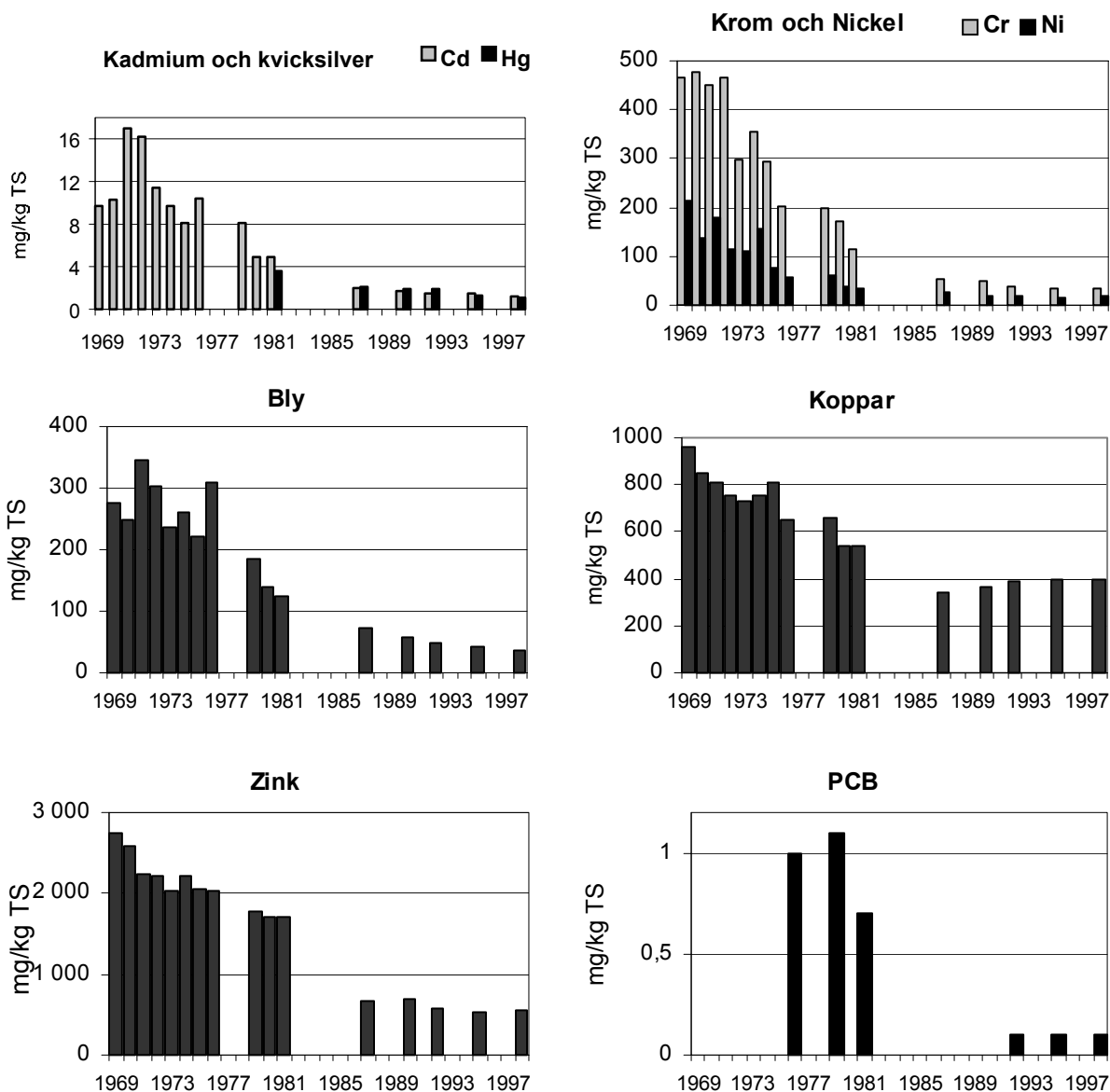
Tabell 5. Metaller i slam 1969 – 1998.

	Procentuell reduktion	
	1969-1998	1987-1998
Bly	87 – 90*	51
Kadmium	87 – 93*	40
Koppar	59	-16
Krom	92	35
Kvicksilver		48
Nickel	87 – 91*	32
Zink	80	18
PCB	91**	

* Eftersom halten bly, kadmium och nickel fluktuerade mycket under första halvan av 70-talet, har reduktionen angivits med intervall (1969 respektive 1970/71 har använts som basår).

** PCB avser åren 1979-1998.

Variationerna i slammets innehåll av metaller och PCB under åren 1969-1998 åskådliggörs i figur 3. Halten bly, kadmium, krom och nickel har minskat mest. Minskningen av de tre sistnämnda metallerna beror sannolikt främst på åtgärder inom ytbehandlingsindustrin. Blyhalten har minskat tack vare förbudet för blyad bensin (se figur 1). Kadmiumhalten har också minskat genom det förbud för viss användning av kadmium, som infördes 1982, vilket klart framgår av figur 3. Kopparhalten, vars nedåtgående trend avstannade någon gång mellan 1981 och 1987 för att sedan öka något, har reducerats minst under perioden. Reduktionen av halten nickel och zink förefaller ha avstannat de senaste åren.

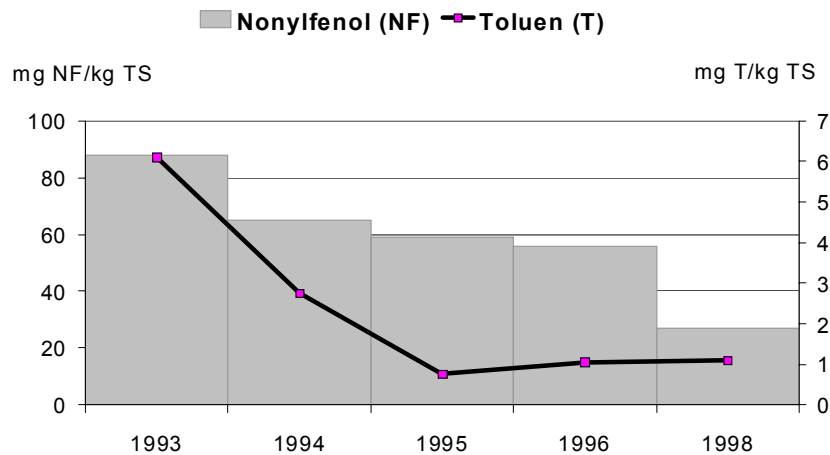


Figur 3. Metaller och PCB i slam 1969 – 1998.

Sedan nyanvändningen av PCB förbjöds i Sverige år 1971 har halten i slam sjunkit med ca 90 %. Under perioden 1993 – 1996 har det dock inte skett någon ytterligare reduktion av PCB-halten i slamⁱ. Fortfarande tillförs PCB diffust till miljön genom nedfall (PCB används fortfarande i Ryssland och i vissa Östeuropeiska länder) och läckage från äldre elektrisk utrustning och byggnadsmaterial, till exempel från fogmassor.

Förändringarna i halten nonylfenol och toluen mellan åren 1993 till 1998 visas i figur 4. Miljörapporter från 25 avloppsreningsverk vars anslutning är > 100 000 pe (producerar knappt hälften av slammet i Sverige), visar att halten nonylfenol och toluen minskade med 69 respektive 82 % mellan åren 1993 och 1998. För PAH går det inte att utläsa någon trend eftersom halten hela tiden legat nära eller under analysmetodens detektionsgräns.

ⁱ PCB i slam mäts som summan av sju PCB-föreningar (komponenter) med IUPAC-numren: 28 (11%), 52 (9%), 101 (13%), 118 (10%), 138 (25%), 153 (19%), 180 (13%) (procentuell fördelning mellan komponenter anges inom parentes).



Figur 4. Nonylfenol och toluen i slam. Reningsverk >100 000 pe 1993 – 1998.

Från åren före 1993 finns endast ett fåtal analysdata tillgängliga när det gäller miljöfarliga organiska ämnen. I Stockholms största avloppsreningsverk, Henriksdal, minskade halten nonylfenol med ca 85 % mellan 1990 och 1999³⁴. Detta kan jämföras med den svenska användningen av nonylfenoletoxylater i rengöringsmedel och bilvårdsmedel, som minskade med 80 % under samma tid³⁵. Sedan dess har nonylfenolhalten i Henriksdals slam fortsatt att minska, och hade år 1999 sjunkit till 2 – 5 % av den halt som uppmättes år 1990.

Utvecklingen går alltså i stort åt rätt håll. Slamkvaliteten förbättras kontinuerligt, genom att tillförseln av oönskade ämnen till avloppsreningsverken minskar. Nedfallet av metaller minskar i Sverige, liksom utsläppen av miljöfarliga ämnen. Kemikalieanvändningen i samhället miljöanpassas och användningen av allt fler ämnen förbjuds eller begränsas, såväl nationellt som internationellt. Beslut om begränsningar eller förbud för användning har tagits, eller kommer att tas, bland annat när det gäller nonylfenoletoxylater, ftalater, vissa bromerade flamskyddsmedel, bly, kvicksilver och kadmium.

Resultat från VAV-Enkät

Frågeformulär

Svenska Vatten och Avloppsverksföreningen, VAV, har genomfört en enkät med frågor om slamkvalité och trender för åren 1995, 1996 och 1997 i Sveriges kommuner. De frågor som ställdes i enkäten (tilläggsfrågor till vatten- och avloppsstatistik) var:

- A. Antal industriabonnenter med anslutning till det kommunala avloppsledningsnätet och årstillrinning till avloppsverk i antal och 1000-tal m³.
- B. Antal anslutningar av lakvatten från soptippar till det kommunala avloppsledningsnätet och årstillrinning till avloppsverk i antal och 1000-tal m³.
- C. Årstillrinning av dagvatten till kommunens avloppsverk i antal och 1000-tal m³.
- D. Längd kombinerad ledning i drift vid årets slut i kilometer.
- E. Längd kombinerad ledning som lagts om till duplikatsystem under året i kilometer.
- F. Föreningensmängd från till avloppsverk anslutna industrier, lakvatten från soptippar och dagvatten som avleds till avloppsverk, respektive föreningar i avlopps slam i mg/kg TS för fosfor, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel, zink, nonylfenol, toluen, summa PAH (polyaromatiska kolväten, 6 föreningar) och summa PCB (polyklorerade bifenyler, 7 föreningar).
- G. Avloppsslam från avloppsverk i ton torrs substans, TS, dels totalt och därav omhändertaget av jordbruk, skog, deponi på soptipp, grönområden inkl. parker och vägar samt genom förbränning.

Av dessa frågor är det F och G som behandlar kvalitet och trender för avloppsslam. Svarefrekvensen var för 1995 176 svar från 171 kommuner, 1996 227 svar från 216 kommuner och 1997 192 svar från 171 kommuner. Totalt finns 289 kommuner i Sverige. Att antalet svar är fler än antalet kommuner beror på att vissa kommuner har gett flera svar, ett per avloppsreningsverk, avloppsverk, medan andra som Stockholm som också har flera avloppsverk har räknat samman värdena till ett svar. Vissa kommuner har ett gemensamt avloppsverk vilket gör att dessa inte har besvarat frågorna om avloppsslam.

Redovisade analysresultat

Tabell 6 visar statistik för redovisade föroreningshalter i form av medelvärde, medianvärdeⁱ och standardavvikelseⁱⁱ. Tabell 7 visar medelhalter beräknad genom att föroreningsmängderna (halten gånger slammängden) har summerats och dividerats med den totala slammängden:

$$\text{Medelhalt} = \frac{\sum (\text{halt} \times \text{slammängd})}{\sum \text{slammängd}}$$

Det senare beräkningssättet visar vilken halt som skulle erhållas om man blandade samman alla slam. Halterna är något lägre i tabell 6 än i tabell 7, vilket visar att slam från större reningsverk, som har en större inverkan på värdena i tabell 7, har högre föroreningshalter än slam från små reningsverk.

ⁱMedianvärdet är värdet då hälften av värdena är större och hälften är lägre.

ⁱⁱ Standardavvikelsen är ett mått på mätvärdenas spridning kring medelvärdet:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Tabell 6. Statistisk för halt fosfor (%), metaller (mg/kg) och organiska föroreningar (mg/kg) i avloppsslam enligt VAV-enkäten för åren 1995, 1996 och 1997.

	1995				1996				1997			
	Svar	Medel	Median	Std.av	Svar	Medel	Median	Stand.av	Svar	Medel	Median	Std. av
Fosfor, %	122*	2,35	2,25	1,15	167*	2,54	2,55	0,891	161*	2,86	2,5	3,34
Metaller, mg/kg												
Pb	142*	36,2	31	30,8	190*	32,3	27	28,0	187*	32,3	27	34,2
Cd	142*	2,08	1,1	8,52	191*	1,22	1,01	1,02	183*	1,42	1,1	2,51
Cu	142*	311	251	245	191*	318	273	222	185*	323	269	247
Cr	142*	32,4	24,75	34,8	190*	38,2	38,3	131	187*	28,2	23	18,2
Hg	142*	10,0	0,94	104	191*	0,963	0,968	0,604	186*	1,27	0,79	3,63
Ni	141*	14,1	11,4	10,8	191*	13,4	13,4	10,8	187*	15,8	12	16,7
Zn	142*	462	431,5	193	191*	448	450	174	187*	460	450	168
Org. för., mg/kg												
Nonylfenol	135*	37,7	34	27,0	183*	34,9	35,1	33,0	182*	23,8	16	24,7
Toluen	137*	4,03	0,9	10,6	183*	3,60	3,62	7,96	181*	4,18	1	10,7
PAH	120*	1,24	1,045	0,893	170*	2,27	2,28	12,3	171*	1,45	1,22	1,87
PCB	131*	1,06	0,07	0,179	177*	0,455	0,457	4,66	177*	0,482	0,0585	4,89

*Av totalt: 142 svar

192 svar

187 svar

Tabell 7. Föroreningshalter* i slam enligt VAV-enkäten för åren 1995, 1996 och 1997.

		1995	1996	1997
Fosfor, P	%	2,02	2,71	2,66
Bly, Pb	mg/kg	49,77	35,39	43,26
Kadmium, Cd	mg/kg	2,36	1,31	1,91
Koppar, Cu	mg/kg	399,4	386,5	433,3
Krom, Cr	mg/kg	38,01	34,13	28,82
Kvicksilver, Hg	mg/kg	4,65	1,25	1,53
Nickel, Ni	mg/kg	17,79	16,10	15,87
Zink, Zn	mg/kg	540,6	493,9	505,3
Nonylfenol	mg/kg	51,92	42,68	28,98
Toluen	mg/kg	2,32	2,68	3,10
Summa PAH	mg/kg	1,65	2,60	5,09
Summa PCB	mg/kg	0,137	0,476	0,126

* Föroreningsmängderna har summerats och dividerats med den totala slammängden, varvid föroreningsmängden är föroreningshalten multiplicerad med slammängden.

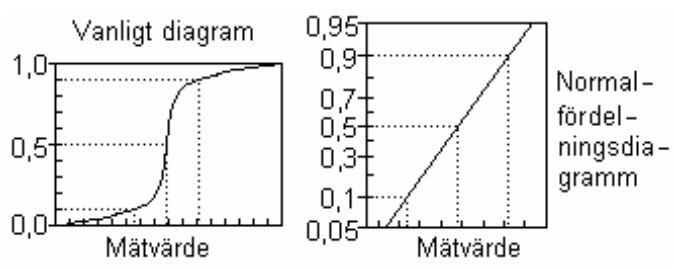
I fråga F om föroreningar ingår även fosfor. Om slammet används som gödsel är dock fosfor ett önskvärt näringsämne och ingen förorening. Normalt finns fosfor i mycket högre halter än för de olika föroreningarna ca 100 gånger mer än de högsta metallhalterna. I tabellerna har värdet för fosfor angivits i % och de övriga föroreningarna i mg/kg TS. I vissa av svaren finns fosfor angiven i % och i vissa fall som g/kg TS. 2 % är 20 000 mg/kg eller 20 g/kg. I vissa svar där enheten ej har angetts, har storleken på värdet använts för att avgöra vilken enhet som bör användas.

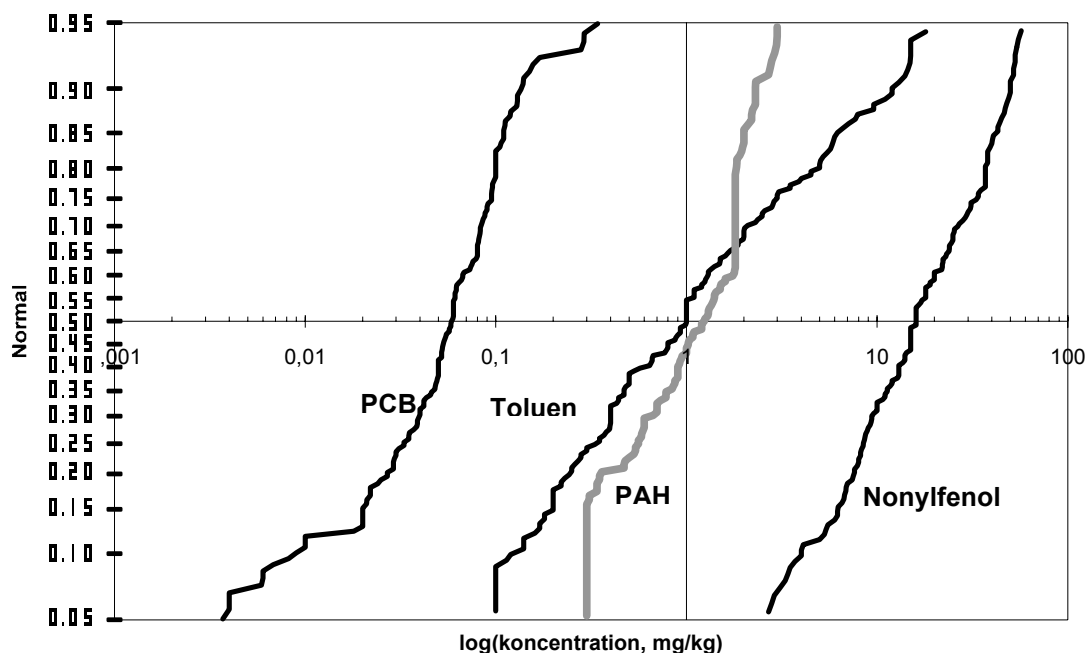
Analysresultatens spridning

Bilaga 1 visar i 12 diagram hur redovisade analyser av oorganiska och organiska ämnen i avloppsslam varierar för åren 1995, 1996 och 1997. Diagrammen är klassindelade frekvens-histogram där staplarnas storlek visar antalet analyser som faller inom ett visst givet klassintervall. Staplarnas storlek påverkas förutom av den relativa fördelningen även av att det totala antalet analyser varierar mellan de tre åren. Förutom för kvicksilver blir staplarna mindre för klasser med högre haltgränser. Kvicksilver visar en frekvensfördelning med de största staplarna vid de mellersta klasserna. Dock minskar andelen analyser inom klasserna 1 001 – 1 500 mg/kg TS, från 28% för år 1995 och 1996 till 20% 1997. För de organiska föroreningarna, nonylfenol, toluen, PAH och PCB ökar frekvensen successivt för klasser vid lägre halter från 1995 till 1997, vilket kan bero på ökad medvetenhet och restriktioner för utsläpp till avloppsnätet.

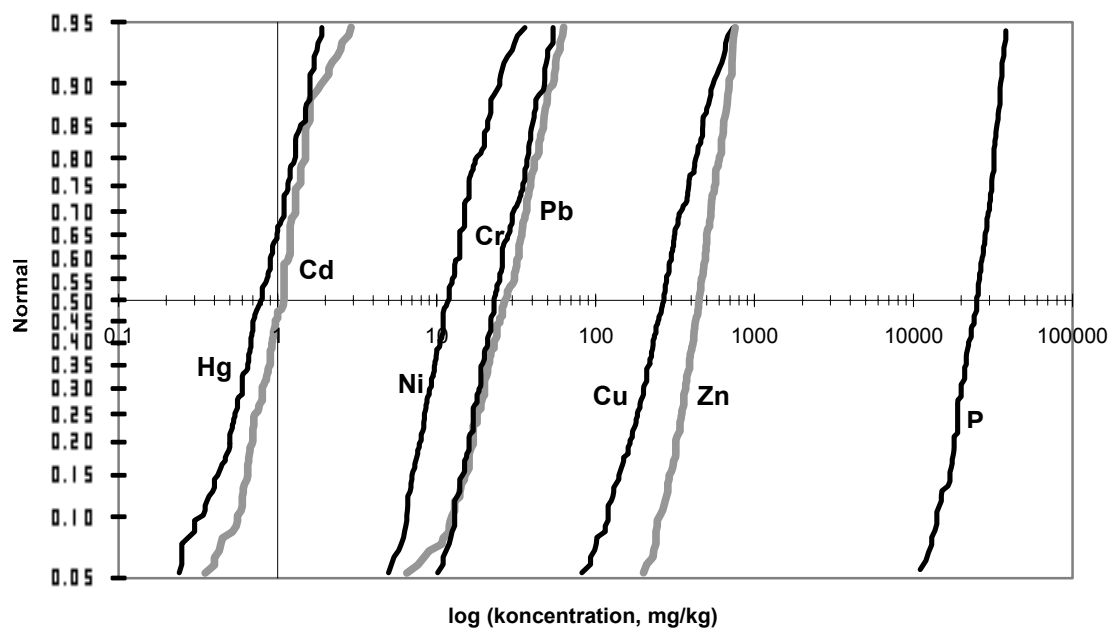
Bilaga 2 består av 12 diagram, ett per ämne, med logaritm-normalfördelningskurvorⁱ, för alla redovisade värden för 1995, 1996 och 1997. Logaritm-normalfördelningskurvor för år 1997 med värden utom de 5 % största och lägsta, visas av figur 5 för metaller och fosfor och av figur 6 för de organiska föroreningarna.

ⁱ I ett normalfördelningsdiagram har alla mätvärden lagts in sorterade efter storlek. Om värdena är slumpmässigt fördelade runt medianvärdet (hälften av värdena är större och hälften är lägre) som ligger vid 0,5, skall mätvärdena bilda en rät linje i diagrammet.





Figur 5. Logaritm-normalfördelningsdiagram med värden utom de 5 % största och lägsta för metaller och fosfor för 1997.



Figur 6. Logaritm-normalfördelningsdiagram med värden utom de 5 % största och lägsta för organiska föroreningar för 1997.

Tabell 8 visar analysvärdena i diagrammen uppdelade på fraktiler¹. Förutom för de högsta och lägsta värdena visar dessa kurvor ett linjärt samband. De räta linjerna i normalfördelningsdiagrammen visar att mätvärdena varierar av slumpmässiga orsaker. Kurvorna har samma lutning för de olika oorganiska ämnena, medan medianvärdena, skärningspunkten med 0,5 linjen på normalskalan, ligger på olika nivåer. Giftiga och sällsynta ämnen som finns i lägre

¹ Värdet för fraktilen X % är värdet då X % av mätvärdena är mindre och (100 - X) % är större. (Medianvärdet är värdet för fraktilen 50 %.)

halter ligger förskjutna till vänster i diagrammet. Fosfor som finns i högre halter än metallerna ligger till höger. Kurvorna för de organiska föroreningarna visar en större lutning vilket beror på större skillnad i halter mellan olika slam. Tabell 9 visar halter av fosfor, tungmetaller och organiska miljögifter för 1997 fördelade på fraktiler av slamvolym.

Tabell 8. Halter av fosfor, tungmetaller och organiska miljögifter för 1997 fördelade på fraktiler av antal analyser.

Ämne	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%
Fosfor, P, %	1,10	1,40	1,80	2,00	2,23	2,50	2,70	2,95	3,20	3,50	3,80
Bly, Pb, mg/kg	6,50	13	17	20	23	27	33	37	43	54	64
Kadmium, Cd, mg/kg	0,35	0,59	0,70	0,80	0,93	1,1	1,17	1,30	1,50	1,88	2,90
Koppar, Cu, mg/kg	82	120	165	201	230	270	300	353	430	580	810
Krom, Cr, mg/kg	10,15	13,00	16,00	18,90	21,00	23	26,00	31,00	38,00	48,00	64,00
Kvicksilv., Hg, mg/kg	0,24	0,35	0,50	0,60	0,68	0,80	0,91	1,10	1,30	1,60	1,90
Nickel, Ni, mg/kg	5,0	6,55	8,0	9,30	10,50	12	14,0	15,0	19,0	25,0	41,0
Zink, Zn, mg/kg	200	264	320	370	412	450	490	533	602	720	765
Nonylfenol mg/kg	2,7	4,0	7,6	9,6	13,0	16,0	20,0	26,5	37,0	50,0	63,0
Toluen mg/kg	0,10	0,14	0,25	0,40	0,64	1,00	1,30	2,10	5,00	12,00	18,40
Summa PAH, mg/kg	0,30	0,30	0,36	0,67	0,90	1,245	1,78	1,80	1,83	2,30	3,00
Summa PCB, mg/kg	0,004	0,01	0,027	0,04	0,05	0,059	0,067	0,084	0,1	0,14	0,34

Tabell 9. Halter av fosfor, tungmetaller och organiska miljögifter för 1997 fördelade på fraktiler av slamvolym.

Ämne	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%
Fosfor, P, %	1,1	1,45	1,9	2,15	2,65	2,75	3,05	3,25	3,43	3,6	3,8
Bly, Pb, mg/kg	5	14,3	20	25	31	33	38	47	55	57	68
Kadmium, Cd, mg/kg	0,56	0,66	0,8	0,94	1,1	1,15	1,3	1,5	1,6	1,8	2,5
Koppar, Cu, mg/kg	101,4	140	194	240	275	325	420	430	470	960	1483
Krom, Cr, mg/kg	12,5	14	17	20	23	25	26,3	34	35	41	69
Kvicksilv., Hg, mg/kg	0,37	0,5	0,65	0,72	0,9	1,1	1,3	1,6	1,7	2,4	2,4
Nickel, Ni, mg/kg	6,6	7,8	9,54	11	13	14	15	19	20	21	25,3
Zink, Zn, mg/kg	275	308	360	420	484	500	570	590	620	678	786
Nonylfenol mg/kg	6,2	7,6	11,3	15	20	23	28,2	38	46,5	50	63
Toluen mg/kg	0,079	0,098	0,18	0,28	0,47	0,93	1,5	2	3,5	5,58	11
Summa PAH, mg/kg	0,3	0,48	0,78	1	1,24	1,6	1,8	2,2	2,3	2,97	3
Summa PCB, mg/kg	0,006	0,022	0,04	0,057	0,067	0,082	0,1	0,11	0,119	0,13	0,291

Relationer mellan halter av olika ämnen

Sambandet mellan fosfor och olika metaller i slam framgår av tabell 10, som visar de beräknade regressionskoefficienterna¹, för avloppsslam för 1997. Av tabellen framgår att det finns ett visst samband mellan förekomsten av zink och de övriga oorganiska ämnena utom nickel. Den uppskattade regressionskoefficient mellan förekomsten av bly och zink är högst, dvs ca 0,58, och koefficienten för bly och kadmium är 0,51. Bilaga 3 visar 7 diagram med relationerna mellan fosfor- och metallhalter och 21 diagram med relationerna mellan olika metallhalter. Inga signifikanta negativa samband kunde konstateras mellan något av de rapporterade analysvärdena. Det framgår även av att det inte är vissa kommuner som ligger

¹ Regressionskoefficienten är 1 om det ena värdet är en funktion av det andra ($x = \text{konstant} + y \cdot \text{konstant}$) och 0 om värdena varierar helt oberoende av varandra.

högst på alla föroreningar, utan att olika kommuner har högst halt för olika föroreningar. Vid användning av avloppsslam som gödsel i jordbruket är relationen mellan fosfor och föroreningshalt intressant. Tabell 11 visar tungmetaller och organiska miljögifter som mg/kg fosfor, för 1997 fördelade på fraktiler.

Tabell 10. Beräknade regressionskoefficienter mellan olika metaller och fosfor för avloppsslam för 1997.

	P	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
P	1	0,196	0,186	0,269	0,219	0,343	0,205	0,465
Pb		1	0,512	0,301	0,190	0,279	0,096	0,579
Cd			1	0,130	0,138	0,191	0,091	0,471
Cu				1	-0,013	0,372	0,020	0,449
Cr					1	0,074	0,268	0,218
Hg						1	0,062	0,399
Ni							1	0,071
Zn								1

Tabell 11. Kvoten tungmetaller och organiska miljögifter mot fosfor för 1997 som mg/kg P, fördelade på fraktiler.

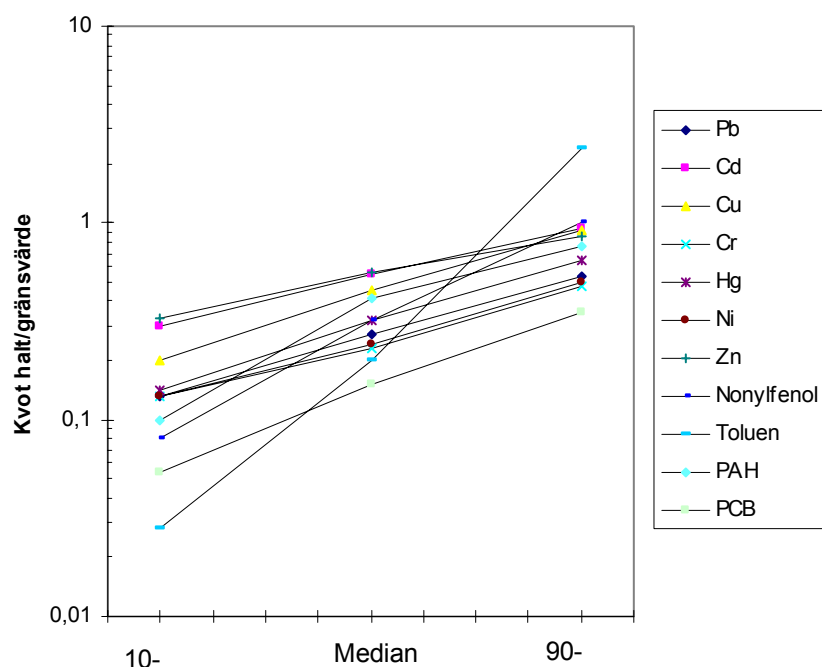
Ämne	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%
Bly, Pb	417	592	788	910	1000	1120	1280	1520	1875	2600	4340
Kadmium, Cd	26,0	29,2	33,7	37,1	40	43,2	45,8	50	61,8	92,7	224
Koppar, Cu	5700	6350	7710	8820	9860	11000	12590	15410	18270	28790	43750
Krom, Cr	468	561	674	770	841	921	1150	1330	1530	2170	2820
Kvicksilver, Hg	13,5	19,5	23,8	28,1	32	35,8	39,3	43,1	49,3	67,1	124
Nickel, Ni	250	291	358	404	442	482	528	629	754	1200	2270
Zink, Zn	12780	14320	15680	16760	17760	18570	19660	21320	24210	28580	32720
Nonylfenol	121	206	341	500	636	762	947	1100	1360	1830	2930
Toluen	4,18	5,25	9,31	18,1	25,7	38,0	47,2	83,3	203	355	652
Summa PAH	10,7	13,3	21,4	29	42	49,1	58,4	69,5	91,6	115	192
Summa PCB	0,26	0,64	1,52	1,94	2,17	2,44	2,86	3,33	3,84	7,57	21,1

Föroreningshalter jämfört med gränsvärden för slam.

För att bedöma slammets kvalitet beräknades kvoten mellan föroreningshalter (1997 års värden) och gränsvärdet för användning av slam i jordbruket. Tabell 12 visar gränsvärden och andel analyser större än gränsvärdet i % för 1997. Median, 10- och 90-percentil mot logaritmen av kvoten halt/gränsvärde för de olika föroreningarna visas av figur 7. Av föroreningarna är andelen analyser över gränsvärdet högst för toluen (20 %) och nonylfenol (10 %). Av metallerna är andelen högst för kadmium (9,1 %) följt av koppar (8,6 %). Figur 8 visar logaritm- normalfördelningskurva för summan av kvot halt/(gränsvärde eller riktvärde), som kan användas som ett mått på totala föroreningar i slammet. Vid summeringen har hänsyn tagits till att vissa inte har redovisat analyser på alla föroreningar genom att summan dividerats med antalet redovisade analyser och multiplicerats med 11.

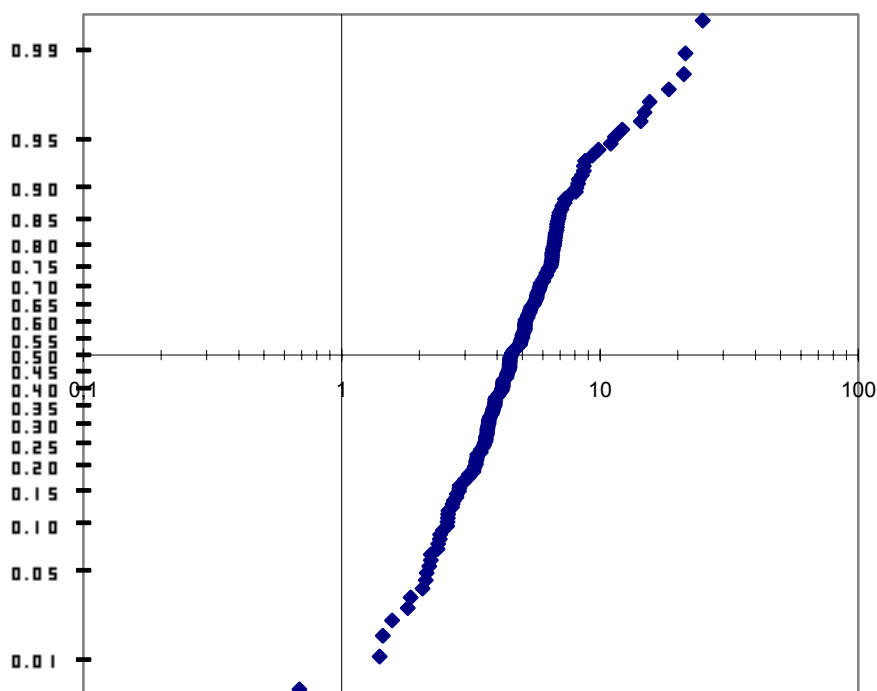
Tabell 12. Gränsvärde, samt % analyser större än gränsvärdet för 1997.

Ämne	Gränsvärde, mg/kg	% större än gränsvärde
Bly, Pb	100	1,1
Kadmium, Cd	2	9,1
Koppar, Cu	600	8,6
Krom, Cr	100	1,1
Kvicksilver, Hg	2,5	2,7
Nickel, Ni	50	3,2
Zink, Zn	800	3,8
Nonylfenol	50	10,4
Toluen	5	20,0
Summa PAH	3	5,8
Summa PCB	0,4	4,8
Medelvärde		6,3



Figur 7. Median, 10- och 90-percentil mot logaritmen av kvot halt/gränsvärde.

Att det inte finns något samband mellan föroreningshalterna medför att 49 % av redovisade slam hade någon förorening som var högre än gränsvärdet trots att medelvärdet för analyser över gränsvärdet bara är 6,3 %. Av 187 analyserade slam 1997 hade; 96 slam (51 %) inga analyser över gränsvärdena, 65 slam (35 %) 1 analys över gränsvärdet, 17 slam (9 %) 2 analyser över gränsvärdena, 9 slam (5 %) 3 analyser över gränsvärdena och inga slam (0 %) mer än 3 analyser över gränsvärdena. Med gränsvärden för 11 ämnen hade 49 % av de rapporterade slammen någon förorening som var högre än gränsvärdet. Om ämnet toluen, där 20 % av rapporterade slam har en halt som är högre än gränsvärdet, tas bort från föroreningarna överstiger 35 % av slammen något av de 10 övriga gränsvärdena. Enbart 23 % av rapporterade slam överstiger gränsvärdena för någon av de 7 metallerna.



Figur 8. Logaritm-normalfördelningskurva för summan av kvot (halt för ett enskilt ämne)/(gränsvärde eller riktvärde för ämnet) för år 1997.

Föroreningshalt jämfört med gränsvärden för tillförsel av metall till åkermark

Vid användning av slam som gödsel kan mängden slam beräknas utifrån fosforbehovet och andelen fosfor i slammet.

$$\text{Slammängd (kg/ha,år)} = \frac{\text{Fosforbehov(kg P/ha,år)}}{\text{Fosforhalt(\%P)/100}}$$

Mängden tillförd metall till marken beräknas genom att slammängden multipliceras med metallhalten.

$$\text{Tillförd metall (g/ha,år)} = \frac{\text{Fosforbehov(kg P/ha,år)}}{\text{Fosforhalt(\%P)/100}} \times \frac{\text{Metallhalt(mg/kg)}}{1000}$$

Utifrån redovisade analyser av fosfor och metallhalt för år 1997 beräknades hur mycket metall som tillfördes till marken per hektar och år vid gödsling med slam svarande mot 10, 20 eller 30 kg fosfor per hektar och år. Tabell 13 visar analyser i antal och procent från 161 kommuner 1997, där halten bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink, överskrider gränsvärdet som gäller från år 2000 och gränsvärdet som gällde från 1995 till 2000. Tabellen visar att ju större giva som behövs desto fler slam överskrider gränsvärdena. Den största andelen slam över gränsvärdet är för kadmium (96% vid 30 kg P/ha, år) följt av bly (75% vid 30 kg P/ha, år).

Då metallhalterna varierar oberoende av varandra medför det att antalet slam där någon metallhalt är högre än gränsvärdet är större än andelen slam över gränsvärdet för en enskild metall. Tabell 14 visar slam från tabell 13 fördelade efter hur många av de 7 metallerna i tabellen, där mängden tillförd metall överskrider gränsvärdet. Tabellen visar att med de gränsvärden som gäller från år 2000 och 10 kg P/ha, år ger 26 % av slammen en tillförsel av

någon metall som överskrider gränsvärdet. Om givan ökas till 20 kg P/ha, år ger 81 % av slammen tillförsel av någon metall som är högre än gränsvärdet. Vid 30 kg P/ha, år ger 96 % av alla slam tillförsel av någon metall som är högre än gränsvärdet. Med de gränsvärden som gällde från 1995 till 2000 gav 9 % av slammen för hög tillförsel av någon metall vid 10 kg P/ha, år, 21 % vid 20 kg P/ha, år och 30 % vid 30 kg P/ha, år.

Tabell 13. Analyser i antal och procent från 161 kommuner 1997, där metallhalten överskrider gränsvärdet för tillförsel av metallen till mark som gödslas med en slammängd motsvarande 10, 20 och 30 kg fosfor per hektar och år.

Metall	Gränsvärde g/ha,år	Giva 10 kg P/ha, år		Giva 20 kg P/ha, år		Giva 30 kg P/ha, år		
		Antal	Procent	Antal	Procent	Antal	Procent	
2000	Pb	25,00	17	11 %	68	42 %	121	75 %
	Cd	0,75	20	12 %	110	68 %	154	96 %
	Cu	300	14	9 %	49	30 %	94	58 %
	Cr	40	3	1,9 %	17	11 %	45	28 %
	Hg	1,5	6	3,7 %	10	6 %	30	19 %
	Ni	25	6	3,7 %	14	9 %	25	16 %
	Zn	600	3	1,9 %	12	7 %	61	38 %
1995	Pb	100,00	3	1,9 %	6	3,7 %	10	6,2 %
	Cd	1,75	9	5,6 %	16	9,9 %	35	22 %
	Cu	600	3	1,9 %	14	8,7 %	27	17 %
	Cr	100	1	0,6 %	1	0,6 %	3	1,9 %
	Hg	2,5	3	1,9 %	7	4,3 %	9	5,6 %
	Ni	50	2	1,2 %	6	3,7 %	11	6,8 %
	Zn	800	3	1,9 %	5	3,1 %	23	14 %

Tabell 14. Slam från 161 kommuner 1997, fördelade efter hur många av de 7 metallerna Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni och Zn, där halten överskrider gränsvärdet för tillförsel av metallen till mark som gödslas med en slammängd motsvarande 10, 20 och 30 kg fosfor per hektar och år.

	Antal metaller	Giva 10 kg P/ha, år		Giva 20 kg P/ha, år		Giva 30 kg P/ha, år	
		Antal	Procent	Antal	Procent	Antal	Procent
2000	0	119	74 %	31	19 %	6	3,7 %
	1	29	18 %	44	27 %	10	6,2 %
	2	9	5,6 %	49	30 %	32	20 %
	3	1	0,6 %	22	14 %	41	25 %
	4	0	0 %	10	6,2 %	41	25 %
	5	0	0 %	1	0,6 %	21	13 %
	6	2	1,2 %	1	0,6 %	6	3,7 %
1995	7	1	0,6 %	3	1,9 %	4	2,5 %
	0	146	91 %	127	79 %	96	60 %
	1	10	6,2 %	26	16 %	36	22 %
	2	3	1,9 %	4	2,5 %	19	12 %
	3	1	0,6 %	1	0,6 %	6	3,7 %
	4	0	0 %	0	0 %	0	0 %
	5	1	0,6 %	0	0 %	1	0,6 %
6	0	0 %	3	1,9 %	0	0 %	
7	0	0 %	0	0 %	3	1,8 %	

Naturvårdsverkets och SCB-statistik från 1998

Halter av fosfor, metaller och organiska föroreningar i slam från SCB:s statistik för år 1998³³ visas i tabell 15. Medianvärde (hälften av värdena är större och hälften är lägre) och medelvärde redovisas fördelat på tre klasser efter reningsverkets storlek, färre än 20 000, 20 001 – 100 000 och fler än 100 000 anslutna personer. Förutom för toluen och PCB ökar föroreningshalterna med storleken på reningsverket. Tabellen visar även totala halter för åren 1998 och 1995, vilket visar att vissa ämnen har minskat i halt och andra har ökat. Den största minskningen är halten av nonylfenol som har halverats, den största ökningen är halten toluen som har fördubblats. Statistiken visar också att halten av de flesta uppmätta metaller sjunker kontinuerligt år från år, tack vare minskad användning och minskade utsläpp från anslutna industrier. Tabell 16 visar en jämförelse mellan medelhalt i mg/kg TS för avloppsslam 1998 och gällande kvalitetskrav för de tre användningsområden (jordbruk, skogsbruk och på grönytor) för vilka myndigheterna har fastställt generella kvalitetskrav.

Tabell 15. Statistik från Naturvårdsverkets och SCB³³ med median- och medelvärden för näringsämnen, metaller och organiska miljögifter i slam 1998 beroende på reningsverkets storlek i antal anslutna personer, samt total för år 1998 och 1995.

	Medianvärden, mg/kg TS			Medelvärden, mg/kg TS			Totalt 1998	Totalt 1995
	Färre än 20 000	20 001 – 100 000	Fler än 100 000	Färre än 20 000	20 001 – 100 000	Fler än 100 000		
Fosfor	21 500	28 000	32 500	21 177	27 739	31 108	27 702	27 600
Kväve	36 000	35 500	40 000	35 205	37 220	40 379	38 112	34 200
Bly	24	30,5	33,2	26,6	36,9	39,2	35,4	41,8
Kadmium	0,9	1,1	1,2	1	1,3	1,3	1,2	1,5
Koppar	220	280	378	266,9	349,6	502,7	394,1	393,7
Krom	21	26	28,5	26,3	30,8	35,7	35,7	33,6
Kvicksilver	0,6	0,9	1,1	0,8	0,9	1,3	1,1	1,3
Nickel	10,1	12	19,6	12,6	19,9	19,7	18,2	16,5
Zink	415	530	590	423,1	554,4	606,4	545,4	537,2
Nonylfenol	10,1	18,34	25,8	13,4	23,1	27	22,8	46,6
Toluen	0,9	0,7	0,4	12,3	4,1	1,1	4,5	2,3
PAH	0,7	1,1	1,4	1,2	2,2	1,8	1,8	1,8
PCB	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

16. Jämförelse mellan medelhalt i mg/kg TS för avloppsslam 1998 och gällande kvalitetskrav för olika typer av slamanvändning.

Metall, mg/kg TS	Medelhalt avloppsslam 1998 ³³	Slam till jordbruk Gränsvärden ⁶	Slam till grönytor Riktvärden ⁵	Slam till skogsbruket Riktvärden, södra Sverige ⁸
Bly, Pb	35,4	100	100	250
Kadmium, Cd	1,2	2	2	30
Koppar, Cu	394,1	600	600	500
Krom, Cr	35,7	100	150	250
Kvicksilver, Hg	1,1	2,5	2,5	5
Nickel, Ni	18,2	50	100	200
Zink, Zn	545	800	1 500	6 000

I SCB:s statistik har beräknats hur stor andel av svenskt avloppsslam som ligger inom olika haltintervall för metaller och organiska indikatorparametrar. Utifrån dessa uppgifter kan andelen slam som klarar gällande gränsvärden beräknas. I tabell 17 redovisas andelen slam som enligt SCBs statistik för år 1998³³ klarade de gränsvärden som gäller slam för jordbruksändamål. Naturvårdsverkets skärpta gränsvärden för metalltillförsel som gäller från år 2000⁷ innebär dock att kraven på slamkvaliteten har skärpts indirekt. I de flesta fall räcker det inte att klara haltgränsvärdena. Halten av vissa metaller måste vara lägre om man ska kunna ge en full fosforgiva, utan att överskrida tillförselgränsvärdena. I tabellen redovisas den beräknade halten som måste underskridas för en full fosforgiva. Denna halt har beräknats för ett svenskt genomsnittsslam med fosforhalten 2,8 % av TS och en genomsnittsgiva på 20 kg fosfor per hektar och år³⁶. Andelen slam som klarade den beräknade halten 1998 har erhållits genom extrapolation av de andelar som redovisas i SCBs statistik³³. Av tabellen framgår att de flesta slam klarar samtliga gränsvärden, men inte beräknad halt för full fosforgiva. De flesta slam klarar även slamöverenskommelsens indikatorämnen (nonylfenol: 98 %, PAH: 100 % och PCB: 99 %). Det ämne som oftast överskrider haltgränsvärdet är koppar (i 11 % av fallen), följt av kadmium (5 %) och zink (5 %). Enligt SCB:s statistik är det sammantaget ca 60 % som klarar alla kvalitetskrav, slamöverenskommelsens indikatorämnen inberäknade. Tabellen visar också att framför allt bly, kadmium och koppar måste sänkas jämfört med idag om man ska kunna ge en full fosforgiva, utan att behöva stödgödsla med handelsgödsel (vilket formellt är fullt tillåtet). SCB:s överslagsberäkningar indikerar att knappt 30 %³⁷ av de svenska avloppsslammen hade så låg metallhalt år 1998, att man klarar av att ge en full fosforgiva.

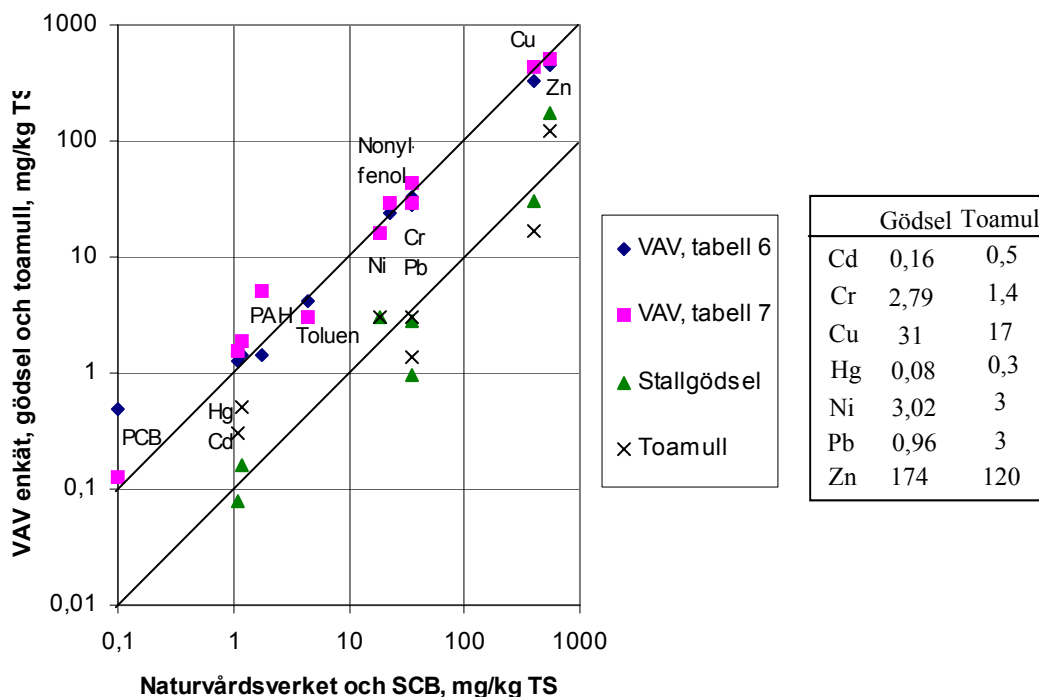
Utifrån SCB:s uppgifter kan även andelen slam som klarar riktvärdena för slam till grönytor och skogsmark beräknas. Minst 80 % av det svenska slammet klarar Naturvårdsverkets riktvärden för slam till grönytor. Andelen slam som klarar riktvärdena för grönytor är högre än andelen slam som klarar gränsvärdena för jordbruk. Detta beror på att allt slam klarade riktvärdena för grönytor för nickel och zink 1998, medan 98 respektive 95 % klarade motsvarande gränsvärden för jordbruk. Andelen slam som klarade riktvärdena för de sju metallerna bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink i produkter inom skogsbruket var 78 % (beräknat på liknande sätt som tidigare genom extrapolation av uppgifterna i SCB:s statistik³³). Den enda av dessa sju metaller som överskred riktvärdet var koppar. Även om man jämför den teoretiska metallhalten i aska från slamförbränning med Skogsstyrelsens riktvärden är det endast koppar som begränsar användningen i skogsbruket. Andelen som klarade riktvärdena kan i detta fall beräknas till ca 35 % (se beräkningsgrunderna för halt i aska ovan). Andelen slam som klarade Skogsstyrelsens riktvärden för övriga ämnen är okänt, eftersom det saknas uppgifter om medelhalten av dessa ämnen i slam. Uppgifter från VA-verket Malmö³⁸ indikerar dock att denna andel troligen är hög.

Tabell 17. Andel av den totala slammängden slam som år 1998³³ uppfyllde kvalitetskraven för slam till jordbruksändamål.

Metall	Gränsvärde för slam till jordbruk mg/kg TS	Andel som underskred gränsvärdena	Beräknad halt för full fosforgiva (20 kgP/ ha,år) mg/kg TS	Andel som underskred beräknad halt
Bly, Pb	100	100 %	35	53 %
Kadmium, Cd	2	95 %	1,0	46 %
Koppar, Cu	600	89 %	420	68 %
Krom, Cr	100	99 %	56	86 %
Kvicksilver, Hg	2,5	99 %	2,1	85 %
Nickel, Ni	50	98 %	35	98 %
Zink, Zn	800	95 %	800	95 %

Jämförelser med övrig statistik

Figur 9 visar en jämförelse mellan föroreningshalter 1998 enligt Naturvårdsverket och SCB³³ och 1997 enligt VAV-enkäten (tabell 6 och 7). Värdena från föroreningshalter enligt VAV-enkäten visar, förutom för PCB och PAH, på en god överensstämmelse med Naturvårdsverket och SCB. Figuren inkluderar även metallhalterna i stallgödsel³⁹ och mull från mulltoaletter⁴⁰, vilka ligger ca en tiopotens lägre än halterna i avloppsslam.



Figur 9. Jämförelse mellan halter 1998 enligt Naturvårdsverket och SCB³³ och 1997 enligt VAV-enkäten (tabell 6 och 7) samt för stallgödsel³⁹ och mull från mulltoaletter⁴⁰.

Tabell 18 visar föroreningshalter för slam jämfört med statistik från Danmark för år 1997 och 1987⁴¹ och Tyskland⁴². Metallhalterna i danskt slam har minskat mellan åren 1987 till 1997. Halterna för tyskt slam, som är från slutet av 80-talet, är likvärdiga med halterna för danskt slam från 1987. Tabell 19 visar föroreningar i danskt slam uppdelat i fraktiler och tabell 20 visar kvoten metall fosfor för bly, kadmium, kvicksilver och nickel. Danska Miljøstyrelsen har även redovisat innehåll av vissa organiska föroreningar i danskt slam för år 1997. Tabell 21 visar halterna av LAS (linjära alkylbensensulfonater), PAH (polyaromatiska kolväten)ⁱ, NPE (nonylfenol) och DEHP (dietylhexylphthalat). Eftersom aerob stabilisering av slam bryter ned organiska föroreningar redovisas även medelhalter för aerobt stabiliserat slam och anaerobt stabiliserat (rötat) slam. Andelen slam som stabiliseras aerobt har ökat från 19 % 1987 till 44 % 1997. Andelen anaerobt rötat slam var 42 % 1987 och 43 % 1997.

Tabell 18. Metallhalter i mg/kg TS i slam i Danmark⁴¹ och Tyskland⁴².

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Danmark 1997	1,97	32,0	262	1,41	22,9	71,4	760
1987	4,99			3,76	48,0	174,0	
Tyskland	3,8	91	330	2,7	39	159	1318

ⁱ De danska PAH-värdena är inte jämförbara med de svenska, eftersom man i Danmark summerar 9 PAH-komponenter, mot 6 i Sverige.

Tabell 19. Halter av fosfor, tungmetaller och organiska miljögifter för danskt slam fördelade på fraktiler⁴¹.

Ämne	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%
Bly, Pb, mg/kg	19,8	28,4	35,8	42,0	53,0	58,3	67,0	81,0	90,4	180,5	183
Kadmium, Cd, mg/kg	0,66	0,8	0,99	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,27	4,23	5,4
Koppar, Cu, mg/kg	100	120	160	206	240	247	282	308	333	410	492
Krom, Cr, mg/kg	10,0	12,7	16,0	19,0	23,0	28,0	35,0	36,2	43,0	52,1	59,9
Kvicksilv., Hg, mg/kg	0,35	0,45	0,70	0,83	0,94	1,20	1,40	1,70	2,10	2,94	3,00
Nickel, Ni, mg/kg	8	10	13	16,5	18,3	19,1	20	23	30	37,2	44,3
Zink, Zn, mg/kg	336	380	512	600	592	783	830	918	958	1068	1078
Arsenik, mg/kg	0,04	0,05	3,20	3,30	3,74	3,93	4,32	4,59	4,74	4,89	4,97

Tabell 20. Kvoten tungmetaller mot fosfor för danskt slam som mg/kg P, fördelade på fraktiler⁴¹.

Ämne	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	95%
Bly, Pb	595	841	1063	1284	1512	1628	1763	1955	2143	2516	1795
Kadmium, Cd	23,1	26,9	31,2	34,3	38,5	42,6	45,1	48,3	54,2	64,3	80,5
Kvicksilver	16,7	18,8	22,3	25,4	30,0	32,2	36,6	42,8	49,5	58,2	72,7
Nickel, Ni	280	356	425	477	529	556	586	638	733	1101	1183

Tabell 21. Organiska föroreningar i slam i Danmark⁴¹.

		Medelvärde	Medianvärde aerobt stabiliserat	Medianvärde anaerobt rötat
LAS	mg/kg TS	714,0	79,0	795,0
PAH	mg/kg TS	2,1	1,3	2,3
Nonylfenol	mg/kg TS	30,1	5,8	38,0
DEHP	mg/kg TS	26,3	22,0	25,0

Skogsstyrelsen har även riktvärden för andra ämnen än de som är reglerade för kommunalt avloppsslam (se tabell 1)⁸. VA-verket i Malmö har i ett forskningsprojekt, om inarbetning av slam³⁸ mätt halten arsenik, kobolt och vanadin i slam från Sjölundaverket. I tabell 22 jämförs medelvärdet av de halter som uppmättes under år 1996 med motsvarande riktvärden från Skogsstyrelsen. Eftersom Skogsstyrelsens riktvärden gäller oavsett i vilken form en produkt används, har Sjölundaverksslammets halt uttryckts både som mg/kg TS och som mg/kg aska. Här har vi utgått från den glödningsrest på 42 % av TS som uppmättes 1996 och från att det inte finns något oförbränt organiskt material kvar i askan efter en eventuell slamförbränning.

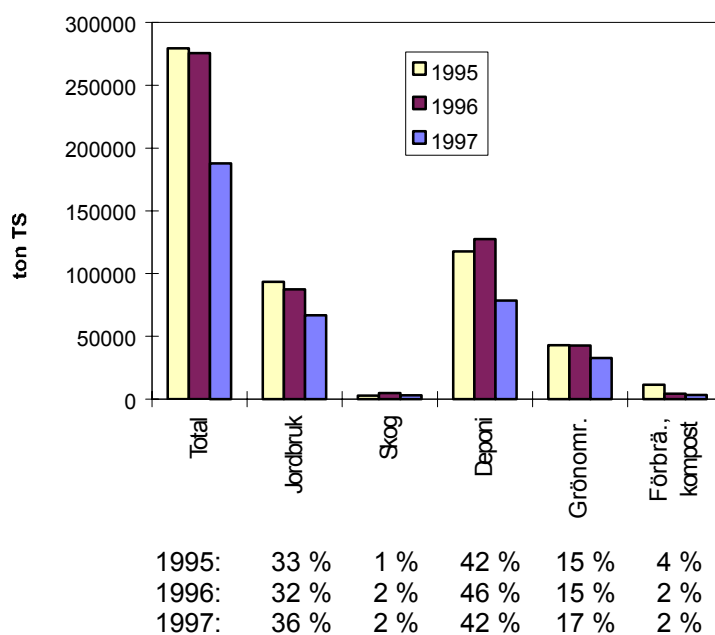
Tabell 22. Skogsstyrelsens riktvärden för arsenik, kobolt och vanadin jämfört med respektive halt i slam från Sjölundaverket i Malmö.³⁸

Metall	Riktvärden skogsmark	Slam från Malmö, 1996	
	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg aska
Arsenik, As	20	4	10
Kobolt, Co	100	6	14
Vanadin, V	100	10	24

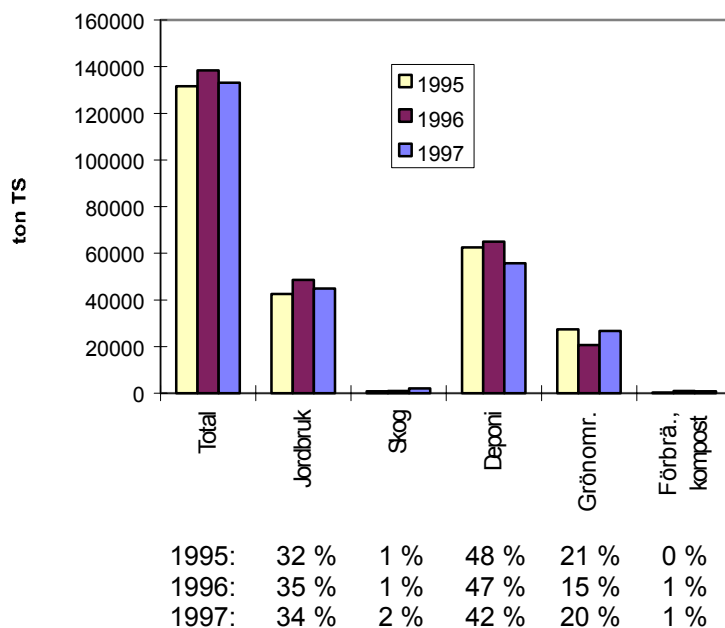
Slammängd, slamvolym och användning

Resultat från VAV-Enkät

Figur 10 visar redovisade slamvolymen enligt svar från VAVs enkät samt den procentuella fördelningen för olika typer av slam användning. För år 1995 erhöles svar från 129 kommuner, år 1996 svar från 204 kommuner och år 1997 svar från 171 kommuner. I enkäten fanns förbränning som ett svarsalternativ. Det var dock få som brände slam varför figurerna visar alternativet förbränning tillsammans med kompostering som några kommuner hade lagt till utöver de givna svarsalternativen. Figuren visar även att inrapporterade slamvolymen har sjunkit från 1995 till 1997. Den procentuella fördelningen för användning av slam förändras troligen ej av att svarsfrekvensen är olika för de tre åren. Totalvolymerna påverkas dock vilket ses av att staplarna för 1996 är relativt högre jämfört med 1995 och 1997. Figur 11 visar slamvolymen samt den procentuella fördelningen för slam användning för de 104 kommuner som i enkäten redovisat samtliga tre år.



Figur 10. Inrapporterade uppgifter på slamvolymen och slam användning i procent för år 1995 (129 kommuner), år 1996 (204 kommuner) och år 1997 (171 kommuner).



Figur 11. Slamvolym och slam användning i procent för de 104 kommuner som redovisat samtliga år 1995 till 1997.

I vissa svar har slamvolymerna angivits i ton slam istället för ton torrsubstans, TS. Detta kan bli missvisande i jämförelse mellan kommunerna. Om torrsubstanshalten har angivits har slamvolymen räknats om till ton TS. Om torrsubstanshalten ej har angivits har en torrsubstanshalt på 20 % använts. Allvarligare fel uppkommer dock om slamvolymen har angivits i ton slam utan att det angetts i svaret. Det verkar som att vissa kommuner som besvarat enkäten första gången svarat med ton slam för att sedan nästa år uppmärksamma att svaret skall anges i ton TS, vilket leder till att slamvolymerna enligt statistiken minskar mer än i verkligheten. Om skillnaden mellan 1995 och 1997 är större än 4 gånger har vid beräkningen i figur 11 antagits att det större värdet varit avvattnat slam och värdet har omräknats med torrsubstanshalten 20 %. Denna korrigering medför att slamvolymerna blir i stort sett lika för de tre åren.

Jämförelse med övrig statistik

Statistiken från Naturvårdsverket och SCB³³ om slam användningen i Sverige visar att av totalt 221 307 ton TS år 1998 användes 25 % (56 294 ton TS) i jordbruket, 9 % (20 035 ton TS) för grönområden, 5 % (10 002 ton TS) mellanlagrades och 46 % (101 047 ton TS) deponerades. Slam användningen i Sverige kan jämföras med slam användningen i Europa på 80-talet, vilket visas i tabell 23 och för år 1992 i tabell 24.

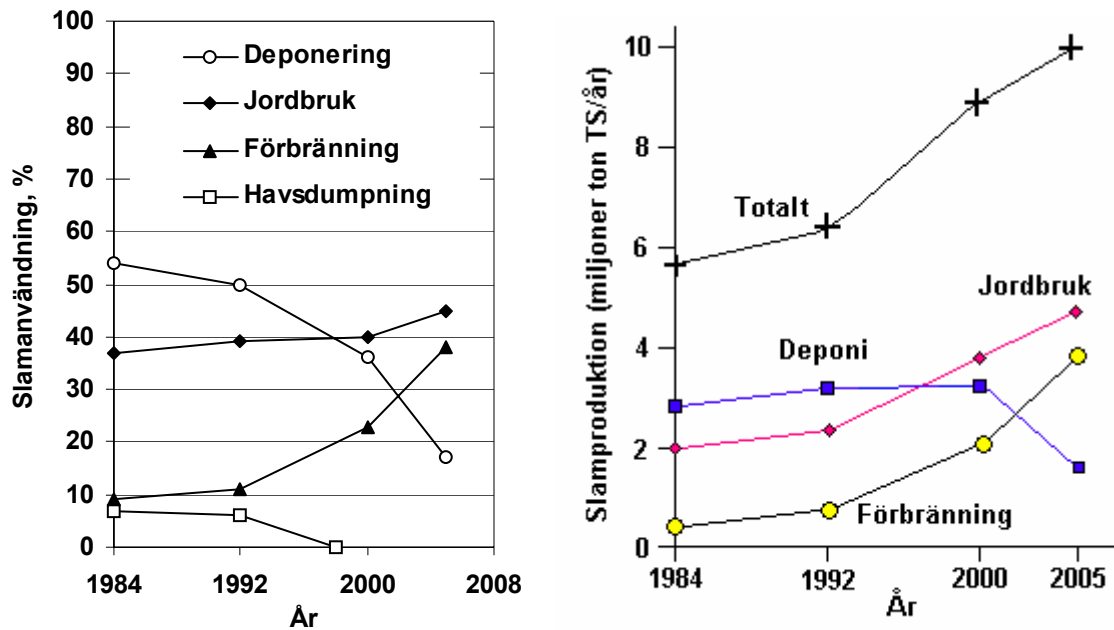
Tabell 23. Slamanvändning i Europa på 1980-talet i tusen ton TS och procent ⁴³.

	Jordbruk	Deponi	Förbränning	Hav	Total	
Belgien	8 (28%)	15 (52%)	6 (21%)	0	29	1984
Danmark	57 (44%)	39 (30%)	35 (27%)	0	131	1987
Frankrike	234 (28%)	446 (52%)	170 (20%)	0	850	1984
Grekland	0	15 (100%)	0	0	15	1984
Irland	7 (30%)	4 (17%)	0	12 (52%)	23	1984
Italien	270 (34%)	440 (55%)	90 (11%)	0	800	1984
Luxemburg	12 (80%)	3 (20%)	0	0	15	1984
Nederländerna	127 (64%)	55 (28%)	6 (3%)	11 (6%)	199	1984
Spanien	173 (62%)	28 (10%)	0	79 (28%)	280	1984
England och Wales	507 (53%)	151 (16%)	66 (7%)	234 (24%)	958	1989
Sverige	108 (60%)	72 (40%)	-	-	180	1988
Schweiz	113 (45%)	80 (32%)	57 (23%)	-	250	1987
Västtyskland	698 (32%)	1286 (59%)	196 (9%)	0	2180	1984
Österrike	57 (29%)	67 (34%)	74 (37%)	-	200	1989

 Tabell 24. Slamanvändning i Europa år 1992 i procent av totalt 7 406 400 ton TS för 16 länder enligt ^aLRF⁴⁴ och totalt 6 476 000 ton TS för 12 länder enligt ^bWerther och Ogada⁴².

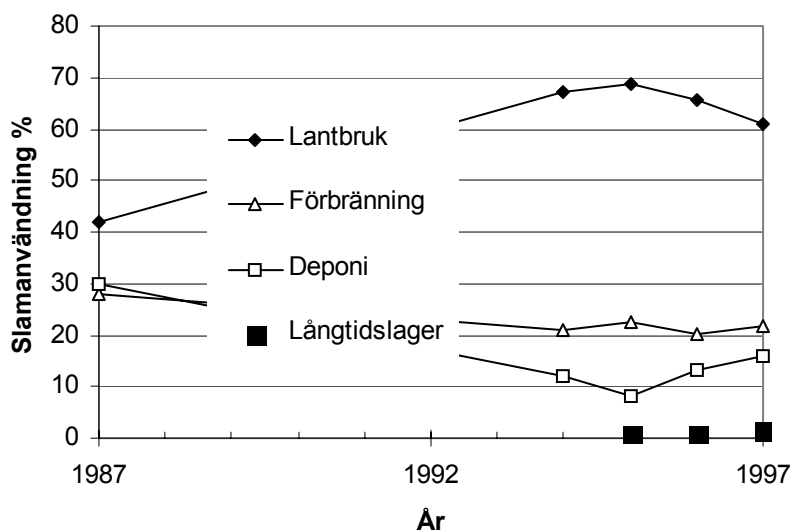
	Jordbruk	Deponi	Förbränning	Hav	Övrigt
Belgien	29 ^{a,b} %	55 ^{a,b} %	15 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %	1 ^{a,b} %
Danmark	54 ^{a,b} %	22 ^a 20 ^b %	24 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %	<1 ^a 2 ^b %
Finland	25 ^a %	75 ^a %	0 ^a %	0 ^a %	0 ^a %
Frankrike	60 ^{a,b} %	20 ^{a,b} %	20 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %
Grekland	10 ^{a,b} %	90 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %
Irland	12 ^{a,b} %	53 ^a 45 ^b %	0 ^{a,b} %	35 ^{a,b} %	0 ^a 8 ^b %
Italien	33 ^{a,b} %	65 ^a 55 ^b %	<1 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %	0 ^a 11 ^b %
Luxemburg	12 ^{a,b} %	88 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %
Nederländerna	26 ^{a,b} %	51 ^a 50 ^b %	3 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %	20 ^{a,b} %
Norge	61 ^a %	27 ^a %	0 ^a %	0 ^a %	6 ^a %
Portugal	11 ^a 30 ^b %	88 ^a 60 ^b %	0 ^{a,b} %	2 ^a 0 ^b %	0 ^a 10 ^b %
Spanien	50 ^{a,b} %	35 ^{a,b} %	5 ^{a,b} %	10 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %
Storbritannien	44 ^{a,b} %	13 ^a 8 ^b %	7 ^{a,b} %	30 ^{a,b} %	6 ^a 11 ^b %
Sverige	23 ^a %	74 ^a %	0 ^a %	0 ^a %	2 ^a %
Tyskland	27 ^{a,b} %	59 ^a 54 ^b %	14 ^{a,b} %	0 ^{a,b} %	0 ^a 5 ^b %
Österrike	18 ^a %	35 ^a %	34 ^a %	0 ^a %	13 ^a %
Totalt	36 ^a 37 ^b %	41 ^a 40 ^b %	11 ^{a,b} %	5 ^a 6 ^b %	6 ^{a,b} %

Utifrån Europeiska Unionens statistik för medlemsländer 1992 visar figur 12 hur slamanvändningen förändrats från 1984 till 1992 samt en prognos för år 2000 och 2005^{42,45}. Havsdumpning av slam har upphört från och med år 1999. Åtgärder har vidtagits för att öka användningen inom jordbruket och minska läggning av slam på deponi. Tyskland, Frankrike och Danmark kommer liksom Sverige endast att tillåta deponering av förbränningsaskor, vilket kommer att leda till att mängden som går till förbränning ökar. Prognosen är starkt beroende av utvecklingen i Tyskland som år 2005 kommer att producera 38 % av slammet.



Figur 12. Förändring av slamanvändning i Europa från år 1984 till 1992 med prognos för år 2000 och 2005 i procent⁴² och miljoner ton TS/år⁴⁵.

Figur 13 visar fördelningen för slamanvändningen i Danmark för åren 1987, 1994, 1995, 1996 och 1997 fördelat på jordbruk, deponi, förbränning och långtidslager⁴¹. Totala slammängden 1997 var 151 717 ton TS. Användning av slam i jordbruket har ökat sedan 1987 med en topp år 1995, för att sedan minska igen. Deponering visar en motsatt utveckling mot jordbruksanvändning och var minst 1995 då 8 % deponerades. Alternativet långtidslager är en mineraliseringsanläggning där slam förvaras i ca 10 år, varvid det organiska innehållet bryts ner och ett oorganiskt mineral erhålls som kan deponeras. Slammet blir vid processen avvattnat, varför slam med en torrsbstanshalt på 1 % kan gå till mineralisering, medan slam som skall deponeras avvattnas till över 15 % TS.



Figur 13. Procentuell fördelning för slamanvändning i Danmark⁴¹.

Bedömning av framtida slamhantering

Förutsättningar

Förutsättningarna för de svenska kommunernas slamhantering har genomgått stora förändringar det senaste åren, och kommer även att förändras framöver. Av de förändringar som redan har slagit igenom eller beslutats, är följande de viktigaste:

- LRF:s rekommendation hösten 1999 till sina medlemmar att inte längre använda kommunalt avloppsslam på åkermark⁴⁶. Det rekommenderade slamstoppet gäller dock inte trekammarbrunnsslam eller kommunalt slam på mark för energigrödor.
- Naturvårdsverkets skärpta gränsvärdena för metalltillförsel via slam, som trädde i kraft den 1 januari år 2000⁷.
- Skatt på deponering av slam och annat avfall från och med den 1 januari år 2000⁴⁷.
- Förbud för deponering av organiskt avfall (inklusive avloppsslam), som träder ikraft den 1 januari år 2005⁴⁸.
- Villkor med krav på avfosforisering av slam ingår i ett antal tillstånd till slamförbränning som meddelats under år 2000 och 2001.

Följande förändringar har föreslagits i olika sammanhang:

- Inom EU-kommissionen påbörjades 1998 arbete med ett nytt EU-direktiv om slam. Ett utkast till direktiv kom hösten 2000⁴⁹, som innehåller krav på någon form av hygienisering av slam för de flesta användningsområden. Krav på hygienisering kommer även från LRF och livsmedelsindustrin, om och när dessa accepterar användning av avloppsslam i jordbruket.
- I utkastet till nytt EU-direktiv om slam finns också krav på certifierad kvalitetssäkring. Livsmedelsindustrierna LI:s slampolicy⁵⁰ fastställd den 10 mars 1998, som dock inte kommit i praktisk användning innehåller krav på produktcertifiering av slam s k ”P-märkning av Biomull”⁵¹.
- Slamöverenskommelsen föreslås kompletteras med ytterligare krav från LRF.
- Gränsvärden för ”alla metaller som används i Sverige” föreslås fr o m 2012 av Kemikalieutredningen⁵³. Miljökommittén (se nedan) vill ha en kravspecifikation med fler metaller än i dag (se nedan). Naturvårdsverket utreder konsekvenserna.
- Ytterligare skärpning av kadmiumkraven föreslås av Kemikalieutredningen.

I Miljökommitténs förslag⁵² till delmål för en god bebyggd miljö finns ett delmål att minst 75 % av fosfor från avlopp och avfall ingår i kretsloppet senast år 2010. Fosfor ska kunna återföras till jordbruksmark eller annan produktiv mark utan risk för hälsa och miljö. De åtgärder som enligt miljökommittén krävs för att målet ska nås är att:

- En ny kravspecifikation kompletterad med fler metaller och vissa organiska miljögifter tas fram i samråd mellan Lantbrukarnas Riksförbund, Svenska Renhållningsverksföreningen och Naturvårdsverket m fl.
- Ny teknik införs för att skapa rena och effektiva fosforkretslopp. Reningsverken kompletteras vid behov med ytterligare ett steg (hydrolys) för att rena slam från tungmetaller och vissa organiska miljögifter varvid en oorganisk fosforrik restprodukt bildas som kan återföras till marken. En annan teknisk lösning som prövats i Danmark är att slammet först förbränns varefter fosfor avskiljs från askan och återvinns. Utvinning av biogas från slam eller avfall är ytterligare ett sätt att göra fosforkrets-

loppet resurseffektivt. Genom att enbart använda avfall från storhushåll och livsmedelsindustrier för biogasproduktion kan föroreningsgraden av rötrester hållas mycket låg och resterna kan spridas direkt till marken. En annan möjlighet är att använda sorterande system för enskilda hushåll och fastigheter. Svartvatten från toaletter och bad-, disk- och tvättvatten kan behandlas var för sig och näringsrika restprodukter kan återföras till marken utan risk för att de förorenas.

- Användningen av kemiska ämnen som riskerar att läcka i samband med produktion och/eller konsumtion och därmed förorenar organiska restprodukter ska begränsas kraftigt.

Miljökommittén ställer även upp en tabell (tabell 25) med prognos för hur många ton fosfor som beräknas återföras från olika avfallsslag de närmaste 5 och 10 åren.

Tabell 25. Antal ton fosfor som beräknas återföras från olika avfallsslag till produktiv mark⁵².

	år 1999	år 2000	år 2005	år 2010	Totalt finns
Från livsmedelsindustri	2 610	2 610	2 650	2 750	2 750
Från komposter	75	100	350	500	1 065
Från rötrester	75	110	220	500	
Från avloppsslam	2 440	100	650	1 600	
Från slamhydrolys	100	100	800	2 000	6 700
Från andra tekniska lösningar	6	6	10	50	
Summa	5 306	3 026	4 680	7 400	9 916
% av potential	54	31	47	75	

Alternativ för slutanvändning och deponering

Alternativ

Användningsområden för det slam som produceras vid avloppsreningsverken kan vara: jordförbättring och jordtillverkning, skogsbruk, förbränning, jordbruk och produktutvinning. Produktion av fordonsdrivmedel från rötgas tas inte upp som användningsområde, eftersom detta inte påverkar användningen av den rötrest som blir över efter rötningen. Även att utnyttja rötgasens energiinnehåll för att täcka reningsverkets behov av värme och/eller el kan betraktas som ett användningsområde, men tas inte heller upp av samma skäl. För att i det enskilda fallet kunna avgöra vilken användning av slam som är den mest fördelaktiga från teknisk, ekonomisk och resurshushållningssynpunkt, måste de olika alternativen utvärderas utifrån gällande lokala förutsättningar.

Jordförbättring, jordtillverkning och täckning av deponier

Slam kan användas som jordförbättringsmedel och som råvara vid tillverkning av anläggningsjord för grönytor. Naturvårdsverkets Allmänna råd 90:13 innehåller riktvärden för avloppsslam till grönytor. Utifrån SCB:s statistik för avloppsslam år 1998 kan andelen slam som uppfyller kraven för grönytor beräknas till mellan 85 och 90 %.

Idag används 10 – 15 % av det svenska slammet på grönytor, men erfarenheterna från bland annat Finland talar för att det bör finnas goda möjligheter att öka denna användning i Sverige. Det finns drygt 400 000 hektar parkmark, golfbanor, vägslänter m m som behöver underhållas⁵³, och här kan slam eller slambaserade produkter användas för att tillföra organiskt mullbildande material och näringsämnen. Slam kan även användas som tätskikt och växtetableringsskikt vid sluttäckning av avfallsdeponier.

För att användningen av avloppsslam på grönytor ska kunna öka, behövs mer samarbete mellan VA-verk och parkförvaltningar samt mellan olika kommuner. Etablerade produkter såsom torv och komposterat park- och trädgårdsavfall samt i viss mån komposterat hushållsavfall, kan dock vara svåra konkurrenter till slam som råvara vid jordtillverkning.

Skogsbruk

Användning av slam i skogsbruketⁱ röner ökat intresse från både skogsvårdsforskare och skogsbolag. Anledningen är att skogsmarken förlorar näringsämnen och baskatjoner (Ca, Mg, K) på grund av försurning och intensivt skogsbruk. Dessa förluster är särskilt stora vid sk helträdsutnyttjande, dvs när såväl stammar som grenar och toppar (GROT, skogsbränslen) samt ibland även stubbar, tas till vara. Förlusterna måste kompenseras om skogsbruket ska vara uthålligt. Skogsstyrelsen rekommenderar att marken alltid kompensationsgödslas efter uttag av skogsbränslen från starkt försurad skogsmark och från torvmarker⁵⁴.

Torkat och pelleterat slam har sådana egenskaper att det kan användas för kvävekompensation och kvävegödsling av fastmark, och för fosforkompensation på torvmark. På torvmark kan tillförsel av pelleterad aska från förbränning av slam, som inte innehåller kväve, vara bättre ur miljösynpunkt än vad torkat slam är. Tillförsel av kväve, t ex via torkat slam, ökar kväveomsättningen i torvmark, vilket i sin tur kan öka läckaget av nitrat från skogsmarken till grund- och ytvatten⁵⁵. Slam har, vilket är till stor fördel, en betydligt högre fosforhalt än vedaska, som Skogsstyrelsen rekommenderar för vitalisering och näringskompensation i skogsbruket. I genomsnitt är fosforhalten i slam tre gånger högre än i vedaska. Den teoretiska fosforhalten i aska från slamförbränning är ca sex gånger högre.

Den totala arealen skogsmark i Sverige, dvs mark som är lämplig för virkesproduktion, är ca 23 miljoner hektar. Hälften av skogsmarken finns i Norrland och resten jämt fördelad på Svealand och Götaland. Skogsbruk bedrivs på huvuddelen av skogsmarken. Arealen utdikad torvmark lämplig för skogsbruk, och där slam skulle kunna användas för fosforkompensation, är något mindre än en miljon hektar (ca 4 % av den produktiva skogsmarken)⁵⁶. Utifrån SCB:s statistik för avloppsslam år 1998 kan andelen slam som uppfyller Skogsstyrelsens riktvärden⁵⁷ för metaller i produkter för vitalisering eller kompensationsgödsling beräknas till knappt 80 %. Som tidigare nämnts, är det endast kopparhalten i ett svenskt ”genomsnittsslam” som överskrider riktvärdet. För slam som förbränns kommer i storleksordningen 35 % av askan att klara riktvärdet.

Konkurrens från redan etablerade produkter, såsom vedaska samt kommersiella handelsgödsel och vitaliseringsmedel, konflikter med bär- och svampplockare, miljöorganisationer och andra kan komma att begränsa en framtida användning av slam i skogsbruket. I ett utkast till nytt slamdirektiv från EU, som Kommissionen arbetar med just nu, föreslås för närvarande att slam ska förbjudas i skogsbruk. Däremot ska det få användas vid ”reforestation”. Både Naturvårdsverket och EURAUX, samarbetsorganet för de europeiska avloppsreningsverken, har, med stöd av forskare vid skogshögskolan i Umeå (SLU), motsatt sig det föreslagna förbudet.

ⁱ Med skogsbruk avses produktion av virkesråvara till pappersmasse- och trävaruindustrin samt träbränslen till fastbränsleeldade energianläggningar.

Förbränning

Slamförbränning förekommer än så länge endast på försök i Sverige, men intresset ökar bland kommunerna. Sju kommunala bolag; SYSAV, Halmstads Renhållningsaktiebolag, Söderenergi, Eskilstuna Miljö & Energi AB, Mora Vatten, Falun och NME (Norrköping Miljö & Energi), har under åren 2000 – 2001 fått tillstånd enligt miljöbalken att förbränna slam. Alla utom ett, NME, har fått någon form av krav på avfosforisering av slammet, dvs fosfor ska utvinnas ur slammet. Det finns också en del kommunala bolag som sedan gammalt har ännu inte utnyttjade tillstånd att bränna slam.

Slam kan brännas torkat eller avvattnat, separat eller tillsammans med bibränslen eller avfall⁵⁸. Avloppsslam har ett energivärde av 20-22 MJ/kg organisk TS (glödgningsförlust), vilket gör det jämförbart med bibränslen. Förbränning av slam är kanske inte det bästa alternativet från resurshushållningssynpunkt, men kan utnyttjas som en metod att omhänderta slam som av olika skäl inte kan användas i jordbruket. Förbränning minskar även slammängden drastiskt, vilket minskar kostnaderna för såväl transporter som deponering. Vidare ger slamförbränning kommunerna en möjlighet att klara förbudet att deponera organiskt avfall fr o m år 2005, eftersom aska inte omfattas av deponiförbudet. Om de metoder som håller på att utvecklas för att rena aska eller utvinna rena fosforprodukter ur aska blir kommersiellt tillgängliga, kan slamförbränning bli acceptabel även från kretsloppssynpunkt.

För att förbränna allt slam i Sverige behövs något mindre än 10 % av nuvarande avfallsförbränningskapacitet tas i anspråk. Renhållningsverksföreningen, RVF, och Naturvårdsverket bedömer att kommunerna inte kommer att hinna bygga ut sin förbränningskapacitet innan deponiförbudet för utsorterat brännbart avfall träder i kraft år 2002. Slam konkurrerar med annat brännbart avfall och andra bränslen, och det finns en risk att många kommunala avfallsbolag kommer att prioritera annat brännbart avfall före slam.

Förbränning är det alternativ som kommer att öka om alla andra vägar stängs. Askan från förbränningen måste deponeras varvid deponiskatt skall betalas. Slammängden har dock reducerats betydligt och den organiska andelen har eliminerats varför askan kan deponeras även efter år 2005. Beroende på hur Naturvårdsverkets föreskrifter och allmänna råd kommer att utformas, kan det också bli förbjudet att deponera torkat slam fr o m. år 2002. Detta beror på att torkningen kan öka slammets värmevärde så mycket att slammet omfattas av definitionen av ”brännbart avfall”. Att enbart torka slammet reducerar slammängden och därmed deponiskatten, men efter år 2005 får torkat slam ej deponeras. Torkning kan dock ses som ett försteg till förbränning, då slammet måste ha en torrhalt på mer än 30 % för att vara brännbart i anläggningar utan rökgaskondensering. Då torkning av slam är energikrävande är förbränning inte ett sätt att utvinna energi ur avloppsslam. De flesta reningsverk (dock inte de allra minsta) avvattnar sitt slam, och ibland även torkar det (Himmerfjärden, flera verk planerar eller är på väg, t ex Skellefteå) av andra skäl, framför allt för att underlätta hanteringen och reducera transportkostnaderna. Förbränning kan då ses som ett sätt att återvinna energi och vägas mot exempelvis deponering. Om förbränningen sker i vattenfas, som i våtoxiderationsprocessen åtgår ingen energi till att förångna vatten, varvid ett positivt energiutbyte erhålls. Vid superkritisk våtoxideration sker oxidation vid en temperatur över 374 °C och ett tryck över 221 bar, där vatten övergår till ett superkritiskt fastillstånd som varken är vätska eller gas⁵⁹.

Jordbruk

De senaste årens utveckling på slamområdet gör att de flesta kommuner har svårt för att få avsättning för sitt avloppsslam inom jordbruket. Användningen av slam i jordbruket kommer troligen inte att nå upp till de prognoser om minst 75 % i kretsloppet mellan land och stad år 2000 (minst 60 % inom jordbruket) respektive 90 % år 2010, som Naturvårdsverket satte upp år 1996⁶⁰. Det är tveksamt om Miljökommitténs förslag till mål för fosforåterföring kommer att uppfyllas. All slamanvändning är opinionskänslig och i synnerhet användningen i jordbruket. Vi får sannolikt räkna med återkommande miljöalarm om nya persistenta ämnen, som används i samhället och därför kan återfinnas i slam. En vidareutveckling av metoder för utvinning av rena gödselprodukter ur slam eller ur aska efter slamförbränning, kan troligen öka möjligheterna att utnyttja näringsämnena i avloppsslam inom jordbruket.

Enligt SCB statistik för år 1998 klarar större delen av det svenska slammet, minst 60 %, de gräns- och riktvärden som finns för halten metaller och organiska indikatorämnen. För att man ska kunna ge en full fosforgiva utan att överskrida de skärpta tillförselgränsvärden (g/ha, år) som började gälla år 2000, behöver halten metaller (generellt sett främst bly, kadmium och koppar) sänkas jämfört med idag. Omkring 30 % av de svenska avloppsslammen hade så låg metallhalt år 1998, att man klarar av att ge en full fosforgiva utan att behöva stöd gödsla med handelsgödsel. Andelen slam som kan användas sjunker dock till knappt 20 % om slamöverenskommelsens rekommendationer om halten organiska indikatorämnen ska uppfyllas.

Möjligheterna, när denna rapport skrivs, att använda slammet som gödselmedel i jordbruket är inte särskilt stora. Ett av samhällets miljömål är dock fortfarande att hushålla med fosfor och andra begränsade resurser och att en stor andel av fosfor i avlopp och avfall därför bör återföras till åkermarken. De olika sätt som står till buds att utnyttja fosfor i avloppsvattnet är i huvudsak att:

- Använda avloppsslam direkt i jordbruket.
- Bevattna åkermark med avloppsvatten.
- Utvinna fosfor ur avloppsvatten, avloppsslam eller aska efter slamförbränning, för att använda den utvunna fosfor i jordbruket.
- Separera urin och fekalier från det övriga avloppsvattnet, antingen som urin och fekalier, svartvatten eller genom användning av torrtoaletter och utnyttja dem som gödselmedel i jordbruket.

De två senare sätten att utnyttja fosfor i avloppet förefaller i dagsläget inte vara lika negativt laddade som användningen av slam direkt i jordbruket.

Slamfraktionering och produktutvinning

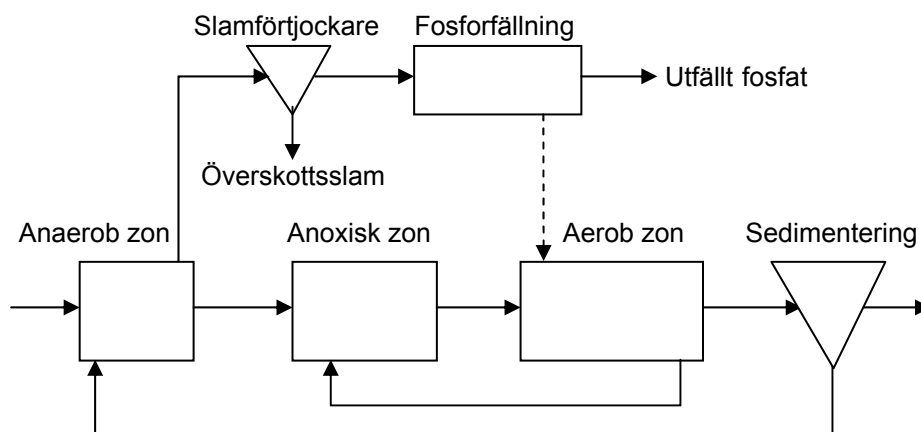
Två system har utvecklats i de nordiska länderna som ger en möjligheter till att utvinna fosforprodukter. Det ena systemet, BioCon⁶¹, utnyttjar torkning och förbränning följt av lakning av bildad aska med hjälp av svavelsyra. Från denna lakningsvätska erhålles olika produkter med hjälp av jonbytesteknik. I det andra systemet Cambi/KREPRO⁶², utnyttjas termisk hydrolysis vid lågt pH-värde och högt tryck och som fosforrik produkt erhålles järnfosfat. Dennes innehåll av metaller och vissa organiska föroreningar redovisas i tabell 26. Det framgår av tabellen att metallföroreningar mätta som mg metall per kg fosfor vanligen är lägre än de för konstgödsel.

Tabell 26. Innehåll av metaller och vissa organiska föroreningar i mg/kg fosfor för järnfosfat och rötslam⁶³.

	Järnfosfat, KREPRO	Rötslam
Koppar, Cu	100	20 000
Kadmium, Cd	3	80
Kvicksilver, Hg	1	50
Krom, Cr	220	1500
Zink, Zn	1000	23000
Nickel, Ni	300	1200
Bly, Pb	180	2000
PCB(52)	24×10^{-3}	2,8
PCB(101)	$<15 \times 10^{-3}$	0,4
Nonylfenol	12	1770
Toluen	<5	28

En nackdel med systemen BioCon och Cambi/KREPRO är att de erfordrar höga kemikaliedoseringar för produktutvinningen om kemisk fällning med järnsalter utnyttjas för att avlägsna fosfor i avloppsverket. Vid användning av biologisk fosforreduktion kan denna mängd betydligt minska. Teknik finns för att utnyttja biologisk fosforreduktion följt av fosforutlösning i röt-kammaren så att ett fosforrikt rejektivatten erhålles vid avvattningen av rötslammet. Från det fosforrika rejektivattnet kan utvinnas kalciumfosfater eller magnesiumammoniumfosfat med hjälp av kemisk fällning eller kristallisation. Denna teknik har emellertid två svagheter, dels kan magnesiumammoniumfosfat fällas ut redan före själva utvinningssteget, dels kan frigjort fosfat åter bindas till slammet genom återfällning (t ex av aluminium- eller järnjoner) eller adsorption (t ex på zeoliter). Därmed kan utbytet vid fosforåtervinningen bli lågt (under ca 50%).

En modifiering av tekniken med utvinning av fosforprodukter ur slam och med användning av biologisk fosforreduktion visas i figur 14 med utgångspunkt från systemförslag av Klapwijk m fl⁶⁴. Vid systemet tas överskottsslam ut från en syre- och nitratfri zon i aktivslamprocessen. I denna zon är fosfathalten hög. Fosforrik vätskefas avskiljs från slammet med hjälp av en sedimenteringsbassäng och till den fosforrika strömmen tillsätts kalk så att kalciumfosfater bildas genom kemisk fällning eller kristallisation. Kalciumfosfat kan sedan utnyttjas som råvara t ex till fosfatindustrin.



Figur 14. Exempel på systemteknik för utvinning av kalciumfosfat⁶⁴.

Systemtekniken minskar problem med utfällning av magnesiumammoniumfosfat eftersom ammoniumhalten är relativt låg. En betydande del av ämnen som adsorberar fosfat avskiljs vid försedimenteringen och tillförs röt-kammaren och kommer därför inte påverka fosfatfrigöringen från det aktiva slammet. Utfälld kalciumfosfat bör ha en relativt låg halt av föroreningar eftersom dessa i huvudsak är bundna till slammet. Systemet enligt figur 14 kan därför ses som en möjlighet att med mindre investeringar och förändrat driftsätt åstadkomma både avskiljning av fosfor och återvinning av fosfor.

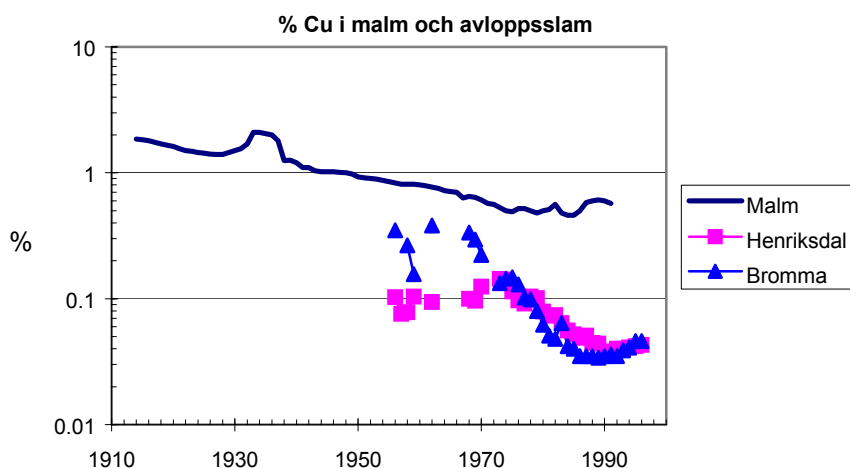
Metallutvinning

Frågan kan ställas om avloppsslam innehåller sådana mängder metall att slam kan användas som råvara för metallutvinning. Tabell 27 visar minimum metallhalt i brytvärd malm⁶⁵ jämfört med avloppsslam samt kvoten malm/slam. Kvoten är minst för de ädla metallerna silver och koppar och störst för krom.

Tabell 27. Minimum metallhalt för silver, Ag, koppar, Cu, zink, Zn, nickel, Ni, bly, Pb, kvicksilver, Hg och krom, Cr, i brytvärd malm jämfört med slam samt kvoten malm/slam.

	Ag	Cu	Zn	Ni	Pb	Hg	Cr
Brytvärd malm ⁶⁵ , mg/kg	100	5 000	25 000	10 000	20 000	2 000	150 000
Slam ⁶⁶ mg/kg TS	19	390	590	25	50	2,2	32
Kvoten malm/slam	5,3	12,8	42	400	400	909	4688

Minimihalten för vad som betraktas som brytvärd malm minskar dock med tiden då nya malmer med lägre halter måste utnyttjas när gamla gruvor med högre halter har blivit brutna. Figur 15 visar förändring av minimihalt koppar i procent för brytvärd malm från 1914 till 1991. Som jämförelse finns i diagrammet även kopparhalter i avloppsslam från Henriksdals och Bromma reningsverk i Stockholm från 1956 till 1996⁶⁷. Av diagrammet framgår att halterna sjunker både i malm och slam varför det inte är troligt att halterna i slam kommer att bli högre än i brytvärd malm. Den aska som erhålls vid förbränning av avloppsslam innehåller ca 2,5 gånger högre kopparhalt än slammet (40 % oorganisk fraktion). Vid försök med samförbränning med hushållsavfall⁶⁸ har 11,5 gånger högre kopparhalt uppmätts i slaggen än i slammet. Guldhalt i svenskt slam är ca 1 mg per kg TS⁶⁹. Om slammet förbränns kommer guldhalt i askan att bli 2,5 g/ton, vilket är av samma storleksordning som svensk sekundär sulfidmalm som används för guldframställning, vilken har en guldhalt på 2 – 3 g per ton.



Figur 15. Jämförelse av minimihalt koppar i procent för brytvärd malm⁴⁶ och kopparhalt i avloppsslam från Henriksdals och Bromma reningsverk i Stockholm⁶⁷.

Föroreningar i slam

Risk och gränsvärden

Föroreningshalterna i slam har sjunkit med åren, men de sänkta halterna har inte medfört att acceptansen för användning av slam i jordbruket ökat. Enligt miljökommittén⁵² visar Naturvårdsverkets utvärderingar att kvaliteten på slam från reningsverk har förbättrats och att flertalet kommunala reningsverk klarar lagstadgade gränsvärden och de krav som LRF, VAV och Naturvårdsverket gemensamt har satt upp i slamöverenskommelsen. Med befintlig kravspecifikation bör det vara rimligt att anta att så gott som allt slam har en sådan kvalitet att det kan användas inom jordbruket inom några år. Nya rön har dock visat att det kan finnas andra skadliga metaller än de som nu mäts samt organiska miljögifter i slammet varför kravspecifikationen kanske kommer att utvidgas. Naturvårdsverket nämner silver i sitt remissvar till Kemikalieutredningens betänkande⁷⁰.

De föroreningar som finns i slammet medför att det är svårt att få allmän acceptans. Detta kan bero på att även gränsvärden för föroreningar i slam har sänkts successivt. Allmänheten har svårt att bedöma huruvida en viss föroreningshalt i sig är farlig. Acceptansen kan bero på att riskerna bedöms efter hur stora föroreningshalterna är jämfört med de av myndigheterna fastställda gränsvärdena. Om föroreningshalterna kan sänkas utan att gränsvärdena sänks, kan måhända acceptansen öka. Gränsvärdena sätts utifrån en bedömning av riskerna och med hänsyn till vad avloppsverken klarar av utan alltför stora kostnader. Om avloppsverken skulle klara av att sänka halterna i slam finns därmed en möjlighet att sänka gränsvärdena. Dock är föroreningshalterna ett resultat av gränsvärdena. En sänkning av gränsvärdena är för myndigheterna ett sätt att erhålla lägre föroreningshalter och därmed värna om miljön och människors hälsa. Avloppsverken strävar efter att genom källkontroll och andra åtgärder erhålla föroreningshalter som ligger under de givna gränsvärdena. Ett sätt att lösa detta dilemma kan vara att införa speciella riskvärden som sätts utifrån en bedömning av de olika föroreningarnas faktiska risker. Att sätta ett gränsvärde som ligger långt under riskvärdet kan vara ett sätt att underlätta att få acceptans för användning av avloppsslam.

Det är trots allt mycket svårt att fastställa vilka nivåer som medför risker. Riskerna beror på dos, d v s hur och var slammet används (slamgiva, typ av mark, tid för slamtillförsel, föroreningar i mark etc). Nuvarande haltgränsvärden är pragmatiskt satta och syftar till att dels ”grovsortera” bort de sämsta slammen.

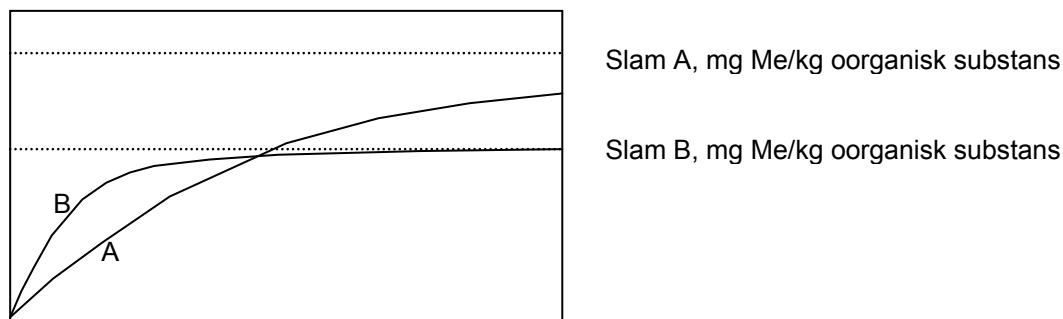
För att förhindra en alltför stor ökning av halterna av metall i marken genom tillförsel av metall med avloppsslam finns gränsvärden för metallhalt i slam (se tabell 1). Gränsvärdena är dels för metallhalt i slam (mg/kg torrsubstans), dels för tillförsel av metall till mark som gödslas med avloppsslam (mg/ha, år). En bedömning av risken för att mikroorganismer i åkermarken ska skadas eller hämmas, ligger bakom gränsvärdena för bly, koppar, krom, nickel och zink. Uptag i grödor, och därmed risker för människors hälsa, ligger bakom bedömningen av gränsvärdet för kadmium. Gränsvärdet för kvicksilver är satt utifrån risken för läckage till yt- och grundvatten och därmed risken för sekundär påverkan på fisk. En alltför snabb ökning av metallhalten i åkermarken kan på sikt ge negativa effekter på markorganismerna.

Gödning med avloppsslam ger i princip samma typ av miljöpåverkan som andra gödselmedel, d v s näringsläckage till luft och vatten, ackumulering av metaller i marken, markpackning samt spridning av smittämnen, hormoner och svårnedbrytbara organiska ämnen (det senare gäller dock inte handelsgödsel). En skillnad är att slam innehåller mer metaller än stallgödsel och den handelsgödsel som används i Sverige³⁹. En annan skillnad, som brukar framhållas av LRF, är att en större andel av metallerna i slam än i stallgödsel

kommer från andra källor än jordbruket (gäller troligen de flesta metaller, utom zink). Såväl kortsiktiga som långsiktiga miljö- och hälsoeffekter vid slamgödning har utretts grundligt. SLU⁷¹, Institutet för Miljömedicin (IMM)^{72,73}, Livsmedelsverket⁷⁴, Naturvårdsverket⁷⁵, Arla⁷⁶, Jordbrukstekniska institutet⁷⁷ m fl har visat att rätt utförd slamgödning inte orsakar kända negativa effekter på livsmedlens kvalitet eller på människors eller djurs hälsa. Ökat upptag av hälsofarliga ämnen i odlade grödor som följd av slamgödning har inte kunnat påvisas.

Maximal ackumulering av metaller i mark

Den maximala ökningen av metallhalten i mark som gödglas med slam beror dels på mängden tillförd metall med slammet, men även på mängden tillförd oorganisk substans med slammet. När slammet blandas ned i jorden, bryts den organiska andelen av slammet ner och den oorganiska delen blandas ut i jorden. I väl luftad jord bryts organiskt material ned genom bakterier, svampar och maskar, medan vattenmättad mark där nedbrytningen är ofullständig kan med tiden ansamlingen av icke nedbrutet organiskt material bilda torvmossar. Så länge den oorganiska fraktionen har en högre metallhalt än de omgivande jordpartiklarna kommer metall att vandra över till den omgivande jorden. Den maximala metallhalt som slamgödning kan leda till är därmed lika med metallhalten i slam som mg/kg oorganisk substans (glödningsrest). Situationen illustreras av figur 16 som visar ökning av metallhalt i mark vid gödning med två olika slam. Slam A har lägre metallhalt per kg torrsbstans än slam B, men slam B har en större andel oorganisk substans och därmed lägre halt per kg oorganisk substans. Vid kortvarig användning är slam A bäst medan slam B är bäst vid kontinuerlig användning. Tabell 28 visar metallhalt i mark i Danmark⁷⁸ jämfört med metallhalt i slam omräknat på oorganisk fraktion (40 %) och därmed maximal metallhalt.



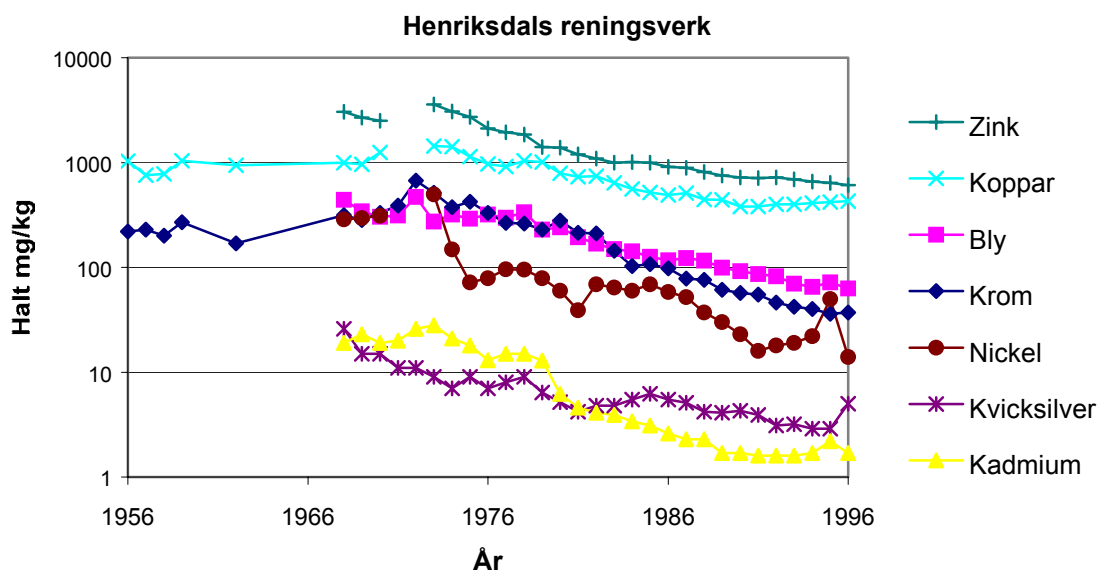
Figur 16. Ökning av metallhalt i mark vid gödning med två olika slam. Slam A har lägre metallhalt per kg torrsbstans än slam B. Slam B har dock en större andel oorganisk substans och lägre metallhalt per kg oorganisk substans, varför den maximala metallhalten vid kontinuerlig gödning blir lägre vid användning av slam B.

Tabell 28. Metallhalt (mg/kg) i mark i Danmark⁷⁸ jämfört med metallhalt i slam omräknat på oorganisk fraktion (40 %) samt ökning vid kontinuerlig gödning.

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Medelvärde för jord i Danmark	0,18	12,3	7,7	0,06	6,3	12,2	19,5
Slam, VAVs enkät, tabell 6	1,42	28,2	323	1,27	15,8	32,3	460
Oorganisk fraktion (40%) av slam	3,55	71	808	3,18	40	81	1150
Ökning vid kontinuerlig gödning	20 ggr	6 ggr	105 ggr	53 ggr	6 ggr	7 ggr	59 ggr

Ytterligare möjlig metallhaltsreduktion.

Acceptansen för användning av slam i jordbruket bör kunna ökas om föroreningshalterna sänks ytterligare så att de kommer i nivå med föroreningshalterna i naturligt gödsel. Detta kräver att halterna sänks med en tiopotens (se figur 9). Trots de resultat som erhållits genom källkontroll och andra åtgärder är metallhalterna i slam fortfarande högre än i t ex stallgödsel. Att metallhalterna har sjunkit framgår av kapitlet ”Trender för slamkvalité 1969 – 1998” och figur 17 som visar hur metallhalterna i Henriksdals reningsverk i Stockholm⁶⁷ har sjunkit mellan åren 1956 till 1996. De flesta metallhalterna förutom för koppar, har sjunkit med en tiopotens på 25 år. Då trenden är nedåtgående kan man därför anta att ytterligare sänkning av metallhalterna är möjlig. I det första skedet erhöles minskade metallhalter genom att enstaka större utsläpp av metall till ledningsnätet åtgärdades. För att erhålla ytterligare reduktion måste många mindre utsläpp åtgärdas. Genom att bygga separata system för dagvatten kan dagvattnets bidrag av tungmetaller elimineras. Dock torde kostnaderna för att eliminera tungmetaller öka, ju lägre halter som ska erhållas. För att kopparhalten ska kunna sänkas ytterligare, måste de kommuner som har kopparkorrosivt dricksvatten antingen åtgärda vattenkvaliteten eller byta ut kopparledningarna i fastigheter mot ledningar i något annat material.

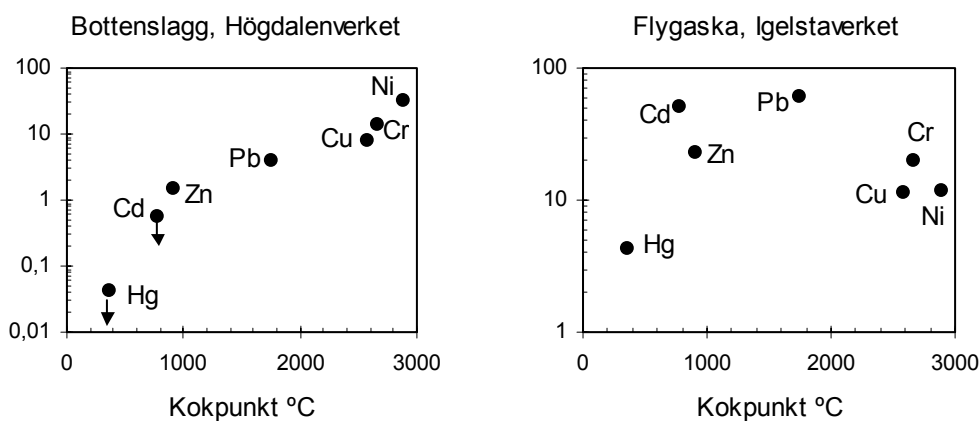


Figur 17. Metallhalter i slam från Henriksdals reningsverk i Stockholm⁶⁷ år 1956 till 1996.

Ett alternativ för att sänka metallhalterna i slam är att rena avloppsvattnet eller slammet från tungmetaller. Avloppsslam kan renas från tungmetaller genom syralakning⁷⁹. Den procentuella sänkningen av metallhalten som kan erhållas (lakning vid pH 2) är för aluminium, 30 %, bly 27 %, kadmium 75 %, koppar 82 %, krom 31 %, nickel 79 % och zink 85 %⁸⁰. Då syra även lakar ut fosfor, kan syralakning dock medföra att även näringsinnehållet i slammet reduceras. Avloppsvatten kan renas från tungmetaller genom att avloppsvattnet passerar ett anaerobt steg. Vid anaerob nedbrytning av det organiska materialet i avloppsvattnet bildas svavelväte och tungmetallerna fälls ut som metallsulfider. Problemet med ett anaerobt steg är att svavelvätet kan ge upphov till korrosion av material samt hälso- och säkerhetsproblem i reningsverket. Dagvatten som har en lägre halt organisk material kan renas från tungmetaller genom jonbytare. En magnetisk jonbytarmassa, som kan separeras från slammet med hjälp av en magnetisk trumma, kan användas för att rena avloppsslam⁸¹.

ostnaderna för rening av slam eller avloppsvatten skall därvid vägas mot andra kostnader för att minska metallutsläpp till avloppsvattnet.

Aska kan renas från metaller termiskt genom upphettning till 800 – 1000 °C vid syreunderskott, varvid kadmium, kvicksilver och andra flyktiga metaller förångas. Försök med upphettning av aska i laboratorieskala har gett goda resultat med mellan 75 och mer än 95 procents rening av vedaska med avseende på kadmium utan att askan förglasas. Denna rening kan även erhållas i en förbränningsprocess där lättflyktiga metaller förångas och övergår till flygaskan och en bottenaska erhålls som är fri från dessa metaller. Figur 18 visar i 2 diagram med kvoten metallhalt före/efter förbränning mot metallens smälttemperatur för Högdalen- och Igelstaverket⁶⁸. Att kvoten i Högdalenverket ökar med ökad smältpunkt beror på att metaller med låg smältpunkt förångas vid förbränningen och skiljs ut på flygaskan när rökgaserna kyls ner varvid andelen metall som övergår till flygaskan ökar med minskande smältpunkt. I Igelstaverket där förbränningen sker i fluidiserad bädd bildas mer flygaska än bottenaskan, varvid alla metaller återfinns i askan oavsett smältpunkt.



Figur 18. Kvot metallhalt före och efter förbränning mot metallens koktemperatur⁶⁸; Bly (Pb) 1743 °C, kadmium (Cd) 767 °C, krom (Cr) 2663 °C, koppar (Cu) 2573 °C, kvicksilver (Hg) 357 °C, nickel (Ni) 2887 °C och zink (Zn) 911 °C.

Prognos för framtiden

Prognoser för den framtida slamhanteringen är svåra att göra. Det kommer inte att finnas en lösning som passar i alla kommuner. Enskilda avloppsreningsverks möjligheter att använda sitt slam till olika ändamål bestäms främst av lokala och regionala, men också nationella, faktorer. Bland de lokala och regionala faktorerna kan följande nämnas:

- Den lokala och regionala marknadens inställning till slam, och därmed efterfrågan på slam som råvara, gödsel, bränsle m m.
- Konkurrens från andra, ofta redan etablerade produkter.
- Transportavstånd till jordtillverkare, åker, skogsmark, förbränningsanläggningar etc.
- Samarbetsklimatet inom kommunen och mellan andra kommuner.
- Slammets kvalitet.
- Möjligheterna för kommunen och samhället i övrigt att minska tillförseln av oönskade ämnen till reningsverket.
- Slambehandlingsteknik.
- Kommunens ekonomiska resurser.

Slamanvändningen är opinionsstyrd och de olika användningsmöjligheterna är mer eller mindre opinionskänsliga. En kommun kan därför inte förlita sig på bara ett enda användningsområde för slammet. En stor del av marknadsföringen av slammet bör styras över från jordbruket till andra potentiella kunder som t ex: parkförvaltningar, avfalls- och energibolag, skogsägare, golfklubbar, jordtillverkare m fl.

Enligt EU:s prognoser (se figur 12) kommer användning av avloppsslam i jordbruket att öka. Om så blir fallet beror främst på om slamanvändning i jordbruket får en sådan acceptans hos livsmedelsindustrin, lantbrukets organisationer och den allmänna opinionen att jordbrukarna vågar använda avloppsslam. Kostnaden för gödsel är enbart en mindre del av kostnaderna för att odla livsmedel. Jordbrukaren kan därför välja ett annat gödselalternativ om han befärdar att han inte kan få sina produkter sålda. Att använda slammet som jordförbättringsmedel eller råvara till anläggningsjord för grönområden som inte används till livsmedelsproduktion är lättare att erhålla acceptans för.

Sammanfattande diskussion

Källor till metaller och persistenta ämnen

Användningen av metaller och persistenta ämnen i samhället avspeglas i betydande omfattning i slammets sammansättning. Det finns dock inget proportionellt samband mellan ackumulerad mängd av metaller i ett urbant område och halten i slam. Koppar i elkablar ger t ex ett försumbart tillskott jämfört med koppar i vattenledningar och i tak. Typ av avloppssystem - kombinerat eller separerat - har också en betydande effekt på slammets metallinnehåll.

I vissa fall har minskad användning av en metall fått en betydande effekt på slammets halt av metallen. Minskad mängd bly i försåld bensin har gett en motsvarande minskning av slammets blyhalt. Förbud mot användning av kadmium för ytbehandling, stabilisator och färgämne har gett en kraftig minskning av slammets kadmiumhalt.

Olika metaller har vitt skilda användningsområden och skillnader i andelen från olika källor (fordon, näringsliv, hushåll, byggnader och infrastruktur) varierar därför betydligt mellan olika metaller. Vid jämförelse av slam från olika avloppsverk är korrelationen mellan halten av en metall (t ex koppar) med en annan metall (t ex nickel) låg, ca 0,1 - 0,3. Halten av en metall är något mer korrelerad till zinkhalten men med en korrelationskoefficient under 0,6. En hög halt av en metall medför därför inte att metallhalten av andra metaller behöver vara hög.

Halter av metaller och persistenta ämnen i slam

Statens Lantbrukskemiska Laboratorium (SLL) publicerade år 1985 en sammanställning av slamanalyser för åren 1969 - 1981 från 30 - 96 kommunala avloppsverk med större anslutning än 5 000 personekvivalenter (pe). Statistiska centralbyrån (SCB) och Naturvårdsverket har gemensamt gett ut slamstatistik för åren 1987, 1990, 1992, 1995 och 1998 omfattande alla verk över 2,000 pe, dvs tillståndspliktiga avloppsanläggningar. Till en början redovisades metaller och näringsämnen men sedan 1995 omfattar statistiken även organiska ämnen. Med hjälp av statistik från SLL, SCB och Naturvårdsverket kan trender i slamkvalitet beskrivas för perioden 1969 - 1998.

Metallhalten i slam (mg metall/kg torrsubstans) för de metaller som regleras i lagstiftningen har minskat mellan år 1969 och år 1998 med 59 - 92 %, varav de flesta mellan 80 % och 92%. För perioden 1987 - 1998 är minskningen mellan 16 och 51%. Halten nonylfenol och toluen i slammet minskade med 69 % respektive 82% mellan åren 1993 och 1998.

En separat bearbetning har genomförts av statistik insamlad av Svenska vatten- och avloppsföreningen (VAV) för åren 1995, 1996 och 1997. Svarsfrekvensen var 1995 176 svar från 171 kommuner, 1996 227 svar från 216 kommuner och 1997 192 svar från 171 kommuner. Totalt finns 289 kommuner i Sverige och en kommun kan ge flera svar om redovisning har skett för flera avloppsverk.

En jämförelse av metallhalter i slam enligt statistik från SCB och Naturvårdsverket och från VAVs enkät från 1997 visade på en god överensstämmelse. Slammets kadmiumhalt var dock något högre i VAVs enkät. Metallhalten i danska slam 1997 var ungefär densamma som i svenska slam, varvid dock halterna av kadmium, bly och zink var högre och koppar lägre i de danska slammen.

Den starkt minskade tungmetallhalten i slam mellan 1969 och 1998 gör det intressant att bedöma om denna trend kan fortsätta. En annan bedömning skulle kunna utgå från skillnader i metallhalter i slam från olika kommuner. En bearbetning av värdena visade att de approximativt kan beskrivas som logaritmiskt normalfördelade och att spridningen för mätvärden mätt t ex som 50 percentil (medianvärde)/20 percentil var approximativt konstant för alla metaller. Kvoten 50 percentil/ 20 percentil uppgick till ca 1,4. Om en kommun med en genomsnittlig halt av en metall genom olika förbättringar kommer ned till en halt svarande mot den som underskreds av 20 % av kommunerna har metallhalten minskat med 40 %.

Ett visst utrymme torde därför finnas att minska ett slams halt av tungmetaller. Olika konstruktionsmaterial som frigör metaller till avloppsvattnet medför svårigheter att på kortare sikt minska slammets metallhalt. En jämförelse mellan kommuner med hög metallhalt i slammet med kommuner med låg metallhalt i slammet skulle kunna ge bättre kunskaper om källor för metallerna och lämpliga åtgärder för att minska slammets metallhalt.

Olika strategier för slamhantering

Strategier för framtida slamhantering är för närvarande mycket omdiskuterade och en betydande skillnad föreligger i åsikter. En sådan grund för åsiktsskillnader ligger i sättet att bedöma gräns- och riktvärden för slammet. Medan rikt- och gränsvärden för halten föroreningar i slam i Sverige mer synes ha grundats på vad som tekniskt är möjligt att nå ligger föreslagna gränsvärden av EU betydligt högre, t ex för kadmium och kvicksilver ca 4-5 ggr högre. En tendens är dock att minska tillåtna gräns- och riktvärden och att utöka antalet ämnen som skall analyseras i slam. Till de svårigheter som finns att erhålla en rimlig enighet i val av gräns- och riktvärden kommer det ännu svårare problemet att bedöma acceptans för olika slam användningar hos allmänhet, livsmedelsindustri och intresseorganisationer.

Svårigheter att finna enighet i gräns- och riktvärden och att få acceptans leder till olika ställningstaganden. En inriktning bl a företrädd av VAV är att se acceptansen för jordbruksanvändning mer som ett informationsproblem och där riskerna med slam användning är försumbara. Jordbruksanvändning ses av VAV som en fördelaktig slam användningsmetod och som även tillgodoser ett kretslopp av nyttiga ämnen i slammet.

LRF, livsmedelsindustrin och vissa intresseorganisationer ser risker med slam och ofta betonar att risker finns med ämnen som för närvarande inte mäts. När en debatt dyker upp om risker med ett speciellt ämne i slam ses detta även som ett riskmoment som kan minska allmänhetens förtroende för livsmedlens kvalitet. För närvarande bojkottas slam användning till jordbruk av LRF och livsmedelsindustrin.

Två vägar har alltmer fått intresse för att kretsloppsanpassa avloppshanteringen. I båda fallen är utgångspunkten att slam innehåller både nyttiga och skadliga ämnen. En väg att tillgodose kretslopp är att sortera olika strömmar redan före tillförsel till avloppsledningsnätet. Ett exempel är användning av urinseparerande toaletter. Om urinet hanteras separat och till jordbruk kan närsalterna direkt användas och inget slam erhålles på grund av fosforinnehållet. Kvarvarande toalettavfall kan också användas t ex efter kompostering. Ett annat exempel är användning av relativt rena material som matavfall från restauranger. Detta kan t ex efter rötning för energiutvinning användas i jordbruk. Genom att separat hantera dagvatten kan slammets innehåll av skadliga ämnen minskas.

Den andra vägen betraktar slammet som en råvara från vilken olika produkter (inkl fosforföreningar) kan utvinnas och skadliga ämnen avskiljas till en liten delfraktion som sedan kan behandlas för återvinning (t ex koppar och zink) eller deponeras under

välkontrollerade betingelser. Avloppsreningsverket får därmed funktionerna (a) rening av avloppsvatten (inkl eventuell utvinning av värmets i avloppsvattnet), (b) utvinning av resurser ur slammet och (c) en "njurfunktion" där skadliga ämnen tas om hand på ett kontrollerat sätt.

De vägar som slam från avloppsverk kan hanteras på är främst:

- Användning inom jordbruk
- Användning inom skogsbruk
- Användning till grönområden m m
- Användning för framställning av anläggningsjord
- Användning som täckmaterial på avfallsdeponier
- Deponering på tipp
- Förbränning
- Produktutvinning

Trender för dessa olika möjligheter skall kortfattat diskuteras och sammanfattas.

Användning inom jordbruket

Två faktorer begränsar möjligheterna att utnyttja slam till jordbruksmark. Den ena faktorn är slammets kvalitet i jämförelse med gällande lagstiftning och den andra acceptans för slammet om det klarar kvalitetskrav.

För slammet gäller gräns- och riktvärden angivna som mg metall (eller organiskt ämne) per kg torrsubstans. För en enskild metall är uppmätta värden bara högre än gränsvärdena för 1 - 10 % beroende på metall. Kadmium och koppar var de metaller som främst översteg gränsvärden och i ca 9 % av fallen. Uppmätt halt nonylfenol översteg riktvärden i ca 10 av slamproven. Medianvärdet dividerat med gränsvärdet för en enskild metall uppgick i genomsnitt till 0,37. Med tanke på att Sverige har mycket stränga gräns- och riktvärden för föroreningar i slam kan dessa värden anses vara goda.

En komplicerande faktor för användning av slam i jordbruk är den låga korrelationen mellan halter av olika metaller och föroreningar. Detta innebär att det är relativt vanligt att någon komponent i slammet överskrider ett gräns- eller riktvärde. Data från VAVs enkät visade att av 187 analyserade slam 1997 hade 91 slam (49 %) 1 eller 2 analyser av 11 föroreningar som var högre än något av gränsvärdena. Inga slam hade mer än 3 analyser över gränsvärdena. Ju fler ämnen som ingår i kontrollen desto större sannolikhet är det att något ämne överskrider ett gräns- eller riktvärde. Om ämnet toluen tas bort från föroreningarna överstiger 35 % av slammen något av de 10 andra gränsvärdena. Enbart 23 % av rapporterade slam överstiger gränsvärdena för metaller. Andra ämnen än de som för närvarande ingår vid kontrollen av slamkvalitet kan i framtiden tillkomma som silver, bromerade flamskyddsmedel, ftalater etc. En successiv skärpning har skett av slammets kvalitet och denna tendens kan fortsätta.

Mängden slam som kan tillföras till åkermark begränsas även av högsta mängd fosfor och metall som får tillföras räknat som kg P/ha, år och g Me/ha, år. Högsta mängd fosfor som får tillföras är per år 35 kg/ha och 22 kg/ha för jordar med en fosforhalt i marken under respektive över 4 mg/100 g torr jord. Högsta tillförsel av metaller har minskats betydligt för år 2000 jämfört med tidigare gränsvärden från 1995. För en normal giva på ca 20 kg/ha, år kommer enligt VAVs statistik ca 80 % av slammen ha en alltför hög metallhalt jämfört med gränsvärdet av någon metall. Kombinerade krav på högsta metallhalt i slam (som mg metall/kg torrsubstans) och högsta tillåten tillförd mängd (som g Me/ha, år) kan leda till att slamgivorna betydligt måste minskas och detta ökar betydligt kostnaderna för jordbruks-

användningen. Förslag finns från EU att även sätta gränsvärden på högsta halt av fosfor räknat som mg metall/kg fosfor.

Flera faktorer beträffande slamkvalitet kan således komma att försvåra framtida jordbruksanvändning inkluderande högsta halt metaller och organiska föroreningar och möjligheter att flera ämnen kan komma att ingå vid bedömningen av kvaliteten och därmed ökad risk att krav inte uppnås och ökade kontrollkostnader. Därtill kan slamgivornas storlek komma att begränsas av slammets metallinnehåll.

Mer svårbedömt är om slam som uppfyller myndighetskrav i framtiden kommer att accepteras av allmänhet, LRF och livsmedelsindustri. Det faktum att slambojkott både skett för ca 10 år sedan och råder för närvarande samt att Kemikalieinspektionens generaldirektör uttalat sig skeptisk till att slam skall spridas på jordbruk gör framtida användning i större omfattning av slam i jordbruk osäker.

Användning inom skogsbruk

Användning av slam i skogsbruket kan vara ett sätt att ersätta skogsmarken med de näringsämnen och baskatjoner (kalcium, Ca, magnesium, Mg och kalium, K) som har förlorats genom försurning och intensivt skogsbruk. Dessa förluster är särskilt stora vid sk helträdsutnyttjande när såväl stammar, grenar och toppar, ibland även stubbar, tas till vara. Förlusterna måste kompenseras om skogsbruket skall vara uthålligt.

Användning av slam på skogsmark förekommer inte i Sverige förutom i samband med försöksverksamhet. Även internationellt är erfarenheterna av slamspridning i skogsmark begränsade. Det ämne som främst begränsar användning av slam i skogsbruk är koppar. Ca 80 % av slammen bedöms kvalitetsmässigt kunna klara riktvärden för användning i skogsmark och ca 35 % av slammen om de förbränns och sedan tillförs som aska. Acceptans för användning av slam i skogen är svårbedömd med potentiella konflikter med bär- och svamplockare, miljöorganisationer etc.

Användning på grönytor och jordtillverkning

För närvarande används ca 10 - 15 % av det svenska slammets på grönytor. Erfarenheter från Finland tyder på att denna verksamhet kan ökas. Det finns drygt 400 000 hektar parkmark, golfbanor, vägslänter etc som behöver underhållas och här kan slam komma till användning. Utifrån SCBs statistik för avloppsslam för 1998 kan andelen slam som uppfyller kraven beräknas till mellan 85 och 90 %.

Slam kan före användning på grönytor blandas med t ex sand, matjord eller aska så att en produkt skapas som inte upplevs som ett slam, utan ses som en lätthanterlig jordprodukt med ett för ändamålet anpassat näringsinnehåll. Olika ämnen, t ex kalium, kan tillsättas för att förbättra slutproduktens kvalitet.

Deponering på tipp

Ett förbud kommer att gälla för deponering av organiskt material, t ex slam, på deponier efter år 2005. En deponiskatt på 250 kr/ton slam har införts från och med år 2000. Inom EU kommer alltmer deponering av slam att begränsas. Tills vidare bör tillförsel av slam på deponier endast ses som en övergångslösning innan andra metoder tagits fram.

Förbränning

Förbränning av slam innebär vanligen att slammet först torkas. I Sverige finns ingen anläggning för förbränning enbart av slam. Fullskaleförsök i Sverige har visat att slam kan samförbrännas med fast avfall eller biobränslen. Förbud mot deponering har ökat förbränningen och det finns vanligen ingen överkapacitet hos förbränningsanläggningarna att ta hand om slam. Utländska erfarenheter finns om samförbränning av slam med kol/brunkol eller vid cementframställning. Speciella termiska behandlingar som pyrolys, våtoxideration och suprakritisk oxideration har nyligen fått ett ökat intresse.

Flera faktorer påverkar den framtida användningen av slamförbränning. En ökad kostnad kan erhållas på grund av möjligheter att en skatt införs på förbränning av slam i likhet med Danmark och Norge. Förbränning har svårt att vinna acceptans och det kan finnas svårigheter att erhålla tillstånd för slamförbränning. Det nyligen uppställda nationella målet att återvinna fosfor med 75 % har påverkat villkor för slamförbränning. Sju kommunala bolag har fått tillstånd enligt miljöbalken att förbränna slam, men alla utom ett med förbehållet att slammet först skall vara "avfosforiserat", dvs fosfor skall utvinnas ur slammet före förbränningen. Flera kommuner har planer på att bränna slam, bl a Falun (där fosfor planeras utvinnas ur askan enligt BioCons teknik), Eskilstuna och Linköping. Två system har framtagits i Japan för att utvinna fosfor ur aska, antingen genom återförbränning av aska med kalcium- och magnesiumföreningar eller med behandling av askan vid hög temperatur (1300 – 1500 °C) varvid fosfor förgasas och kan senare överföras till fosforsyra. Förbränningsteknik kombinerad med fosforåtervinning synes för närvarande främst vara av intresse för stora anläggningar.

Produktutvinning genom slamfraktionering

Det slam som erhålles i ett avloppsverk innehåller både nyttiga och skadliga ämnen. Vid produktutvinning ur slam eftersträvas att nyttiga produkter kan utvinnas utan att skadliga ämnen medföljer produkten och att de skadliga ämnena (patogener, organiska miljögifter) antingen destrueras eller överförs till ett litet delflöde för kontrollerad hantering/deponering (tungmetaller).

Teknik för produktutvinning ur slam bygger vanligen på att slammet behandlas med fysikalisk, mekanisk, biologisk eller kemisk teknik för att frigöra ämnen ur slam och samtidigt sker ofta en ökning av slammets biologiska nedbrytbarhet och en förbättring av dess avvattningsegenskaper. De frigjorda ämnena från slammet (t ex fosfat, ammonium, organiska syror, järn- och aluminiumjoner samt tungmetaller) behandlas med olika delsteg så att produkter utvinns och skadliga ämnen destrueras eller överförs till ett litet delflöde. Två system för långtgående produktutvinning har utvecklats i Norden med utvinning av produkter ur slam med biologisk och kemisk rening. Ett system utvecklat av Purac, Cambi, Kemira och Alfa-Laval utnyttjar kombinerad termisk och syrahydrolys av slammet och ett system med återvinning av fosfor och fällningskemikalier via kemisk fällning. Fosforprodukten är trevärd järnfosfat och tungmetaller fälls ut som sulfider i ett litet delflöde. Det andra systemet, BioCon, utnyttjar först torkning och förbränning. Askan lakas ut med syra för att lösa upp olika ämnen och produktutvinning och avskiljning av ett litet delflöde med tungmetaller sker med hjälp av jonbytesteknik. Förhandlingar föreligger bl a med Malmö att införa ett produktutvinningssystem med en modifierad Cambi/Kemira teknik och i Falun med teknik enligt BioCon.

Olika företag har utvecklat teknik för att ersätta delsteg i de systemlösningar som föreslagits av Cambi/Kemira och BioCon. I Sverige finns t ex i Östhammar företaget Ultrasonica som

utvecklat ultraljudsteknik för att frigöra komponenter ur slam och öka slammets biologiska nedbrytbarhet. Företaget Chematur Engineering AB i Karlskoga har teknik för superkritisk oxidation som ett alternativ till förbränning.

Internationellt sker en snabb utveckling av slamfraktioneringsmetoder och utvinning av produkter eller utvinning av produkter ur aska. Denna utveckling underlättas till viss del av att slammen eller askan inte innehåller höga järnhalter erhållna vid kemisk fällning. Möjligheter att i ökad utsträckning utnyttja biologisk fosforreduktion är en väg att förenkla eller förbilliga fosforåtervinning ur slam.

Diskussion

Hantering av slam har blivit ett ökande problem. Myndigheter kommer alltmer att försöka förhindra deponering med hjälp av lagstiftning och ekonomiska styrmedel. Övriga vägar (användning inom jord- och skogsbruk, grönområden inkl framställning av anläggningsjord, förbränning och produktutvinning) är värda att hålla öppna för fortsatt bedömning av vägval. Reningsverkets storlek, geografisk placering etc är härvid viktiga faktorer för vägvalet. Åtminstone för större VA-anläggningar bör olika vägval hållas öppna. Svårigheter med acceptans och även att erhålla rimliga avtalsvillkor vid samverkan med annan infrastruktur (t ex att utnyttja befintliga förbränningsanläggningar) är en grund till rekommendationen att VA-anläggningen bör ha åtminstone en väg som man har kontroll/bestämmandemöjlighet över.

För stora anläggningar är nya vägar som förbränning kopplad till krav på fosforåtervinning och mer generellt produktutvinning ur slam värda att bättre utvärdera och med hänsyn tagen till lokala förutsättningar. System finns framme som offereras till kommuner men som ännu inte är (eller bristfälligt) utvärderade utifrån fullskaletillämpning. Den satsning som görs av Purac, Cambi, Kemira och Alfa Laval med att åstadkomma rimliga processgarantier kan underlätta införandet av den nya teknologin genom att kommunernas risktagande minskas.

Om det antas att stora kommuner till betydelsefull del satsar på ny teknologi bör det finnas möjligheter för mindre närliggande avloppsanläggningar att utnyttja uppbyggda system vid stora avloppsanläggningar. Alternativa teknologier för slamhantering ger en utökad marknad för andra kommuner att slutanvända sitt slam för anläggningsjord och grönytor samt till jordbruk när slamkvaliten är god. En utökad dispens för att utnyttja "gammal" slamhanteringsteknik är kanske rimlig att ge till små kommuner i glesbygd.

Referenser

- ¹ Naturvårdsverket (1991). Kommunala avloppsanläggningar. Anslutningspolicy. Naturvårdsverket informerar (Naturvårdsverket 9324-X).
- ² Naturvårdsverket (1997). Hur har det gått? Utvärdering av kommunernas miljöarbete mot åtta nationella miljömål. Naturvårdsverket Rapport 4698.
- ³ Socialstyrelsen (1973). Användning av rötslam som jordförbättringsmedel. Råd och anvisningar 1973:30.
- ⁴ Naturvårdsverket (1979). Slamhantering – allmänna råd för hantering av slam från avloppsreningsverk. Råd och Riktlinjer 1979:3.
- ⁵ Naturvårdsverket (1990). Slam från kommunala avloppsreningsverk. Naturvårdsverket Allmänna råd 90:13.
- ⁶ Statens författningssamling, SFS 1998:944 (1998). Förordning om förbud m.m. i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter.
- ⁷ Naturvårdsverket (1994 och 1998). Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket. Statens Naturvårdsverks författningssamling SNFS 1994:2 (ändrad SNFS 1998:4).
- ⁸ Johansson, M-B, Nilsson, T och Olsson, M (1999). Miljökonsekvensbeskrivning av Skogsstyrelsens förslag till åtgärdsprogram för kalkning och vitalisering. Skogsstyrelsens Rapport 1999:1.
- ⁹ Ramírez, J I (2000). A system approach evaluation of sludge management strategies, Case study: Sludge management in Valparaíso and Aconcagua, Chile, Licentiatavhandling. Kemiteknik, KTH, TRITA-KET-IM 2000:17.
- ¹⁰ Naturvårdsverket, VAV och LRF (1995). Användning av avloppsslam i jordbruket. Naturvårdsverket Rapport 4418.
- ¹¹ Metallutsläpp till luft från olika källor 1995.
<http://www.scb.se/landmiljo/annan/miljosverige/miljoutslmet1.asp>.
- ¹² Metallutsläpp till vatten från olika källor 1995.
<http://www.scb.se/landmiljo/annan/miljosverige/miljoutslmet2.asp>.
- ¹³ Tideström, H (1994). Metallanalyser enligt Naturvårdsverkets kontrollföreskrifter för avloppsanläggningar. Artikel i Mätbladet november 95 Nr 19, samt opublicerad stickprovsundersökning med hjälp av miljödataprogrammet KRUT.
- ¹⁴ Berg, C (1986). Metaller i kommunalt avloppsvatten. SWEP. Naturvårdsverket PM 1942.
- ¹⁵ Naturvårdsverket (1999). Föroreningar – Tungmetaller på Naturvårdsverkets hemsida:
<http://www.viron.se/>.
- ¹⁶ Hugmark, P, Jonsson, U och Bergström, A (1990-1991). Tre rapporter:
- Avloppsvatten från industrier,
 - Avloppsvatten från hushåll
 - Avloppsvatten från hushåll – Uppföljande undersökning 1991. Stockholm Vatten.

- ¹⁷ Larsson, L (1993). Metaller i avloppsvatten – Fördelning på hushåll, dagvatten, dränvatten och industri. VA-verket Malmö.
- ¹⁸ Lindblom, U och Swedling, E (1996). Slam 2000 – Vägen till ett renare slam i Uppsala. Miljökontoret Uppsala.
- ¹⁹ Stockholms Stad (1999). Allmänt om dagvatten.
<http://www.miljoporten.stockholm.se/Dagvatten/intro.htm#dagvatten>.
- ²⁰ Bergbäck, B och Johansson, K (1996). Metaller i stad och land - kretslopp och kritisk belastning (lägesrapport 1996). Naturvårdsverket Rapport 4677.
- ²¹ Larm, T (1994). Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling. VA-Forsk Rapport 1994-06.
- ²² Malmqvist, P-A, Svensson, G, Fjellström, C (1996). Dagvattnets sammansättning. VA-Forsk Rapport 1994-11.
- ²³ Naturvårdsverket (1996). Fordonstvätt – Mål och riktvärden. Naturvårdsverket Allmänna råd 96:1.
- ²⁴ Palm, O (1993). Renare slam - Åtgärder för kommunala avloppsreningsverk. Naturvårdsverket Rapport 4251.
- ²⁵ Landner, L, Walterson, E och Hellstrand, H (2000). Copper in sewage sludge and soil. A literature review and critical discussion of disposal of copper-containing sludge to agricultural land. International Copper Association Ltd.
- ²⁶ Naturvårdsverket (2000). Stor spridning av koppar från bilarnas bromsbelägg. Pressmeddelande 000309.
- ²⁷ KemI och Naturvårdsverket. Kemiska ämnen med hormonell påverkan.
- ²⁸ Naturvårdsverket. Margaretha Stacknerud. Muntlig uppgift.
- ²⁹ Marianne Pettersson (internt pm) och Alexandra Norén (muntlig uppgift), Naturvårdsverket.
- ³⁰ Boller, M (1997). Tracking heavy metals reveals sustainability deficits of urban drainage systems. Wat.Sci.Tech. Vol 35, Nr 9 sid 77-87.
- ³¹ Sjöqvist, T och Wiklander-Johansson, E (1985). Vad innehåller slammet? Sammanställning av slamanalyser vid SLL. SLL Meddelande 51 1985.

³² SCB, Statistiska meddelanden från SCB:

- (1990) Utsläpp till vatten av eutrofierande ämnen 1987. Kommunala reningsverk, massa- och pappersindustri. Na 22 SM 9001.
- (1992) Utsläpp till vatten av eutrofierande ämnen 1990. Kommunala reningsverk, massa- och pappersindustri. Na 22 SM 9201.
- (1994) Utsläpp till vatten 1992. Kommunala reningsverk, massa- och pappersindustri. Na 22 SM 9401.
- (1997) Utsläpp till vatten och slamproduktion 1995. Kommunala reningsverk samt viss kustindustri. Na 22 SM 9701.

³³ - (1999) Utsläpp till vatten och slamproduktion 1998. Kommunala reningsverk samt viss kustindustri. Mi 22 SM 9901.

³⁴ Wahlberg, C (1999). Opublicerad sammanställning av mätdata från Henriksdal, Bromma och Loudden.

³⁵ Kemikalieinspektionen (1997). Avvecklingsprojektet. Kemi Rapport 6/97.

³⁶ SCB (1996). Gödselmedel i jordbruket 1994/95. Tillförsel till åkergrödor. SCB:s statistiska meddelanden Na 30 SM 9602.

³⁷ SCB (2000). Gunnar Brånvall. Muntlig uppgift.

³⁸ Ohlsson, T, Nilsson, P och Aspegren, H (1997). Inarbetning av avloppsslam - En metod att tillverka jord. Metoder – Miljöeffekter - Kostnader. Naturvårdsverket Rapport 4823.

³⁹ Steineck, S, Gustafson, G, Andersson, A, Tersmeden, M, Bergström, J (1999). Stallgödselns innehåll av växtnäring och spårelement. Naturvårdsverket Rapport 4974.

⁴⁰ VAV, Svenska Vatten och Avloppsverksföreningen (1989). Metoder för behandling och avyttring av slam. VAV M66.

⁴¹ Miljøstyrelsen, Miljø- og Energiministeriet, Danmark (1999) Spildevandsslam fra kommunale og private renselanlæg i 1997. Miljøprojekt nr. 473.

⁴² Werther, J och Ogada, T (1999) Sewage sludge combustion, Progress in energy and combustion science, Vol 25, sid 55 – 116.

⁴³ Lue-Hing, C, Zenz, D R och Kuchenrither, R (1992). Municipal sewage sludge management processing, utilization and disposal. Water Quality Management Library, Vol 4, Technomic Publishers, London.

⁴⁴ LRF, Lantbrukarnas Riksförbund (1997). Hantering av avloppsslam och organiskt hushållsavfall i Europa, beställningsnummer 42 344.

⁴⁵ European Commission (1997). The comparability of quantitative data on waste water collection and treatment. Final report to the European Commission DG XI B1. EWPCA.

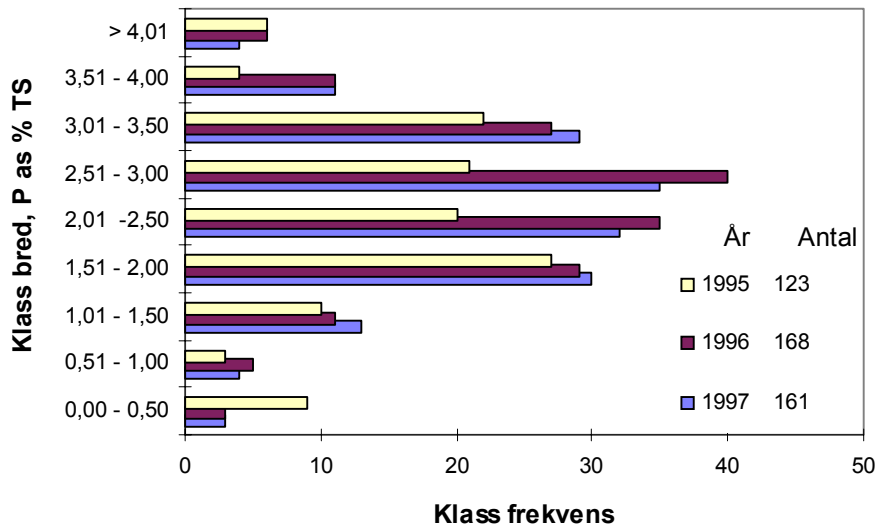
⁴⁶ LRF, Lantbrukarnas Riksförbund (1999). Tillfälligt stopp för slam. Pressmeddelande 1999-10-12. LRF:s hemsida www.lrf.se.

⁴⁷ SFS svensk författningssamling (1999). Lag (1999:673) om skatt på avfall.

- ⁴⁸ SFS svensk författningssamling (1999). Renhållningsförordningen (1998:902).
- ⁴⁹ Kommissionen (2000). Working Document on Sludge 3rd draft.
- ⁵⁰ Livsmedelsindustrierna LI (1998). Livsmedelsindustriernas slampolicy. www.li.se.
- ⁵¹ SP (1999). Certifieringsregler för biomull SPCR 089. www.sp.se.
- ⁵² Miljökommittén (2000). Framtidens miljö – allas vårt ansvar, Statens Offentliga Utredningar SOU 2000:52.
- ⁵³ Tideström, H, Starberg, K, Ohlsson, T, Camper, P-A och Ek, P (2000). Användningsmöjligheter för avloppsslam. VA-FORSK Rapport 2000-2.
- ⁵⁴ Skogsstyrelsen (1998). Rekommendationer vid uttag av skogsbränsle och kompensationsgödsling. www-svo.se.
- ⁵⁵ Thord Magnusson, SLU Umeå (2000). Muntlig uppgift.
- ⁵⁶ Skogsstyrelsen (2000). Skogsstatistisk årsbok 2000. [www.svo.se /fakta/stat/ska2/](http://www.svo.se/fakta/stat/ska2/).
- ⁵⁷ Skogsstyrelsen (1999). Miljökonsekvensbeskrivning av Skogsstyrelsens förslag till åtgärdsprogram för kalkning och vitalisering. Skogsstyrelsen Rapport 1-1999.
- ⁵⁸ Starberg, K, Haglund, H, Hultgren, J (1999). Slamförbränning. VA-Forsk Rapport 1999-11.
- ⁵⁹ Gidner, A, Almemark, M, Stenmark, L och Ekengren, Ö (2000). Treatment of sewage sludge by supercritical water oxidation, IBC's 6th Annual Conference on Sewage Sludge, February 16 – 17, 2000, London UK.
- ⁶⁰ Naturvårdsverket (1996). Mål för särskilda avfallslag – Aktionsplan Avfall. Naturvårdsverket Rapport 4602.
- ⁶¹ Svensson, A. (2000). Fosfor ur avloppsslam – en studie av KREPRO-processen och BioCons process ur ett livscykelperspektiv, Examensarbete i Kemisk miljövetenskap, Chalmers Tekniska Högskola.
- ⁶² Hansen, B., Karlsson, I., Cassidy, S. och Pettersson, L. (2000). Operational experiences from a sludge recovery plant *Wat. Sci. Tech.* Vol. 41, Nr. 8, sid. 23–30.
- ⁶³ Karlsson, I. (2001) Full scale plant recovering iron phosphate from sewage at Helsingborg Sweden, 2:nd International Conference on Recovery of Phosphates from sewage and animal wastes, Holland, NL, 12-13 March 2001.
- ⁶⁴ Klapwijk, B., Rulkens, W. och Temmink, H. (2001) Recovery of phosphorus from sewage, Second International Conference on Recovery of Phosphates from sewage and animal wastes, Holland, NL, 12-13 March 2001.
- ⁶⁵ Mather, A S och Chapman, K (1995). Environmental resources, Chapter 8 Mineral resources, ISBN 0-582-10168-9.
- ⁶⁶ Henriksdals reningverk tungmetaller i slam 1999, Stockholm Vatten Rapport.

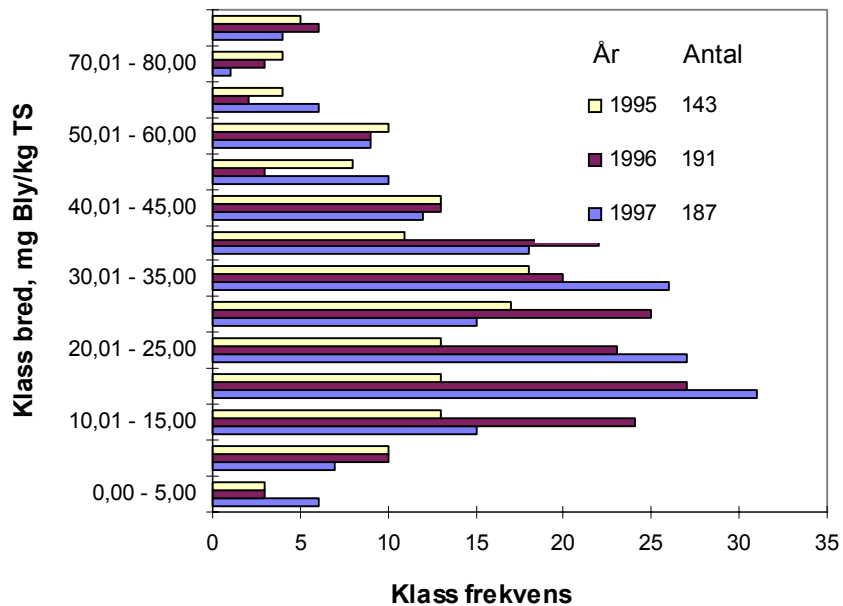
- ⁶⁷ Bergbäck, B (1998). Metaller i Stockholm, Naturvårdsverkets rapport 4952.
- ⁶⁸ Levlin, E, Löwén, M, Schmidt, E, Hultman, B och Mossakowska, A (1998). Fosforutvinning ur aska, Stockholm Vatten rapport nr 54.
- ⁶⁹ Göran Lither, ITM, Inst. För Tillämpad Miljöforskning vid Stockholms Universitet, muntlig uppgift.
- ⁷⁰ Statens Offentliga Utredningar (2000) Kemikalieutredningens betänkande – Varor utan faror. SOU 2000:53.
- ⁷¹ Witter, E (1992). Heavy metal concentrations in agricultural soils critical to microorganisms. Swedish Environmental Protection Agency Report 4079.
- ⁷² Nilsson, C (1997). Organiska miljöföroreningar i slam - Bidrag till människors exponering för vissa östrogenstörande substanser. Naturvårdsverket Rapport 4673.
- ⁷³ Nilsson, C, Rappe, C, Öberg, L och Håkansson, H (1999). Biosolids in land application – a study on the dioxin situation. Rapport från The United States Conference of Mayors – Urban Water Council, June 1999.
- ⁷⁴ Kardell, A, Slorach, S, Albanus, L, von Hofsten, B, Oskarsson, A (1989). Livsmedelstoxikologiska aspekter på rötslam i jordbruket. Naturvårdsverket Rapport 3623.
- ⁷⁵ Linusson, A (1992). Slam. Innehåll av organiska miljöfarliga ämnen. Sammanställning och utvärdering av analysresultat. Naturvårdsverket Rapport 4085.
- ⁷⁶ Rudling, J (1996). Organiska miljöföroreningar i avloppsslam. Föredrag vid seminariet ”Morgondagens kretslopp” Uppsala den 22-23 oktober 1996. JTI rapport. Kretslopp & avfall. Nr 8.
- ⁷⁷ Malgeryd, J, Karlsson, S och Norin, E (1998). Spannmålskvalitet vid användning av avloppsslam som gödselmedel – en litteraturstudie. Jordbrukstekniska institutet, JTI Rapport Kretslopp & avfall nr 16, 1998.
- ⁷⁸ Jensen, J B J, Larsen, M M , Pritzl, G och Scott-Fordsmand, J (1997). A heavy metal monitoring-programme in Denmark, The Science of the Total Env. Vol. 207, sid 179-186.
- ⁷⁹ Levlin, E, Westlund, L och Hultman, B (1996). Rening av avloppsslam från tungmetaller och organiska miljöfarliga ämnen. VA-Forsk rapport 1996 – 08.
- ⁸⁰ Blais, J F, Tyagi, R D, Auclair, J C och Huang, C P (1992). Comparison of acid and microbial leaching for metal removal from municipal sludge. Water Science Technology, Vol. 26, Nr. 1-2, sid. 197-206.
- ⁸¹ Swinton, E A, Eldridge, R J och Becker, N S C (1989). Extraction of heavy metals from sludges and muds by magnetic ion-exchange. Sewage sludge treatment and use: new developments, technological aspects and environmental effects. Elsevier science publ. ISBN 1-85166-418-1, sid. 394-404.

Fosfor



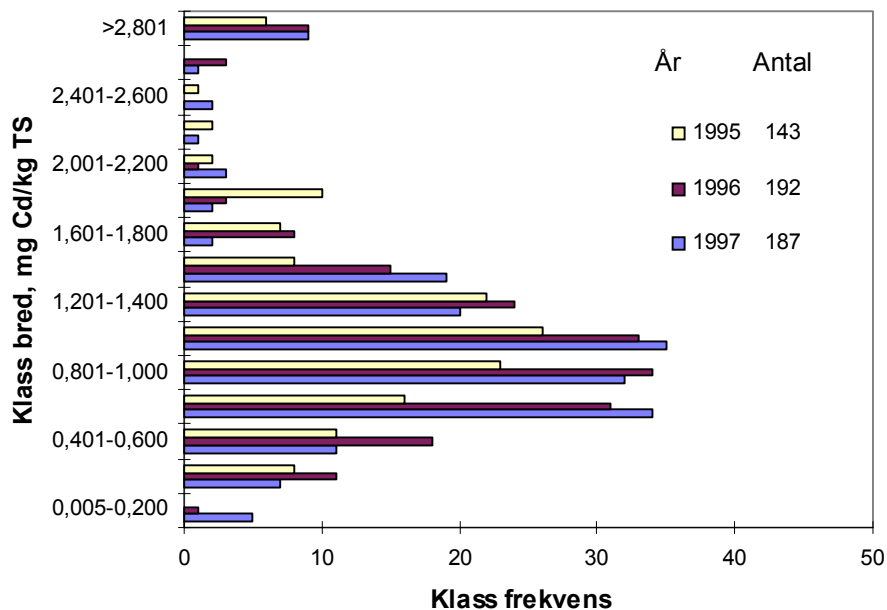
Frekvensfördelning för medelvärden av fosforkoncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

Bly



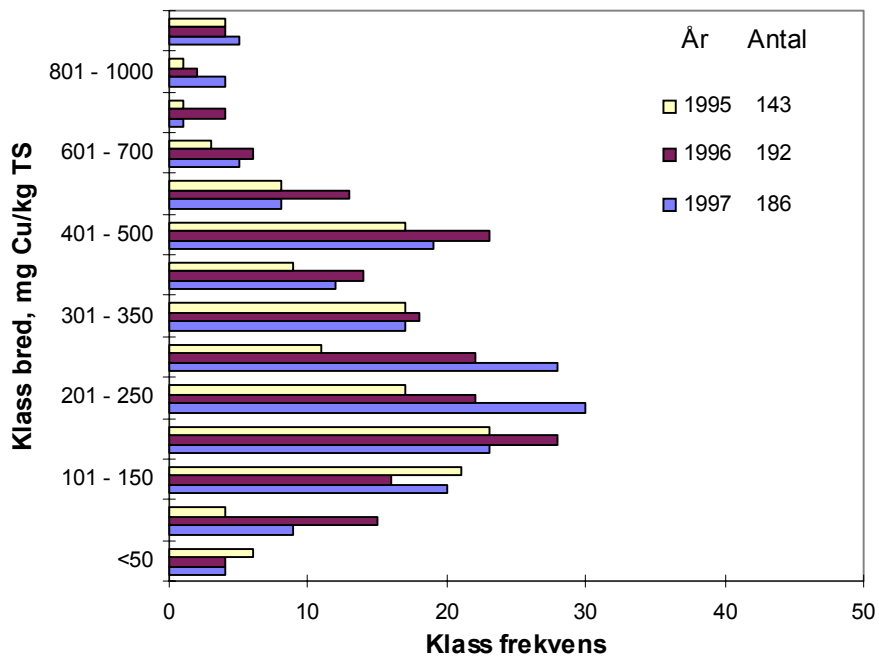
Frekvensfördelning för medelvärden av blykoncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

Kadmium



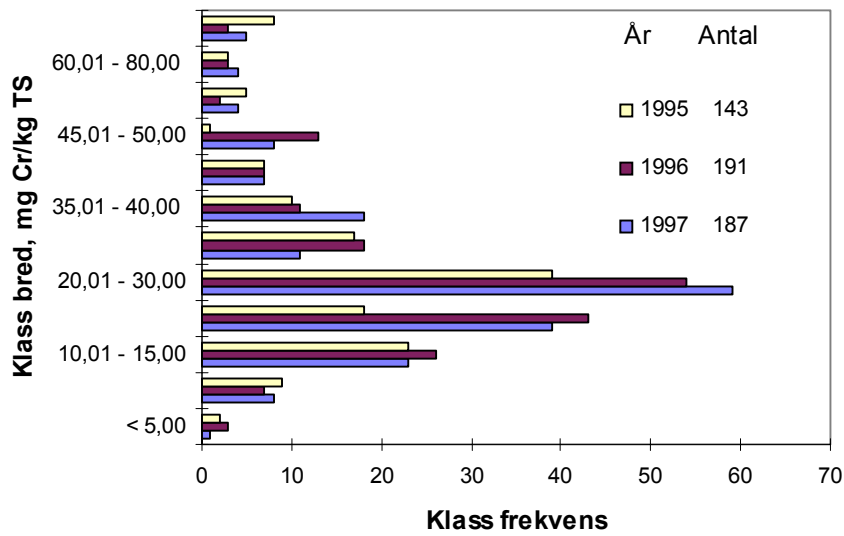
Frekvensfördelning för medelvärden av kadmiumkoncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

Koppar



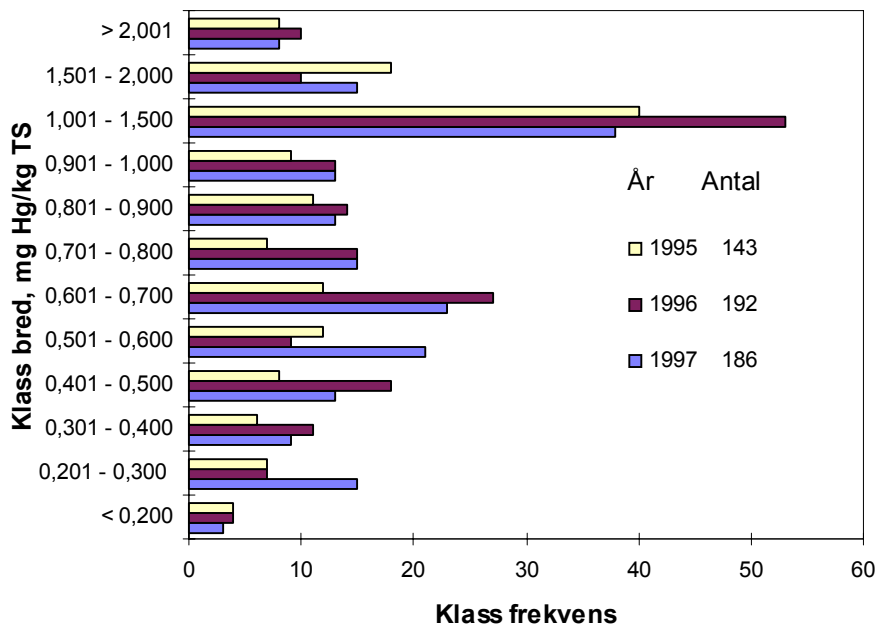
Frekvensfördelning för medelvärden av kopparkoncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

Krom



Frekvensfördelning för medelvärden av kromkoncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

Kvicksilver

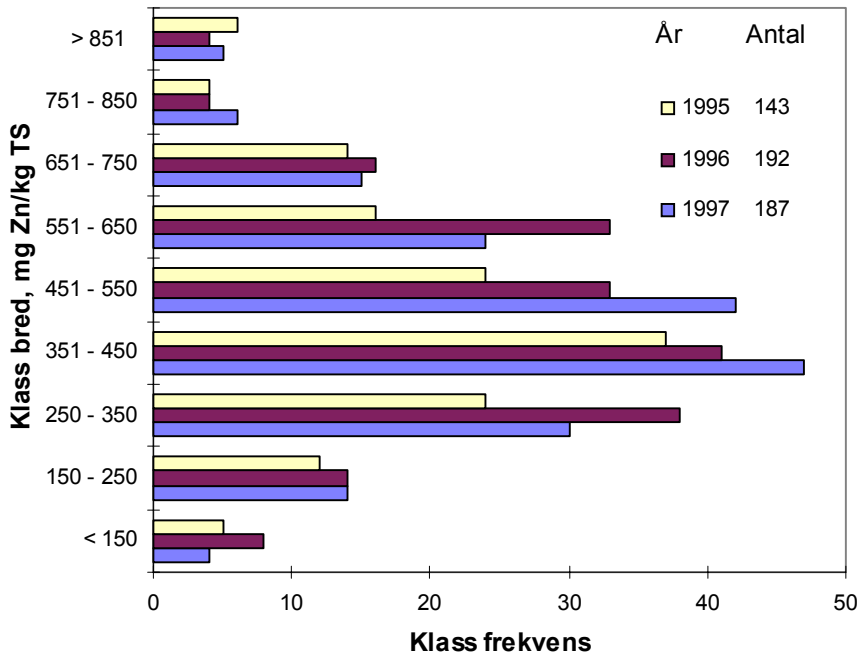


Frekvensfördelning för medelvärden av kvicksilverkoncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

Bilaga 1:4

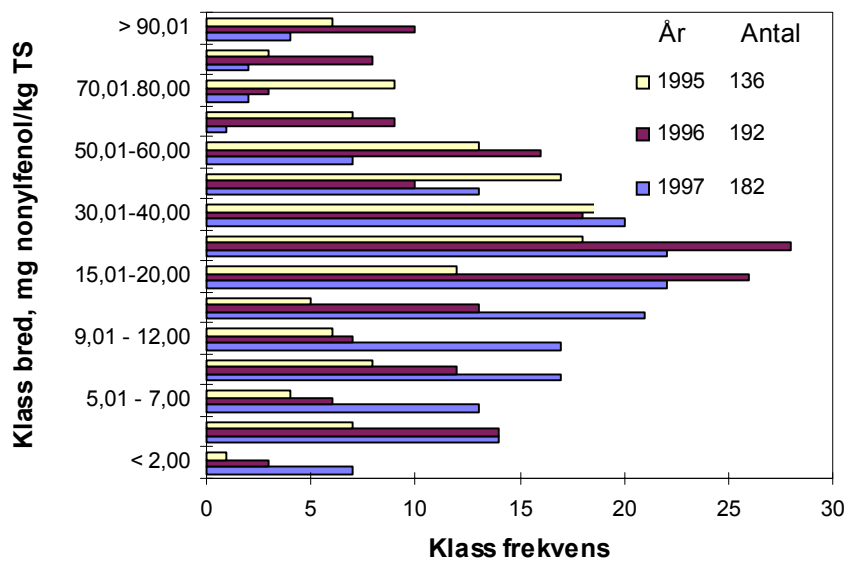
Frekvensfördelning för medelvärden av nickelkoncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

Zink



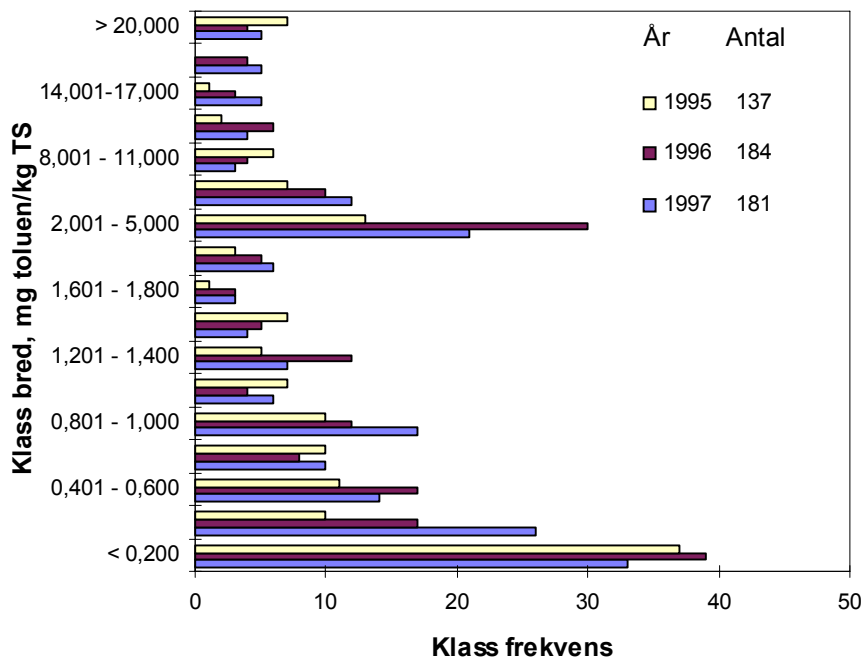
Frekvensfördelning för medelvärden av zinkkoncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

Nonylfenol



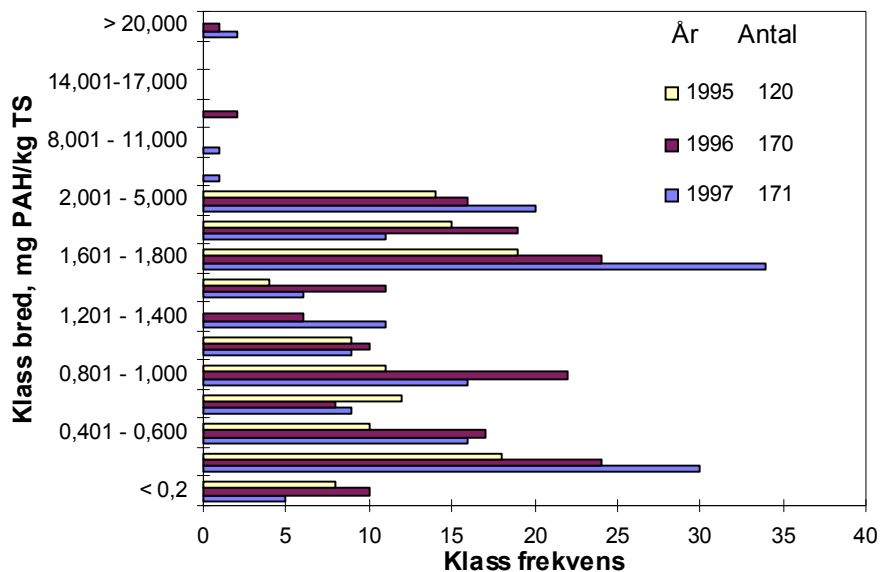
Frekvensfördelning för medelvärden av Nonylfenolkoncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

Toluen



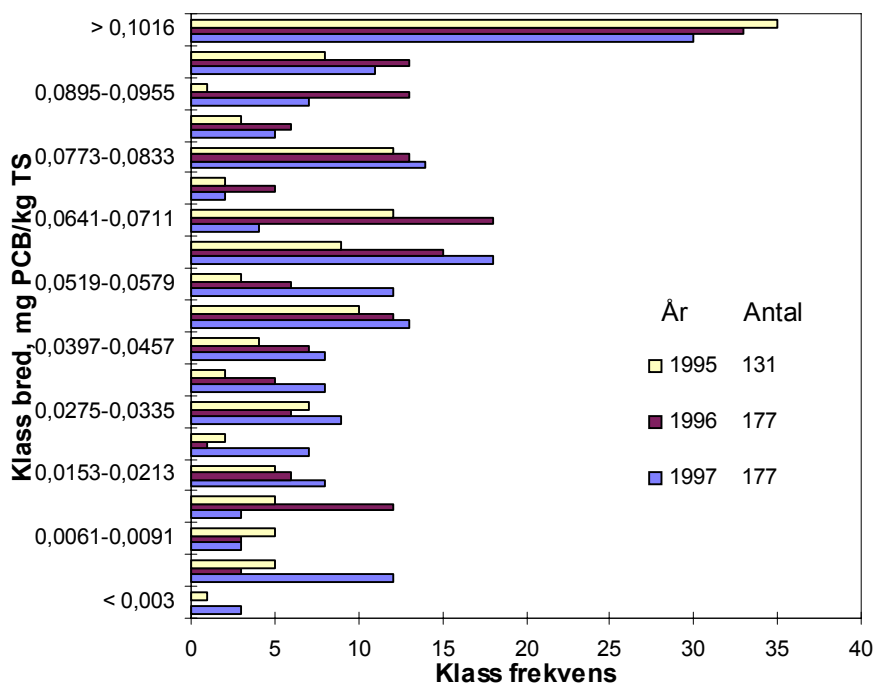
Frekvensfördelning för medelvärden av Toluenkoncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

PAH



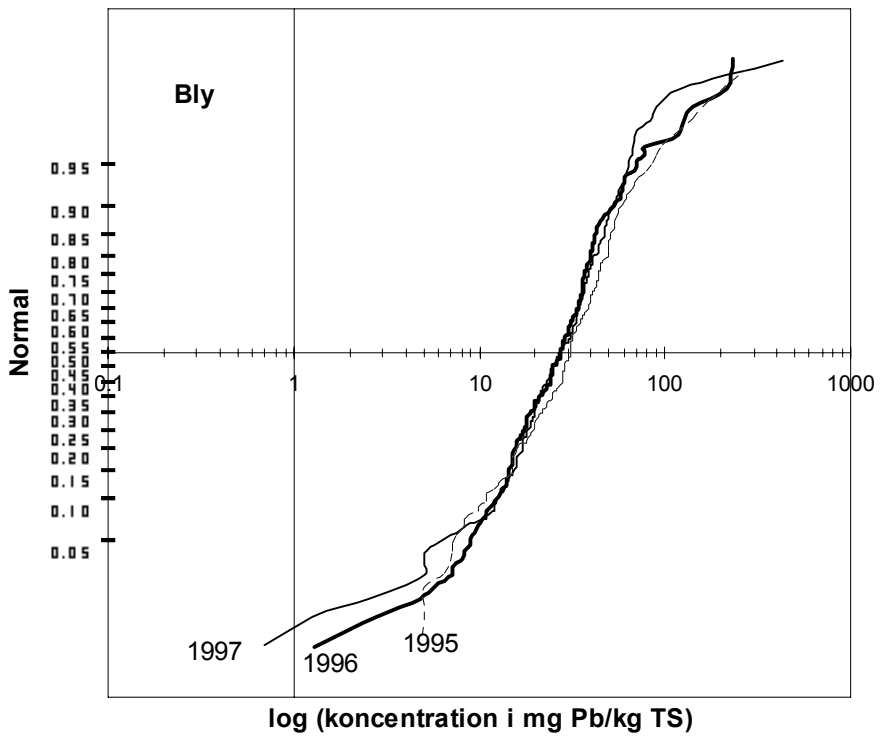
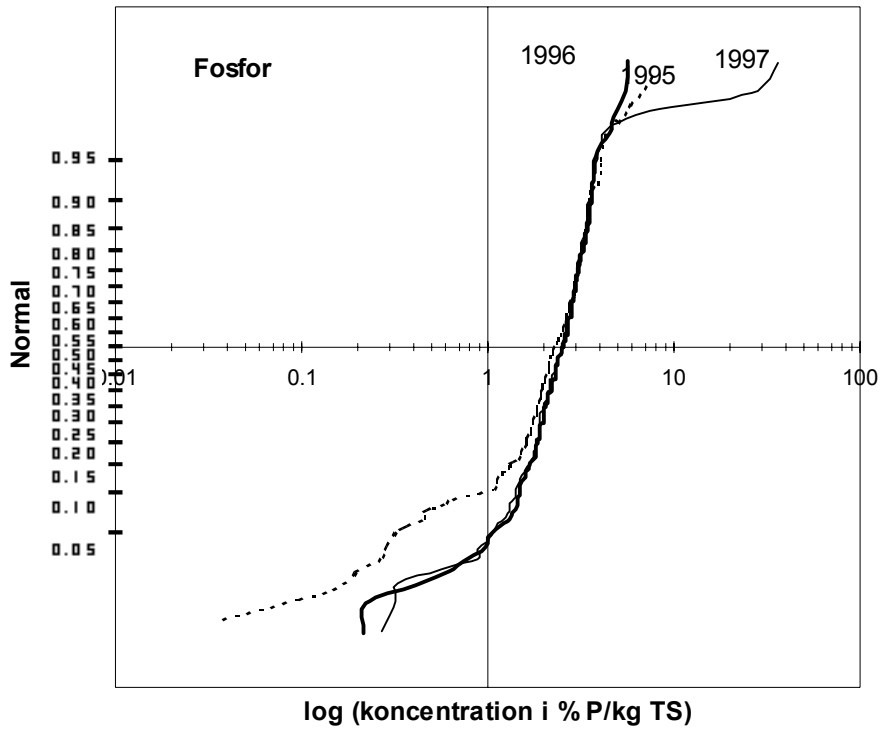
Frekvensfördelning för medelvärden av PAH-koncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

PCB

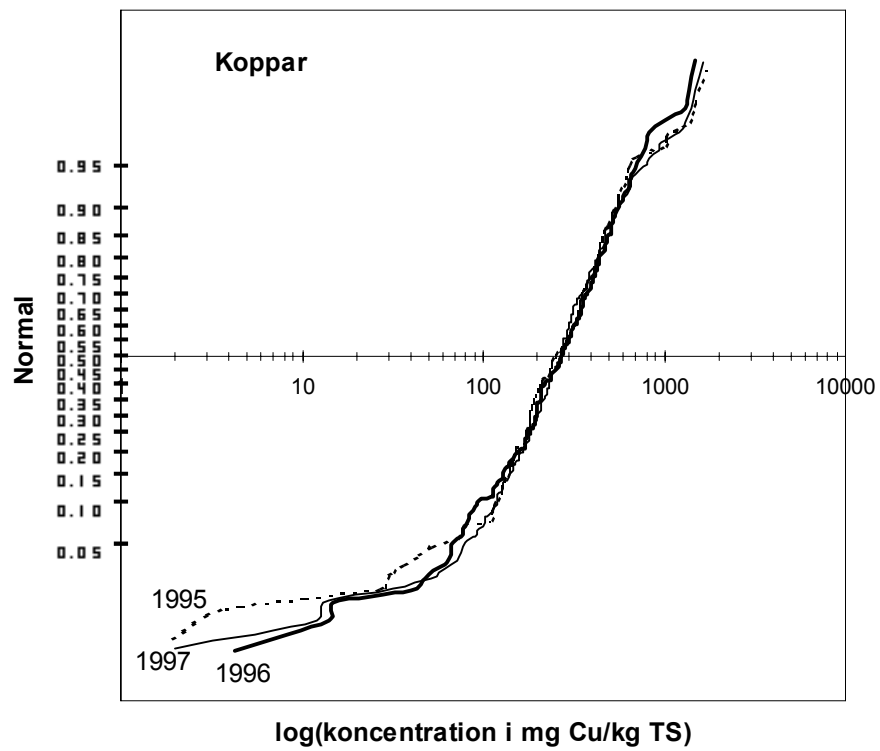
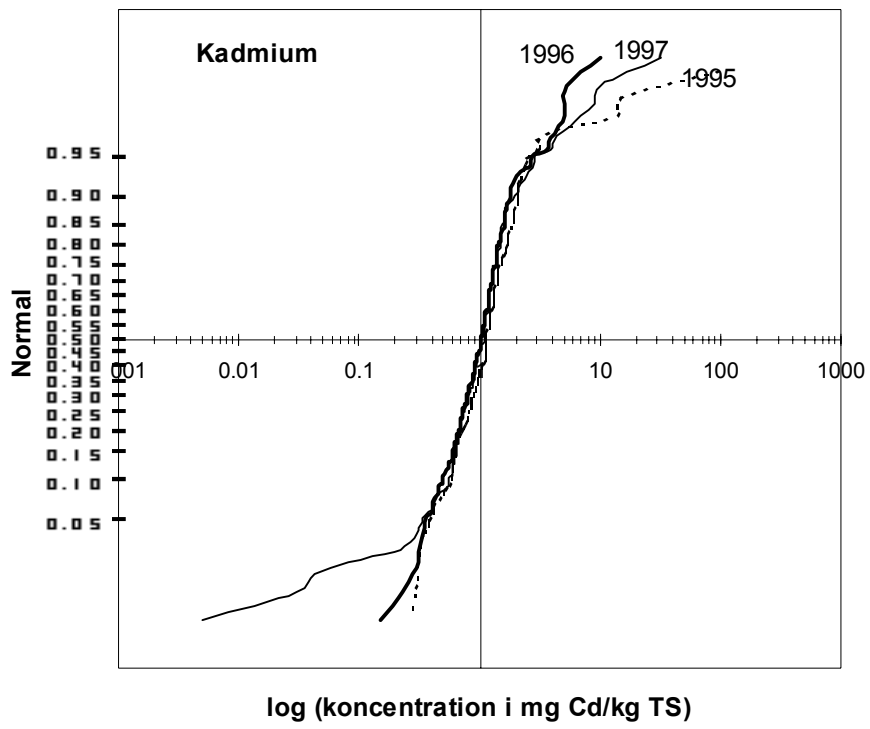


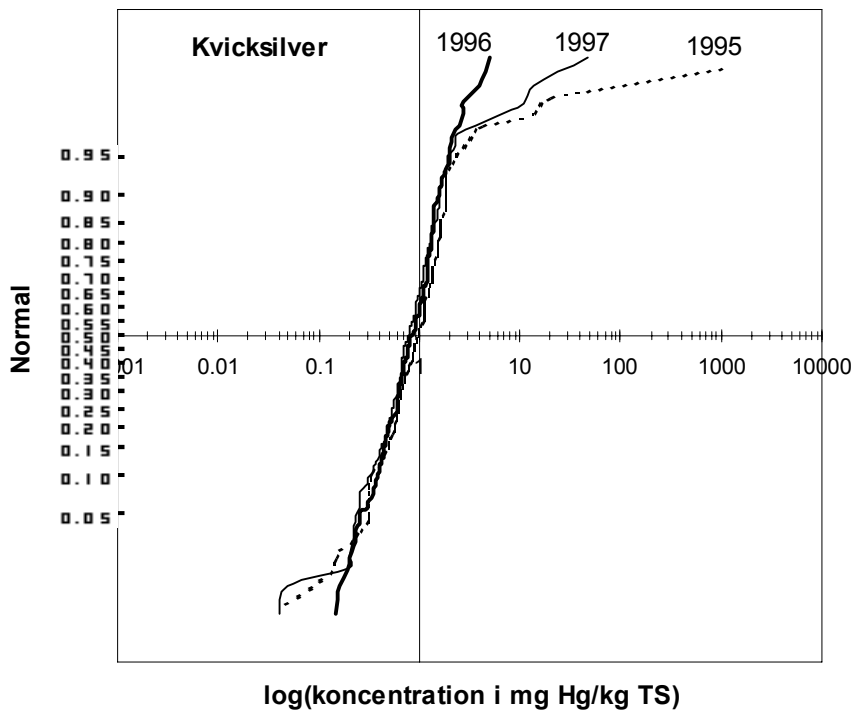
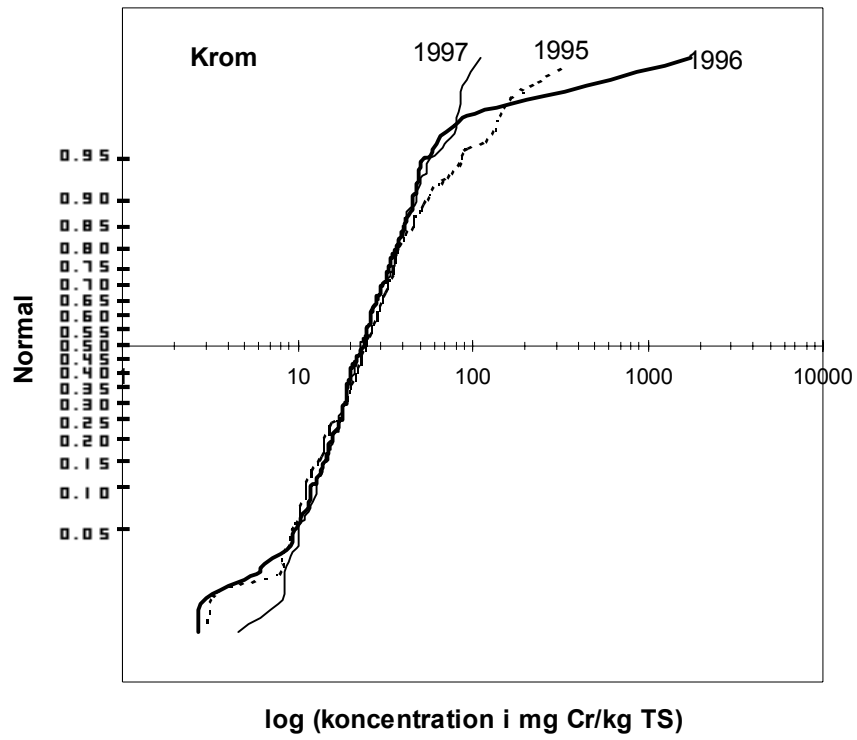
Frekvensfördelning för medelvärden av PCB-koncentration i avloppsslam under år 1995, 96 resp. 97.

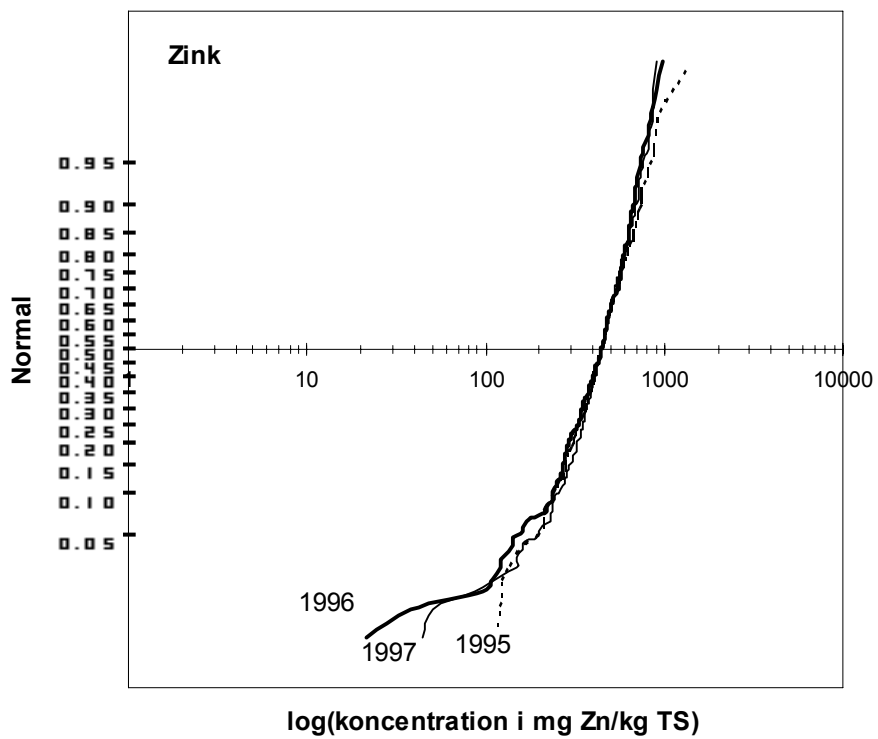
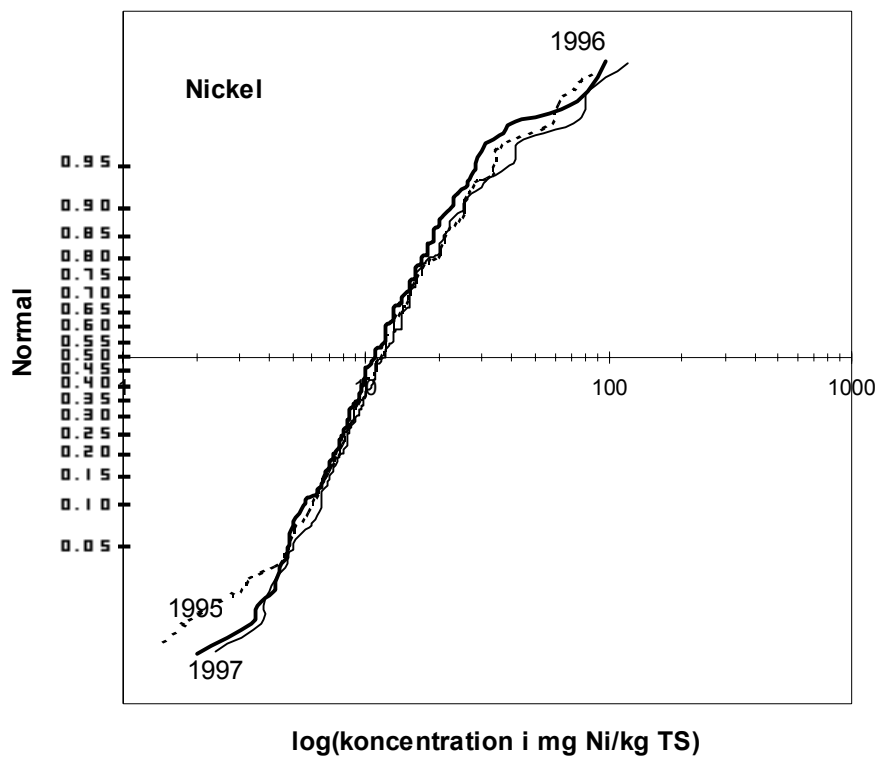
Bilaga 2:1



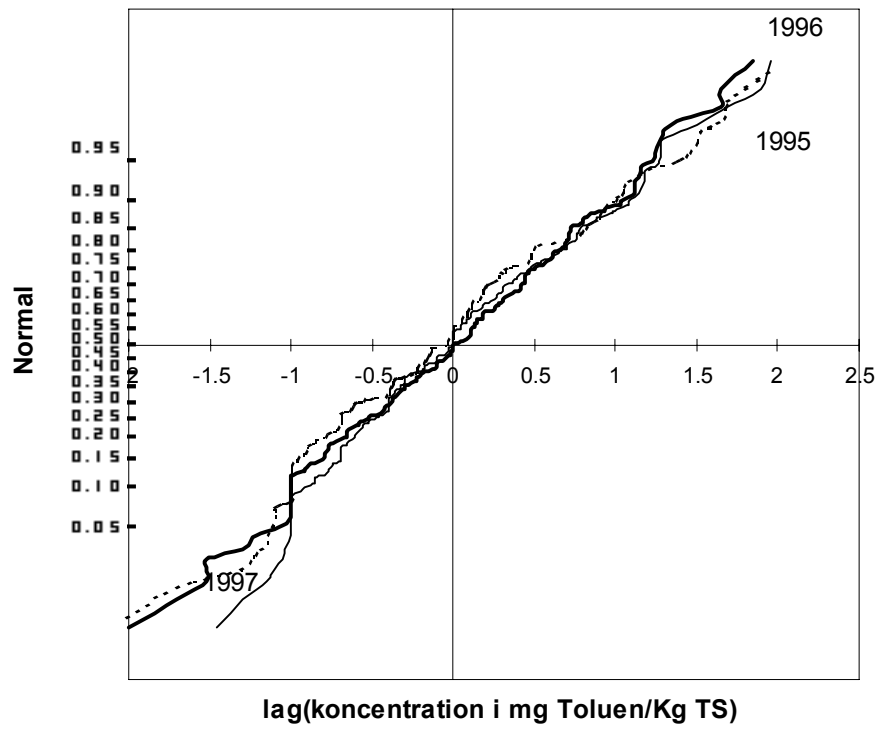
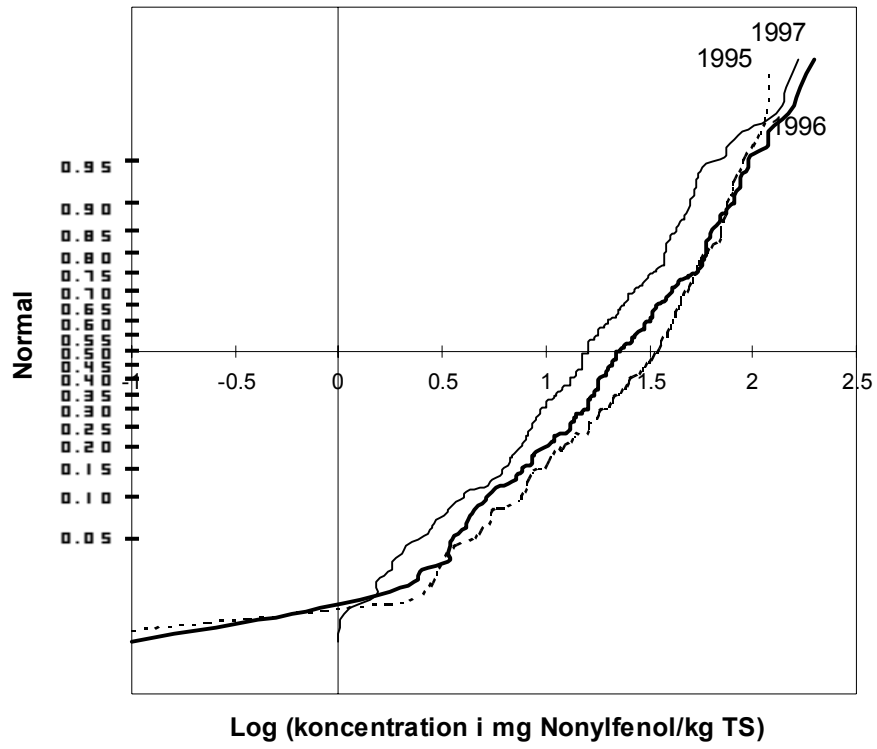
Bilaga 2:2



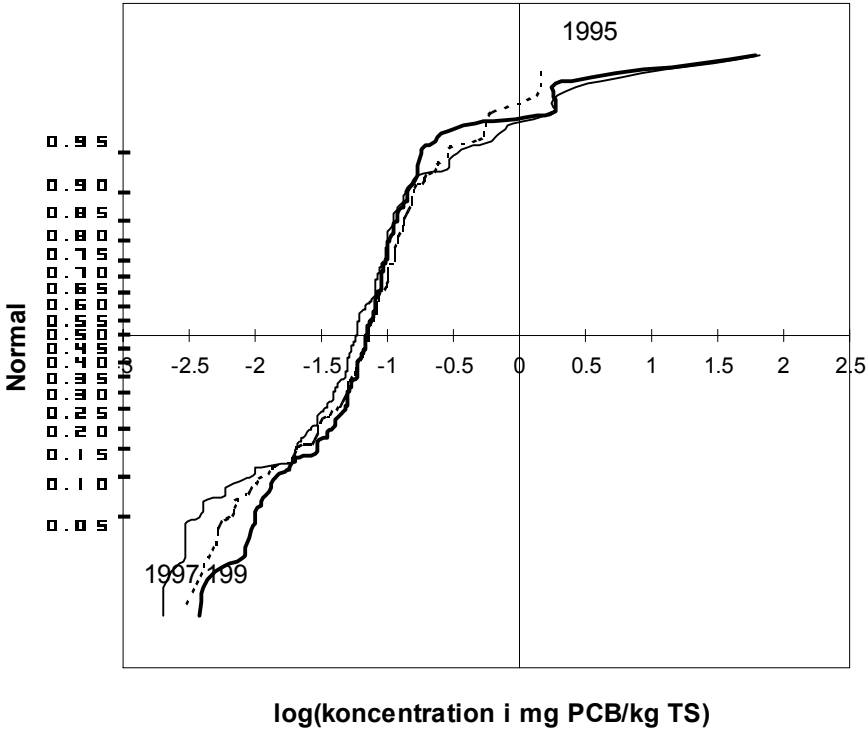
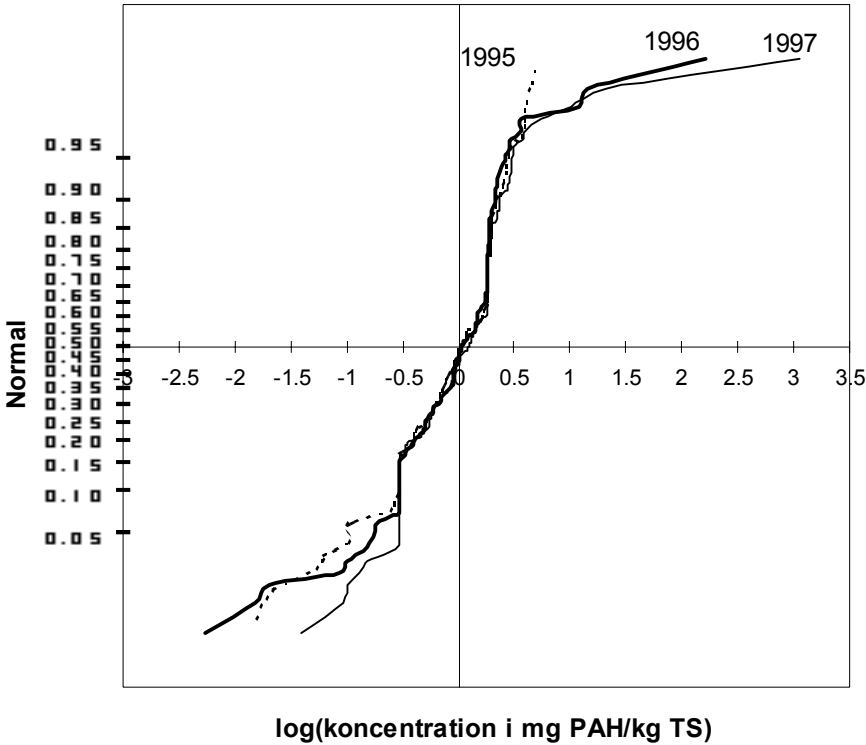




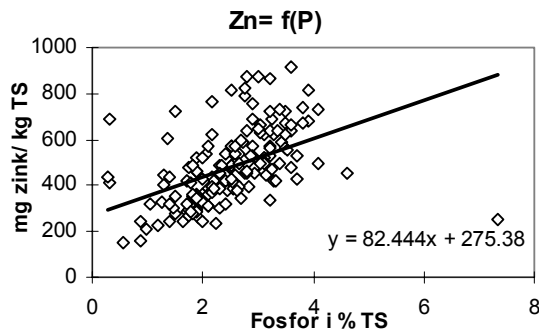
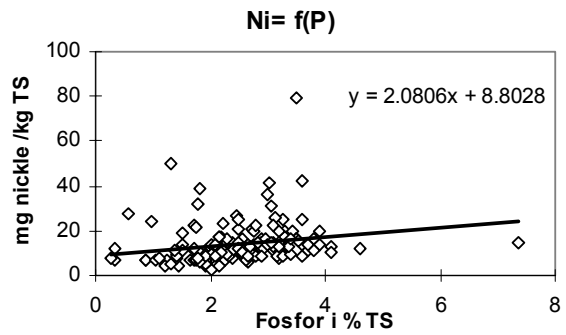
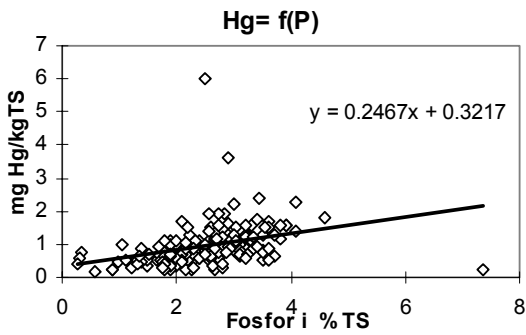
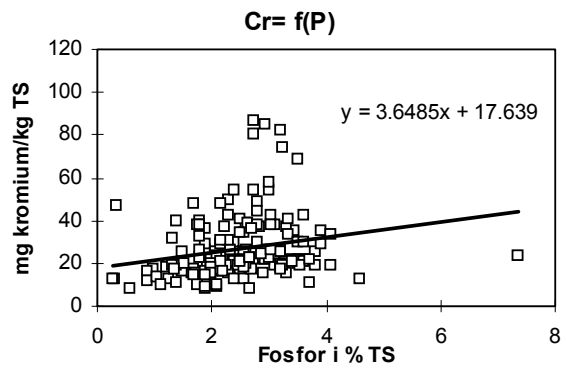
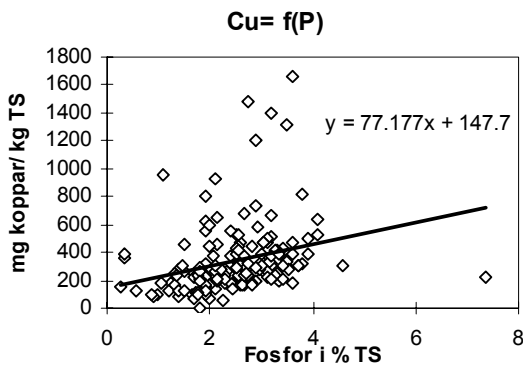
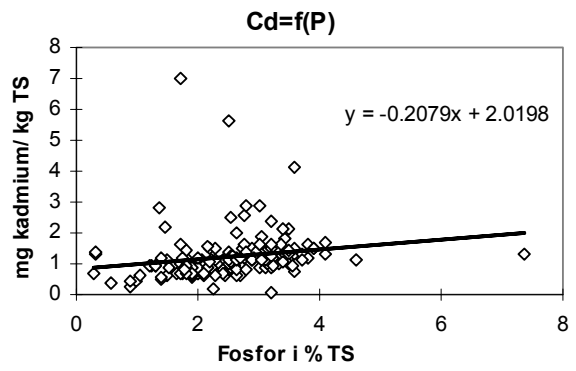
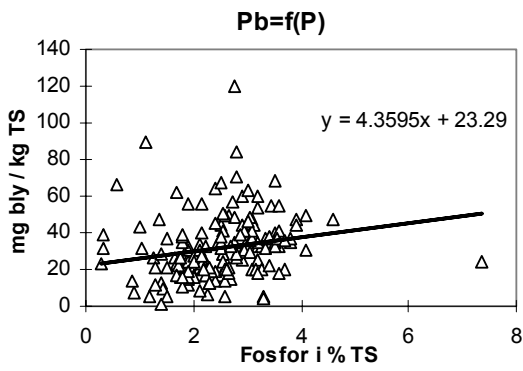
Bilaga 2:5



Bilaga 2:6

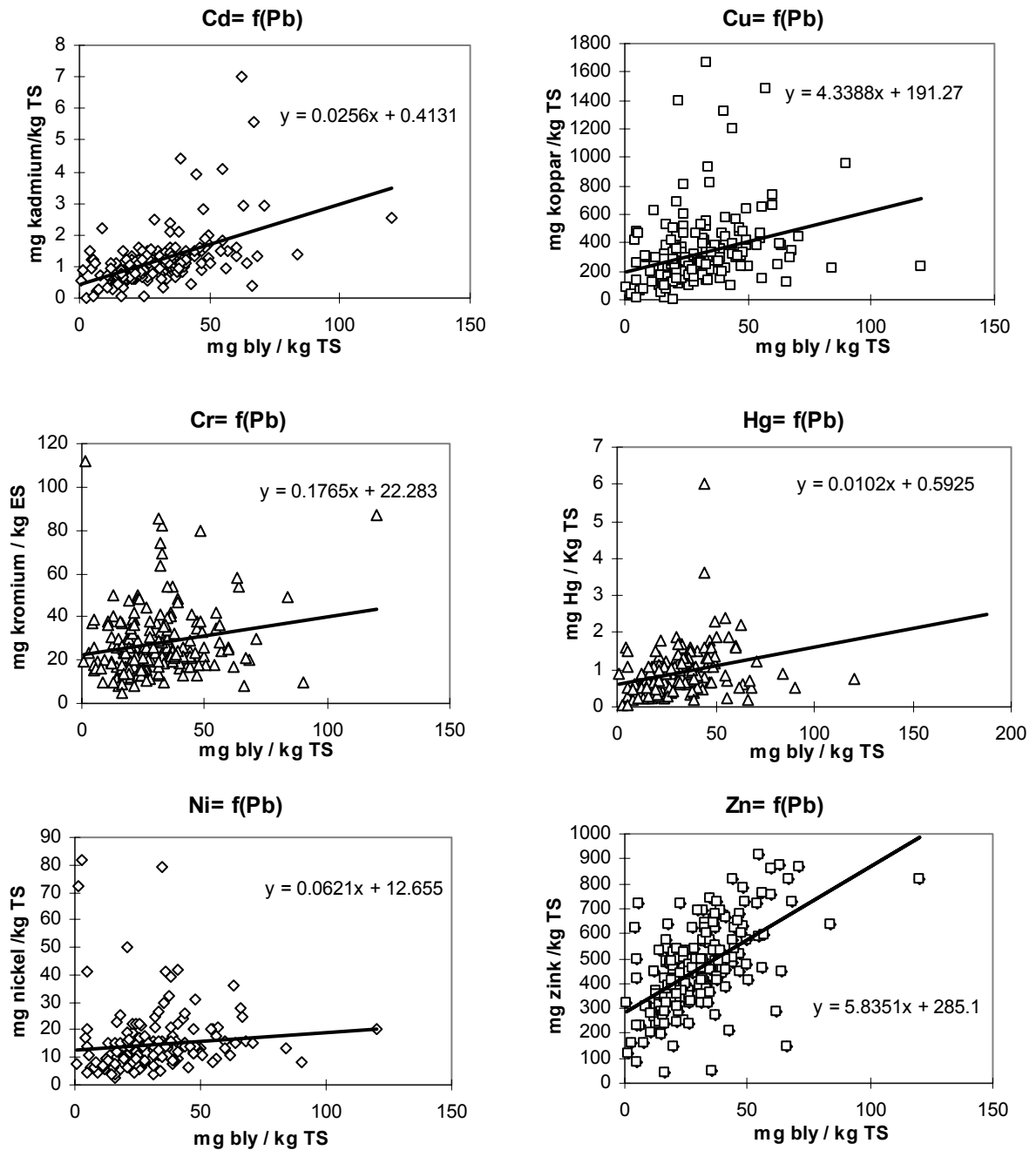


Bilaga 3:1



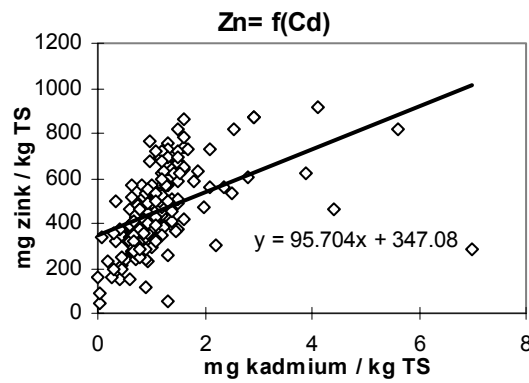
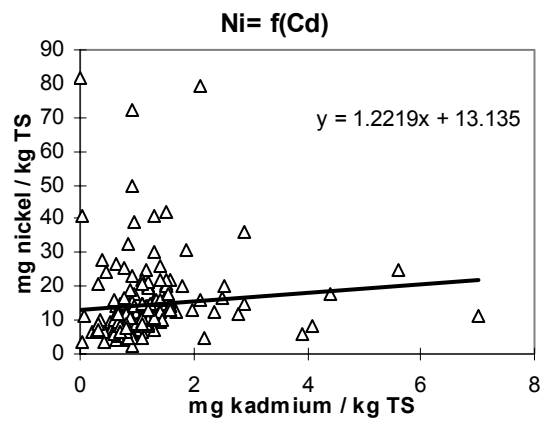
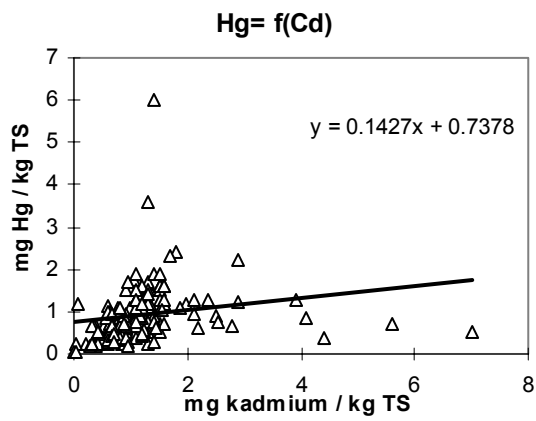
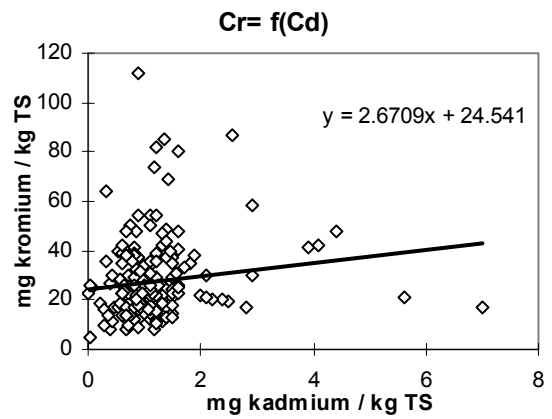
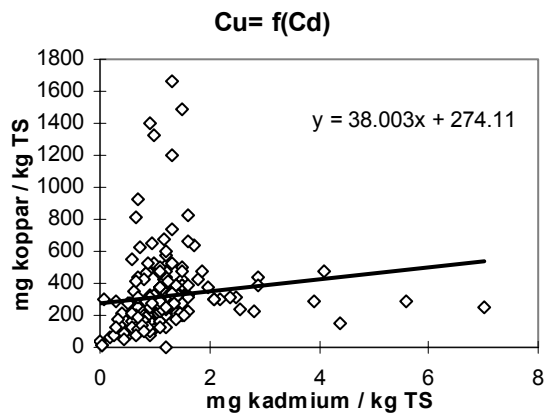
Samband mellan fosfor och förekomst av andra metaller i avloppsvatten

Bilaga 3:2



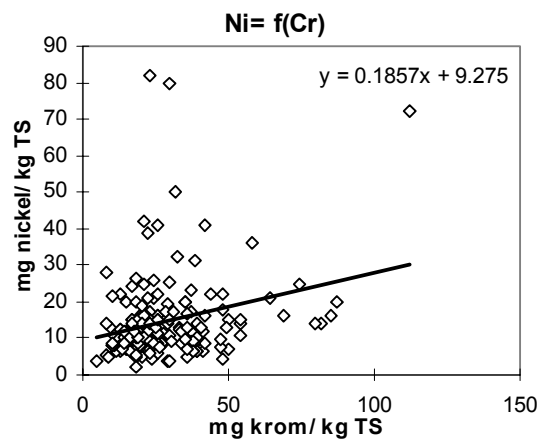
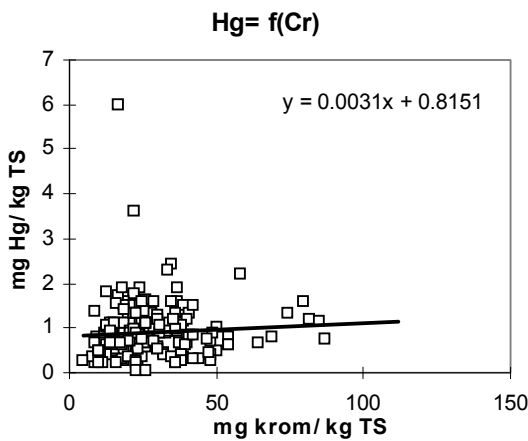
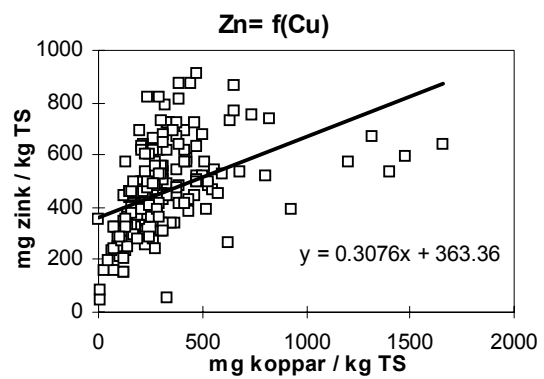
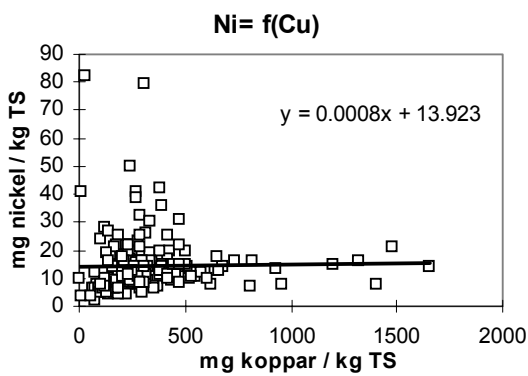
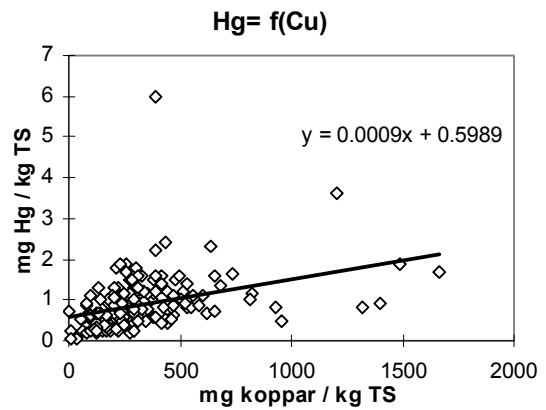
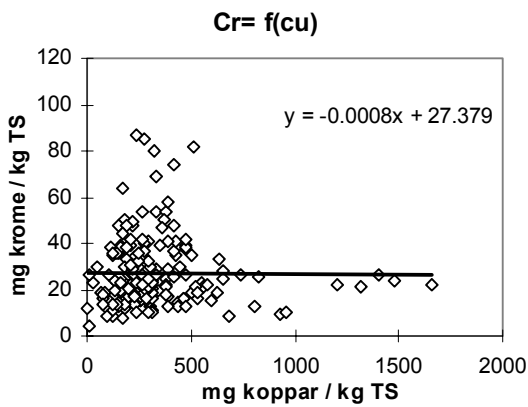
Samband mellan bly och förekomst av andra metaller i avloppsvatten.

Bilaga 3:3



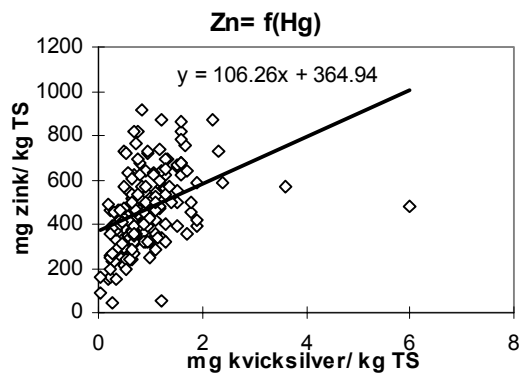
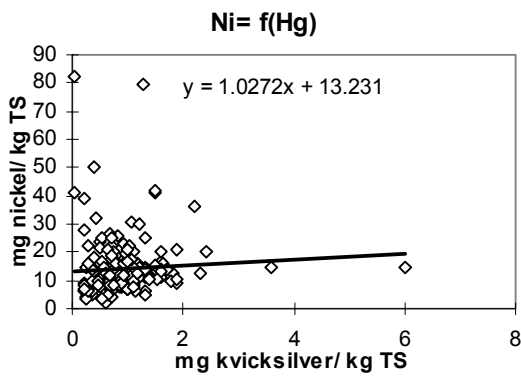
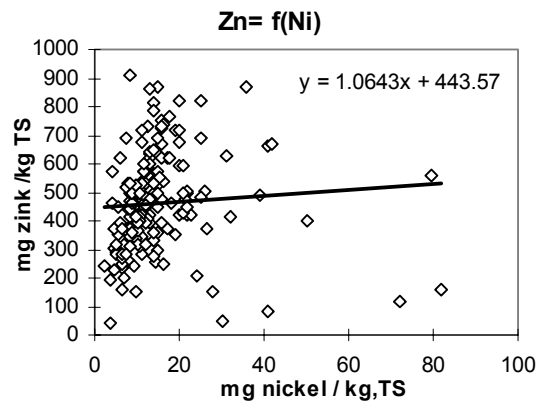
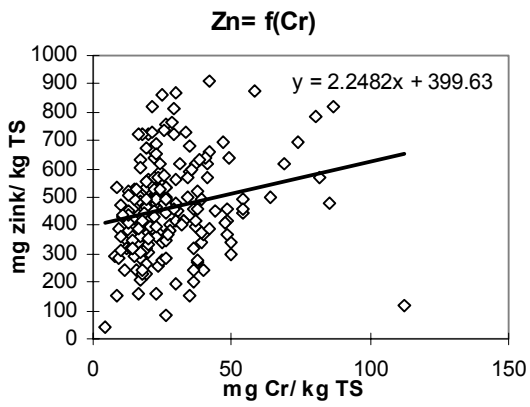
Samband mellan kadmium och förekomst av andra metaller i avloppsvatten

Bilaga 3:4



Samband mellan koppar, krom och förekomst av andra metaller i avloppsvatten

Bilaga 3:5



Samband mellan krom, nickel och kvicksilver och förekomst av andra metaller i avloppsvatten