



SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET
UPPSALA

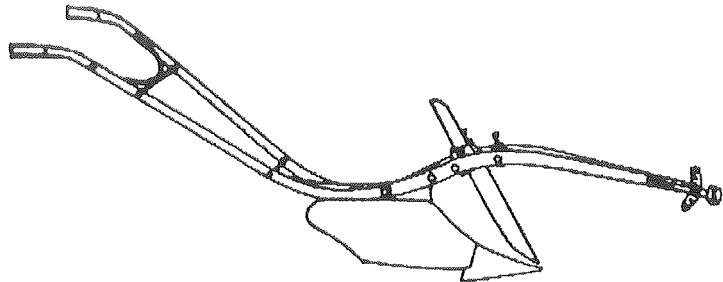
INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,
S-750 07 Uppsala

Department of Soil Sciences

Bulletins from the Division of Soil Management



Nr 19

1995

Anna Lena Carlsson

**NÄRING, KADMIUM OCH BAKTERIER I
HUSHÅLLSAVLOPP - EN FÄLTSTUDIE AV
ETT URINSORTERANDE AVLOPPSSYSTEM
MED LECABÄDD I ÖSTHAMMAR**

Plant nutrients, cadmium and bacteria in household wastewater - A field study of a urine separation system combined with a leca-filter in Östhammar

ISSN 1102-6995

ISRN SLU-JB-M--19--SE

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för jordbearbetning

Meddelanden från jordbearbetnings-
avdelningen. Nr 19, 1995
ISSN 1102-6995
ISRN SLU-JB-M--19-SE

Anna Lena Carlsson

**Näring, kadmium och bakterier i hushållsavlopp -
En fältstudie av ett urinsorterande avloppssystem
med lecabädd i Östhammar**

*Plant nutrients, cadmium and bacteria in household
wastewater - A field study of a urine separation system
combined with a leca-filter in Östhammar*

FÖRORD.....	1
SAMMANFATTNING	2
1.INLEDNING	3
Bakgrund.....	3
Syfte.....	4
Omfattning.....	4
2.LITTERATURSTUDIE	5
Enskilda avlopp, systemlösningar.....	5
Vad är ett enskilt avlopp?.....	5
Vanliga anläggningstyper för enskilda avlopp	5
Slamavskiljare - funktion och reningsgrad	6
Markbäddar - funktion och reningsgrad	7
Urinsortering.....	9
Urinsortande toaletter	9
Växtnäringsinnehåll i humanurin, slam respektive spillvatten	9
Humanurin	11
Slam.....	13
Spillvatten	13
Mängd kväve, fosfor och kalium i hushållsavlopp	13
Kadmiuminnehåll i humanurin, slam respektive spillvatten.....	15
Bakterieinnehåll i humanurin, slam respektive spillvatten.....	15
Humanurin	15
Slam.....	16
Spillvatten	16
3.FÄLTSTUDIE.....	17
Bakgrund.....	17
Material och metod.....	17
Beskrivning av avloppssystemet.....	17
Provtagning	18
Analyser	20
Vattenflödet genom hushållen.....	21
Toalettens vattenförbrukning.....	21
Fakta om de urinsortande toaletterna.....	22
Fakta om lecabädden	22
Fakta om hushållen.....	24
4.RESULTAT.....	25
Hushållsavloppets innehåll av växtnäring m m	25
Urin	25
Slam.....	26
Spillvatten	26
Växtnäringsmängd och fördelning	27
Kadmiuminnehåll i hushållsavloppet.....	29
Urin, slam och spillvatten	29
Bakterieinnehåll i hushållsavloppet.....	29
Urin	29
Spillvatten	29
Lecabäddens reningsförmåga	30
Reduktion av växtnäringsämnen, organiskt material, bakterier samt klorid.....	30
Övriga observationer av lecabädden.....	33
Hushållens vattenförbrukning.....	33
Diskussion av resultat.....	33
Producerad mängd urin m m	33
Högt växtnäringsinnehåll	34
Fördelningen av växtnäring visade att urinsorteringen inte fungerade	34
Vad hände med urininnehållet under lagring?	34
En stor andel fosfor fastnade i slamavskiljaren	35

	Kadmiuminnehållet i avloppet.....	35
	Bakterieinnehållet i urin och spillvatten	36
	Lecabäddens reningsgrad.....	36
	Avloppssystemets reningsförmåga och grad av återförsel.....	37
5.	DISKUSSION.....	39
	Växtnäringsinnehåll i hushållsavlopp - kunskapsläget idag	39
	Markbäddars reningsförmåga	39
	Ska vi införa urinsorteringssystem?.....	40
6.	SLUTSATSER	42
7.	SUMMARY.....	43
8.	REFERENSER	44
	Litteraturförteckning	44
	Muntliga referenser.....	45
9.	BILAGOR.....	46
	Bilaga 1. Analysdata	46
	Urin - färsk respektive lagrad	46
	Slam.....	47
	Spillvatten	48
	Bilaga 2.....	48
	Analysmetoder samt mätosäkerhet för kemiska parametrar i urin, slam samt spillvatten	49
	Bilaga 3.....	51
	Beräkningsgång för uträkning av växtnäringsmängder i färsk urinlösning, slam respektive spillvatten.....	51

FÖRORD

Det Du nu håller i din hand är ett examensarbete gjort på agronomlinjens mark/växtinriktning vid Sveriges lantbruksuniversitet. Examensarbetet har gjorts på uppdrag av Östhammars kretsloppsverk och omfattar 10 poäng. Östhammars kretsloppsverk är en projektgrupp där människor inom olika yrkesgrupper samarbetar för att söka lösningar på avloppsproblemen i kommunen. Målet är att skapa fruktbara lösningar mellan jordbruk och samhälle och därigenom förbättra kretsloppen. I gruppen ingår bl a lantbrukare i Östhammar, tjänstemän på kommunen i Östhammar, en konsult inom kretsloppsanpassad VA-teknik samt forskare vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala.

Många kommuner vill idag införa urinsorterande avloppssystem men kunskapen om hur dessa system egentligen fungerar är knapp. Min förhoppning med denna rapport är att bringa lite klarhet kring urinsorteringen, att peka på var vi behöver sätta in resurser, var bristen och styrkan ligger i detta system. Det här med kretslopp är svårt! Alla har vi olika definitioner på vad som innefattas i ett sådant och ideer om på vilket sätt vi ska nå dit. I mitt kretsloppssamhälle är det viktigt att växtnäringen i det vi människor avger ska tillbaka till sitt ursprung, nämligen åkern.

Jag vill tacka alla som bidragit till mitt examensarbete med råd och information. Ett särskilt stort tack till min handledare Susanne Johansson för vägledning och uppmuntran. Tack även till Staffan Steineck för språkgranskning och ännu mer uppmuntran och Peter Ridderstolpe för hjälp med planläggning och viss provtagning. Sist men inte minst riktar jag ett tack till er som stod för de "små och stora undren"; Ulrika, Daniel och Mikael samt Rolf Arvidsson som bestämde sig för att installera detta urinsorterande system. Dessutom vill jag tacka Stiftelsen för Oscar och Lili Lamms minne för ekonomiskt bidrag för examensarbetet.

SAMMANFATTNING

Med de avloppslösningar vi har för enskilda avlopp recirkuleras inte växtnäringsämnen från hushållen till jordbruket utan de läcker istället ut i naturen. Synliga bevis för detta är övergödning av grundvatten, sjöar och hav. Samtidigt som detta sker kräver jordbruket en fortsatt tillförsel av näringsämnen för att hålla livsmedelsproduktionen uppe. Utmaningen vi står inför idag är att hitta avloppslösningar som möjliggör recirkulation av näringsämnen från hushållen till jordbruket, att sluta kretsloppen, till gagn för alla parter.

I Uppland installerades hösten 1993 ett avlopp med urinsorterande toaletter och en innesluten lecabädd för två hushåll. Det som skilde denna lecabädd från en vanlig markbädd var en fiberduk överst i bädden för ökad infiltration samt ett lager med lecakross för fosforupptag. Då lecakrossen blivit mättad på fosfor ska den användas som gödselmedel i jordbruket. Syftet med denna studie var att utvärdera detta avloppssystem. Utvärderingens ena del bestod i att kartlägga mängder och fördelning av spillvattnets innehåll av växtnäringsämnen, kadmium och sjukdomsalstrande bakterier. Den andra delen av utvärderingen gick djupare in på lecabäddens reningsförmåga. Viktiga aspekter vad gäller bäddens rening var reduktionen av fosfor, kväve, sjukdomsalstrande bakterier samt organiskt material. Under sju veckor, perioden maj till juli, provtogs avloppets olika delar; färsk och lagrad urin, innehållet i slamavskiljare och spillvatten in i och ut ur lecabädd. Hushållens vattenförbrukning mättes också.

Studien visade att växtnäringsinnehållet i hushållspillvattnet generellt var högre än de schablonsiffror som Naturvårdsverket anger i Sundbergs (1995) rapport. Innehållet av kväve var enligt undersökningen ca 10% högre, fosfor ca 30% högre medan kalium var ca 10% lägre än schablonsiffrorna. Innehållet av kadmium i spillvattnet var lågt. Fosforandelen i slammet var betydligt högre än vad tidigare litteratur angivit. Anläggningen sorterade bara ifrån ca hälften av urinen, troligen beroende på "felprickning" och toalettens utformning. Vad gäller lecabädden renade den kväve, organiskt material och sjukdomsalstrande bakterier lika bra som en markbädd. Fosforreduktionen var däremot lägre än hos en markbädd. Slutsatserna man kan dra från denna undersökning är att spillvattnet från ett hushåll varierar väldigt mycket beroende på vem som ingår i hushållet och dennes kostvanor. Urinsortering möjliggör recirkulering av växtnäring, men det är helt avgörande att man använder toaletten som det är tänkt, annars är det inte något sorterande system. Förutsättningarna för att använda humanurin som växtnäringskälla i jordbruket är goda då växtnäringsinnehållet är högt och kadmiuminnehållet är lågt. Lecabädden fungerar inte tillfredsställande ännu och behöver vidareutvecklas.

1. INLEDNING

Bakgrund

Av de växtnäringsämnen som jordbruket levererar till hushållen, i form av livsmedel, återfinns 60-70% i toalettavfallet (Jönsson, 1994). Leveransen av växtnäring åt andra hållet, dvs från hushållen tillbaka till jordbruket, är däremot väldigt liten. Den näring som idag förs tillbaka till odlingsmarken gör det i form av avloppsslam från reningsverk och slambrunnar. Från hushåll med egen avloppsrening, så som enskilda avlopp, förs en obetydlig del av näringen tillbaka till jordbruket. Avloppsrening för hushåll på landsbygd sker via slambrunn och markinfiltration/markbädd och konstruktionen hos infiltrationsanläggningar och markbäddar omöjliggör återcirkulation. Dessutom är det osäkert hur bra markbäddar renar spillvattnet från kväve och fosfor (Johansson, 1993). Den största andelen näringsämnen från landsbygden läcker istället ut i naturen och orsakar miljöproblem i form av övergödning av grundvatten, sjöar och hav. Återförslagen av växtnäring från hushåll kopplade till avloppsreningsverk är högre då reningsverken binder en högre andel växtnäringsämnen i slammet och det är just slamfraktionen som idag är möjlig att återföra. I slammet binds ca 95% av inkommande fosfor och ca 20-25% av kvävet (Pettersson, 1994). Slam från reningsverk är fosforrikt men innehåller tyvärr även tungmetaller och organiska föreningar från industrin och från kemikalier som människan gör sig av med via avloppet. Idag återförs endast ca 25% av allt slam till åkermarken (SCB, 1992) huvudsakligen till följd av Arlas bojkott mot att sprida slam på åkermark på grund av slammets innehåll av oönskade ämnen. En diskussion om att ta bort bojkotten förs idag mellan olika intresseparter, däribland Arla.

Samtidigt som vattendragen växer igen och näringsrikt slam ansamlas på soptipporna kräver jordbruket fortsatt tillförsel av näringsämnen för att hålla livsmedelsproduktionen uppe. Då de enskilda avloppens andel av det totala fosforutsläppet till naturen är betydande, och jordbruket är i kontinuerligt behov av samma fosfor vore det en lämplig lösning att förena dessa två. Ett första steg i att skapa ett recirkulerande system är att återföra den näring som finns i enskilda avlopp till odlingsmarken. Ungefär 1,1 miljoner svenskar bor på landsbygden och har eget avlopp (Norman, muntl, 1995). En fördel med att börja med de enskilda avloppen är att de ofta är belägna i närheten av jordbruksmark. Korta avstånd innebär korta transporter och enklare hantering, något som bör vara fördelaktigt både ur miljömässig och ekonomisk synpunkt. En annan fördel är att slammet från enskilda avlopp vanligen är renare från tungmetaller och organiska ämnen än slam från reningsverk.

Vi har alltså kommit till ett steg då vi i avloppslösningarna måste ta hänsyn till resursutnyttjande och kretsloppstänkande. Samtidigt är det viktigt att inte tappa bort två andra bitar, nämligen hygien och miljöpåverkan. På initiativ av Östhammars kretsloppsverk har man i Östhammars kommun därför installerat ett nytt sorts avloppssystem för enskilda avlopp i två hushåll där man integrerar dessa kriterier.

Syfte

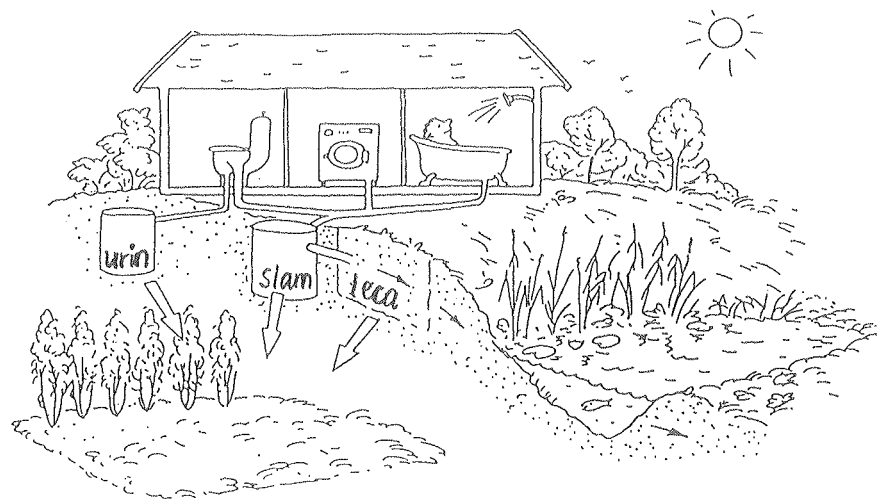
Syftet med detta examensarbete är att utvärdera en avloppslösning med urinsorterande toalett, slamavskiljare och innesluten lecabädd, med avseende på kväve, fosfor, kalium, kadmium och sjukdomsalstrande bakterier. Avloppets konstruktion ska möjliggöra återförsel av växtnäring till jordbruket (figur 1).

Frågor som jag tar upp i detta arbete är bl a

- Hur ser näringsflödet från ett hushåll ut? Hur mycket näring kommer det från ett hushåll? Hur stor del av näringen hamnar i urintank, slamavskiljare, markbädd respektive recipient? Hur mycket kväve avgår vid lagring?
- Vilka kadmiumhalter är det i ett enskilt avlopp?
- Hur effektiv är reningen i denna typ av avloppslösning med avseende på närsalter, organiskt material och sjukdomsalstrande bakterier?

Omfattning

Detta arbete omfattar en litteraturstudie och en fältstudie. I litteraturstudien ingår växt-näringsinnehåll i olika typer av avlopp och dess fördelning. I fältstudien undersöker jag flöden och mängder av kväve, fosfor, kalium, kadmium och sjukdomsalstrande bakterier i spillvatten från ett hushåll med enskilt avlopp.



Figur 1. Examensarbetets syfte var att utvärdera ett hushållsavlopp med avseende på näring, kadmium och sjukdomsalstrande bakterier. Avloppet var konstruerat för att möjliggöra återförsel av växtnäring, i form av urin, slam och lecakross, till jordbruket.

2.LITTERATURSTUDIE

Enskilda avlopp, systemlösningar

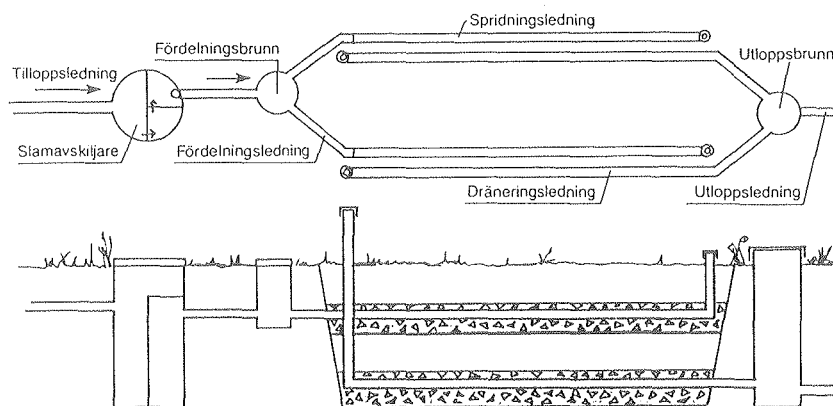
Vad är ett enskilt avlopp?

Till hushåll med enskilt avlopp räknas hushåll vars avlopp är kopplat till en avloppsanläggning i närheten och inte till något reningsverk. Ca 1,1 miljoner svenskar har enskilt avlopp kopplat till sitt permanentboende. Därtill kommer ca 600 000 fritidshus med egna avloppssystem (Norman, muntl, 1995).

Avloppsvatten är egentligen ett samlingsnamn för spillvatten, dagvatten och dräneringsvatten. Det man i ett hushåll "producerar" är spillvatten och hit räknas bad-, disk- och tvättvatten (benämns vanligen BDT-vatten) samt vatten från wc:n. Dagvatten är regn- och smältvatten som rinner av från belagda ytor som vägar, tak o dyl. Dräneringsvatten är grundvatten som avleds i rör eller diken vid dränering av husgrunder och mark (Naturvårdsverket, 1987).

Vanliga anläggningstyper för enskilda avlopp

Det vanligaste sättet att rena spillvatten från hushåll med eget avlopp är att anlägga en slamavskiljare för mekanisk rening med efterföljande infiltrationsanläggning eller markbädd för biologisk rening (figur 2). De anläggningar som byggs idag ska enligt lag omfatta längre gående rening än slamavskiljning, exempelvis en infiltrationsanläggning eller markbädd (Miljöskyddslagen paragraf 7, Lagboken i miljörett, 1989). Det finns dock många hus som enbart har en slamavskiljare. Vid en utförd undersökning bland landets kommuner visade det sig att ca 50% av de enskilda avloppen saknade avlopps-lösning eller hade endast slamavskiljare. Siffran bygger på ca 100 000 anläggningar som ingick i undersökningen (Lind, muntl, 1995).



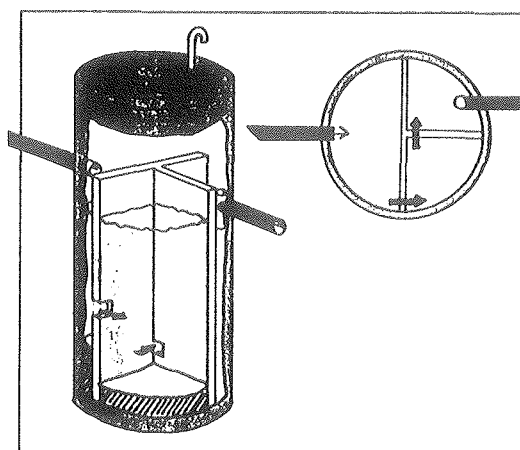
Figur 2. Principskiss över enskilt avlopp med slamavskiljare och markbädd (Naturvårdsverket, 1987).

Grundprincipen för både en infiltrationsanläggning och en markbädd är att spillvattnet renas från patogener och näringsämnen då det infiltrerar materialet i marken. På sin väg genom jordlagren fastläggs ämnen på markpartiklarna, vanligen sandpartiklar, eller upptas av mikroorganismerna. I en infiltrationsanläggning renas spillvattnet då det sipprar genom de naturliga jordlagren på platsen. För att infiltration ska kunna ske måste jorden till stor del vara en sandjord. Om jordmaterialet på platsen är alltför finkornigt så att spillvattnet får svårigheter att infiltrera genom jordlagren eller om avståndet till grundvattenytan är för litet anläggs istället en markbädd. Markbädden är en bädd av sand- och makadamlager som anläggs i marken. Det vatten som renats i bädden samlas upp i ett eller flera rör, s k utloppsledningar och leds till närmaste vattendrag. Man kan också låta markbädden fungera som en kombinerad markbädd och infiltrationsanläggning. Det renade vattnet får då infiltrera ner i jordlagren under markbädden. Detta görs t ex om enda skälet till att bygga markbädden är att jorden är alltför finkornig för att bygga en vanlig infiltrationsanläggning (Naturvårdsverket, 1987).

Slamavskiljare - funktion och reningsgrad

Funktion

Slamavskiljaren är en behållare där de grövsta partiklarna i spillvattnet avskiljs och stannar, se figur 3. Slamavskiljarens huvudsakliga uppgift är just att se till att de grova flockarna inte förs vidare till infiltrationsanläggningen/markbädden. Där skulle de annars kunna sätta igen infiltrationsytan och därmed minska reningsförmågan (Naturvårdsverket, 1987; Andersson & Nyberg, 1982). Uppehållstiden för spillvattnet i slamavskiljaren är ca 1 dygn. Under denna tid utjämnas de koncentrationsskillnader som finns i spillvattnet genom omblandning samt genom processer som sker i slamavskiljaren med slam och vatten. Nedbrytningsprocesser äger rum i det avskilda slammet, en del av de bundna mineraler som finns i slammet löses ut till vattenfasen. En stor del av kvävet mineraliserar, d v s övergår från organiskt kväve till oorganiskt (ammonium, nitrat). Efter ca ett dygn är mer än 70% av kvävet i ammoniumform (Andersson & Nyberg, 1982).



Figur 3. Slamavskiljare (Naturvårdsverket, 1987).

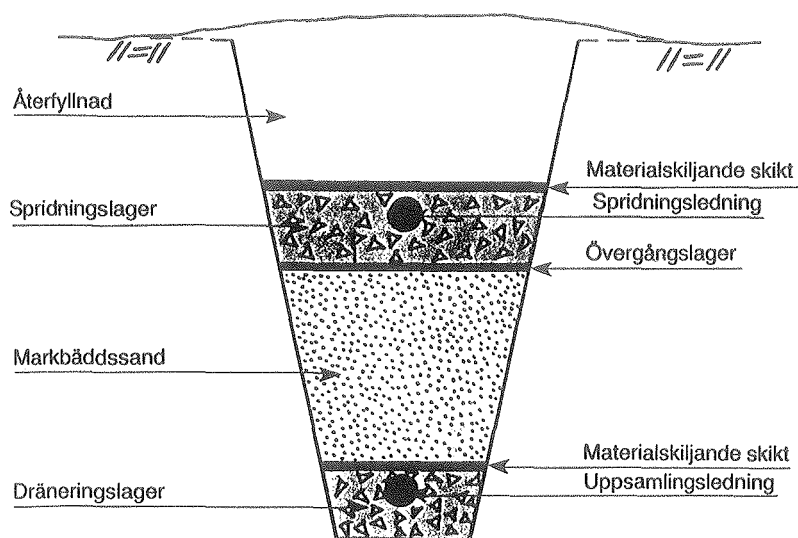
Reningsgrad

Då mineraler som är bundna till slammet till stor del tvättas ut vid den omblandning som sker i slamavskiljaren är reningen i detta steg mycket låg. Reduktionen av organiska ämnen, kväve och fosfor är vanligtvis 10 - 20%. Det mesta av näringen förs med vattnet vidare till infiltrationsanläggningen eller markbädden (Naturvårdsverket, 1987). Andersson (1992) undersökte slam från sex slamavskiljare och kom fram till att det i praktiken är den lägre siffran, 10% som gäller. Av det med spillvattnet inkommande kvävet och fosfor stannade ca 12% av kvävet och 5% av fosfor i slamavskiljaren. I studien användes dock schablonvärden för ingående kväve och fosformängder till slamavskiljaren och inte uppmätta värden vilket gör studien något osäker.

Markbäddar - funktion och reningsgrad

Funktion

Markbädden är en bädd av sand-, och makadamlager (figur 4). Det övre lagret består av makadam. Här ligger den s k spridningsledningen, ett rör med hål i, som ska sprida vattnet jämnt över bäddytan. Under detta lager finns ett lager med markbäddssand. Det är här som den huvudsakliga reningen sker. I gränsen mellan makadam- och sandskikt växer mikroorganismer till av substanser i spillvattnet. De bildar vad som kallas en biohud. I detta skikt finns tillräckligt med syre för bakterierna. Det organiska materialet bryts snabbt ner och ammoniumkvävet omvandlas till nitratkväve. På botten av bädden finns ännu ett makadamlager där utloppsledningen är placerad. (Andersson & Nyberg, 1982; Naturvårdsverket, 1987).



Figur 4. Tvärsektion av markbädd (Naturvårdsverket, 1987).

Reningsgrad

Fosforupptaget i en markbädd minskar med tiden. Detta beror på att bädden efter en tid blir "fosformättad" och inte längre har lika stor förmåga att binda fosfor. Förmodlingen beror den sämre bindningsförmågan på att bäddens vattenhalt ökar så att vattnets strömning mestadels sker i större kanaler. I och med detta minskar både kontakttiden och kontaktytan mellan spillvattnet och bäddmaterialet. Bädrens mineralsammansättning och belastning har betydelse för när denna fosformättnad inträffar (Andersson & Nyberg, 1982).

Reduktionen av fosfor i en nyanlagd bädd anses vara ca 80% och för en som varit i drift i 20 år ca 25% (Naturvårdsverket, 1987). Dessa uppskattningar baseras på mätningar i fullskalemodeller och kan variera mycket beroende på sandmaterial och belastning. De schablonvärden som används för fosforrening är 25-50%. Reduktionen av kväve är lägre och ligger på 10-40%, se tabell 1. En annan undersökning visar en lägre reningsgrad. Johansson (1993) undersökte spillvattnet som passerade markbäddar på fyra platser i Enköpings kommun. Markbäddarna var 1-16 år gamla men det visade sig att de, oavsett åldern, inte fungerade så bra. Reduktionen av kväve respektive fosfor var ca 30% (tabell 1 och 2). Resultat från en nyligen gjord sammanställning av markbäddar i 67 av landets kommuner indikerar en årstidsvariation i reningsförmågan av fosfor och kväve (Aaltonen & Andersson, 1995). Åldern på bäddarna hade däremot ingen större betydelse för graden av fosforreduktion. En studie av ca 20 markbäddar gjordes under 1995 i Skåne och Uppland (Nyberg, muntl, 1995). De preliminära resultaten därifrån pekar på en högre reningsgrad än de Johansson fann i sin undersökning.

Reduktionen av organiskt material är betydligt högre, för BOD (Biochemical Oxygen Demand) 85-95% och för COD (Chemical Oxygen Demand) 90-99% (tabell 1) (Naturvårdsverket, 1987). BOD och COD är mått på hur mycket syre som åtgår vid nedbrytning av det organiska materialet.

Tabell 1. Ungefärliga reduktioner i en markbädd

Referens	Ungefärlig reningsgrad			
	BOD (%)	COD (%)	Totalkväve (%)	Totalfosfor (%)
Naturvårdsverket (1987)	85-95	90-99	10-40	25-50
Johansson (1993)	-	-	30	30-40
Aaltonen & Andersson (1995)*	-	-	44 (maj-sep) 16 (okt-apr)	61 (maj-dec) 38 (jan-apr)

* = gäller markbädd för minst 25 personer. Sammanställning av provtagningar från 67 kommuner. Olika provtagningsmetoder har troligen använts vilket ger något osäkra värden.

Tabell 2. Fosforreduktion i markbäddar beroende av ålder

Referens	Markbäddens ålder			
	0-5 år	5-10 år	10-17 år	10-20 år
Naturvårdsverket (1987)	80%	50%		25%
Johansson (1993)	33%	38%	0 resp 27%	-
Aaltonen & Andersson (1995)	51%	47%	46%	-

Urinsortering

Växtnäringsämnen flödar från jordbruk till samhälle i form av livsmedel för oss människor. Av den näring som levereras från jordbruket hamnar en del som spill i förädlingsledet, t ex slakteriavfall, och en del i hushållens sop- och avloppsfraktion. Den största delen ca 60-70% av den näringsmängd som lämnar jordbruket återfinns i toalettavfallet vilket gör denna fraktion intressant att ta tillvara ur växtnärings synpunkt. En avskiljning av toalettavloppet från det övriga spillvattnet diskuteras nu, och vidare att skilja urin och fekalier åt. Jönsson (1994) är en förespråkare av att urin ska användas som växtnäringskälla inom jordbruket. Han ser många fördelar med att använda humanurin som växtnäringskälla:

- urin innehåller lättillgänglig och välbalanserad näring
- andelen miljöföroreningar i humanurin är låg
- den innehåller normalt få sjukdomsalstrande patogener
- humanurin kan lätt hanteras med den utrustning som redan finns inom jordbruket, exempelvis för spridning

Jönsson beräknar att humanurin från Sveriges befolkning kan ersätta i storleksordningen 20-25% av den handelsgödsel som användes i Sverige 1993 om urinens samtliga näringsämnen återförs. Man bör dock hålla i minnet att en del av kvävet riskerar att gå förlorat som ammoniak vid hantering och spridning.

Urinsorterande toaletter

Det finns en del synonyma uttryck inom "urinbranschen" som kan verka förvirrande. Urinseparering är det namn som från början användes när man menade att avskilja urin från fekalier. Med urinseparering menas också en teknik där man med hjälp av centrifugalkraften separerar vätska (urin) från fasta partiklar (fekalier) i en kammare strax under toalettstolen, exempel på ett sådant system är Aquatronen. Avskiljningen kan också göras utan denna separeringsteknik. Många har därför istället börjat använda orden urinsortering och källsorterad urin. Bägge dessa står för samma sak; nämligen att man redan i toalettstolen sorterar urin och fekalier.

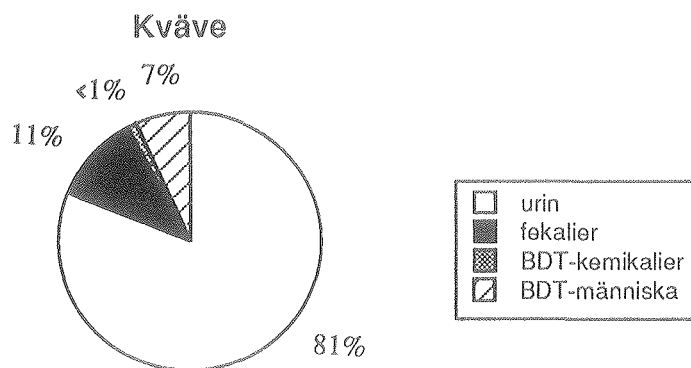
De urinsorterande toaletter som finns på marknaden är av olika slag. Det finns toaletter av plast och av porslin, med eller utan separat fekaliekärl, enkelspolande och dubbelspolande, golvstående och vägghängda. I min undersökning användes en dubbelspolande toalett. Utförligare beskrivning av denna finns i avsnittet *Material och metoder*.

Växtnäringsinnehåll i humanurin, slam respektive spillvatten

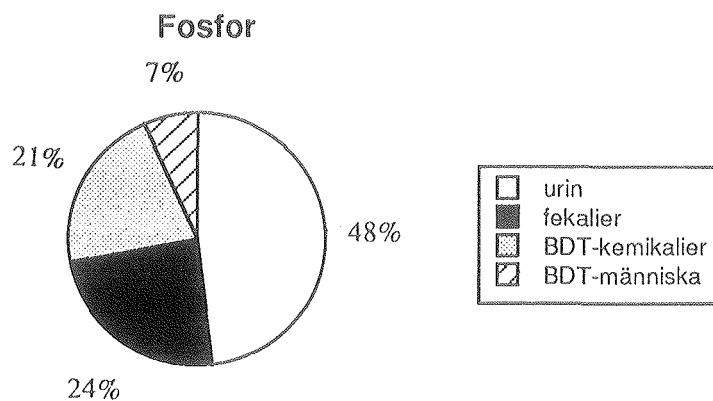
Den litteratur som rör växtnäringsinnehållet i mänsklig urin och avföring är begränsad. Det som finns att tillgå är undersökningar mestadels baserade på utländska försök från 1930- till 1960-talet. En av de "tyngre" litteratursammanställningarna är Ciba Geigys tabellverk. En del resultat däri bygger troligen på insamlad urin och fekalier från en mycket begränsad grupp människor, t ex sjukhuspatienter med en reglerad kost (Kärroman, muntl, 1995). Naturvårdsverket har med Sundberg (1995) som författare

nyligen beräknat schabloner för mängden näringsämnen som finns i avloppsvatten. I mitt arbete jämför jag mina värden med dessa schabloner.

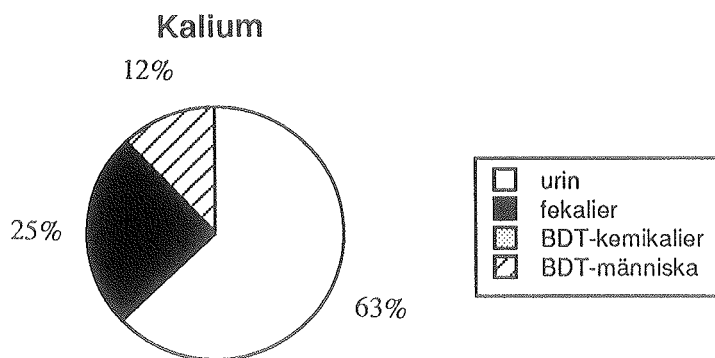
I urin återfinns den största andelen näringsämnen från människan. Endast en mindre del återfinns i fekalerna (Sundberg, 1995; Wolgast, 1992; Ciba Geigy, 1981). Den exakta fördelningen av näringsämnena beror på den tekniska utformningen av avloppssystemet. Grovt räknat menar de flesta författare att av det totala näringsinnehållet i hushållsavloppet finns ca 80% av kvävet, ca 50% av fosfor och ca 60% av kalium i urinen (figur 5-7). Det finns dock växtnäringsforskare som ifrågasätter den gängse uppfattningen om andelen växtnäring i urin jämfört med fekalier och menar att fosforandelen i fekalier är ännu större (Steineck, muntl, 1995). Näringsinnehållet i urin och fekalier beror till stor del på kosthållningen, där en proteinrik kost ger högre kvävemängder än en proteinfattig (Dalhammar, 1995). En kost med mycket vegetabilier ger högre kaliummängder än en med liten andel vegetabilier (Steineck, muntl, 1995).



Figur 5. Fördelningen av kväve mellan olika fraktioner i spillvatten, Sundbergs (1995) schablonvärden.



Figur 6. Fördelningen av fosfor mellan olika fraktioner i spillvatten, Sundbergs (1995) schablonvärden.



Figur 7. Fördelningen av kalium mellan olika fraktioner i spillvatten, Sundbergs (1995) schablonvärden.

Humanurin

Urin består normalt av vatten, oorganiska salter, kväveinnehållande organiska ämnen och organiska ämnen utan kväveinnehåll. Av växtnäringssämnen är det främst kväve, kalium, fosfor och svavel som dominerar (Dalhammar, 1995). Humanurinens innehåll av kväve, fosfor och kalium, enligt några olika referenser, finns sammanställda i tabell 3 och 4 nedan.

Tabell 3. Växtnäringssinnehåll i humanurin (g/pd = gram per person och dygn)

Referens	Kväve	Fosfor	Kalium
	g/pd	g/pd	g/pd
Dalhammar (1995)	9-20	0.7-2	1.3-3.0
Sundberg (1995)	7.5-13.3	0.8-1.2	1.32-2.77
valt schablonvärde	11	1	2.5
Wolgast (1993)	15.3	1.1	2.7
Geigy Scientific Tables (1981)	11.5	0.2-2.0	2.7
West m fl (1966)	13.2	1.0	2.5
Hellström & Kärman (1995)	13	1.0	ingen uppgift

Tabell 4. Innehåll av kväve, fosfor och kalium i humanurin. Värdena i tabell 3 är i denna tabell omräknade till årsbasis (kg/p*år = kilogram per person och år)

Referens	Kväve	Fosfor	Kalium
	kg/p*år	kg/p*år	kg/p*år
Dalhammar (1995)	3.3-7.3	0.3-0.7	0.5-1.1
Sundberg (1995)	2.7-4.8	0.3-0.4	0.48-1.01
valt schablonvärde	4.0	0.4	0.9
Wolgast (1993)	5.6	4.0	1.0
Geigy Scientific Tables (1981)	4.2	0.07-0.7	1.0
West m fl (1966)	4.8	0.4	0.9
Hellström & Kärman (1995)	4.7	0.4	ingen uppgift

Koncentrationen av ämnen i urin varierar

En frisk person utsöndrar normalt 1-1,5 l urin varje dag, men volymen varierar beroende på bl a föda, dryck och yttertemperatur (Dalhammar, 1995). Hellström & Kärman (1995) har i en nyligen utförd undersökning i Sverige kommit fram till den högre siffran, 1,5 l.

En del litteratur anger växtnäringsinnehållet i enheten mg/l. Denna enhet är svår att använda vid jämförelser då urinens koncentration varierar mellan olika människor. I toaletten späds dessutom urinen med spolvatten. Olsson (1995) mätte växtnäringsämnen i lagrad humanurin från sju urinsorterande system. Resultaten visar en stor variation i koncentrationer beroende på olika stor spädnings med spolvatten. Kvävehalterna varierade mellan 0,30-4,67 g/l, fosfor mellan 0,04-0,72 g/l och kalium mellan 0,10-1,37 g/l.

Risk för kväveavgång

Urin innehåller mycket lättillgänglig växtnäring. Det är bra när man gödslar i växande gröda. Baksidan av myntet är att kvävet, som finns i störst mängd, är väldigt flyktigt. Vid lagring av urin förlorar vi kväve i form av ammoniak. Kvävefraktionen i färsk urin består till största delen av urea. Denna urea omvandlas vid närvaro av enzymet ureas, som finns i bakterier, till ammonium samt bikarbonat och hydroxid enligt reaktionsformeln nedan. Detta får till följd att ammoniak bildas och pH höjs (Dalhammar, 1995). Hur stor denna ammoniakavgång blir beror av luftkontakt. Vid stort luftutbyte blir kväveförlusten större än vid litet luftutbyte (Claesson & Steineck, 1991).



I dagsläget finns inte någon litteratur som tar upp hur mycket kväve som avgår från urintankar med humanurin. Det man istället kan gå efter är siffror från täckta urinbehållare för nötboskap. Kväveavgången från brunnar för djururin som är försedda med tättslutande lock är ca 7-8% (Claesson & Steineck, 1991).

Slam

Den växtnäring som finns i dagens slam från enskilda avlopp härstammar både från urin, fekalier och BDT-vatten. Det är svårt att exakt skatta vilken andel av växtnäringen i slammet som kommer från urin, fekalier respektive BDT-vatten. Jag återger här litteraturvärden på näringsinnehållet i slam och spillvatten. Värden för innehållet i fekalier och BDT-vatten kan ses i den sammanfattande tabell som finns i slutet av detta stycke under rubriken *Mängd kväve, fosfor och kalium i hushållsavlopp*.

Andersson (1992) och Steineck & Salomon (1992) har undersökt slam i slamavskiljare från fyra respektive fyrtiosju enskilda avlopp (tabell 5). Halten fosfor i slam från avloppsreningsverk är högre än i slam från enskilda avlopp. Detta beror på att man i reningsverk renar spillvattnet genom att kemiskt fälla fosfor som då stannar i slammet.

Tabell 5. Växtnäringsinnehåll i slam från enskilda avlopp

Referens	Kväve	Fosfor	Kalium
	g/kg TS	g/kg TS	g/kg TS
Andersson (1992) (4 enskilda avlopp)	49	7.3	5.1
Steineck & Salomon (1992) (47 enskilda avlopp)	42	9	5.6

Spillvatten

Wolgast (1994) undersökte spillvatten från fyra enskilda avlopp, kopplade till fem hushåll. Fosforinnehållet var ca 1,1g/pd, vilket uträknat på ett år blir 0,40 kg fosfor/p*år. Kväve och kalium analyserades inte i undersökningen.

Mängd kväve, fosfor och kalium i hushållsavlopp

Sundbergs (1995) schablonvärden ger ett genomsnittligt växtnäringsinnehåll i avloppsvatten från hushåll på ca 4,9 kg kväve/p*år, 0,76 kg fosfor/p*år och 1,5 kg kalium/p*år (tabell 6). Andersson (1992) räknade genom en omfattande litteraturgenomgång fram att en person per år producerar 5,9 kg kväve, varav 5,3 kg i urin + fekalier, och 1,2 kg fosfor, varav 0,5 kg i urin + fekalier. Hennes resultat ligger högre vad gäller både kväve- och fosforutsöndringen jämfört med de schablonvärden som Naturvårdsverket anger i Sundbergs (1995) rapport.

Tabell 6. Växnäringsmängder i hushållsavlopp, från Sundberg (1995)

	Kväve		Fosfor		Kalium	
	g/pd	kg/p*år	g/pd	kg/p*år	g/pd	kg/p*år
Urin	11.0	4.01	1.0	0.36	2.5	0.91
Fekalier	1.5	0.55	0.5	0.18	1.0	0.36
BDT-vatten - kemikalier	mkt lågt		0.44	0.16		
BDT-vatten - människa	1.0	0.36	0.15	0.05	0.5	0.18
Summa	13.5	4.9	2.09	0.76	4.0	1.5

Ett sätt att ta reda på om litteraturvärdena är rimliga är att jämföra dem med vårt intag av näringsämnen via födan. Hos vuxna människor borde intaget av kväve, fosfor och kalium vara ungefär lika stort som utsöndringen av detsamma. När man slutat växa sker ingen inlagring av näringsämnen. På livsmedelsverket (Becker & Robertsson, 1994) har man undersökt näringsinnehållet i svenskens födointag (tabell 7). Studien bygger på statistik från Jordbruksverket om försålda livsmedel 1989-92. Kväveintaget via kosten, 4,7 kg/p*år, stämmer väl överens med de schablonvärden för utsöndring 4,9 kg/p*år som Naturvårdsverket angett. En viss mängd kväve tillförs även hushållsavloppet via BDT-vatten i form av smuts, hudflagor, hår m m. Vad gäller fosfor kommer en betydande del från disk- och tvättmedel. Fosforinnehållet i disk- och tvättmedel har dock minskat mycket sedan slutet av 1980-talet då tillverkarna övergick till medel med lägre fosfatinnehåll. Den svenska fosforförbrukningen via tvätt-, disk- och allrengöringsmedel var 1988 ca 1,11 g fosfor/pd. 1992 hade den minskat till ca 0,44 g fosfor/pd (Sundberg, 1995; Wolgast, 1994).

Tabell 7. Intaget av näringsämnen via födan. Spill i form av skal och bortslängda rester är borträknade och har antagits vara 10% av sammantagna mängden inköpta livsmedel (Becker & Robertsson, 1994)

Referens	Kväve		Fosfor		Kalium	
	g/pd	kg/p*år	g/pd	kg/p*år	g/pd	kg/p*år
Becker & Robertsson (1994)	12.8 (0.9*14.2)	4,7	1.5 (0.9*1.66)	0.55	3.5 (0.9*3.94)	1.3

Kadmiuminnehåll i humanurin, slam respektive spillvatten

Det kadmium som finns i urin och fekalier härrör främst från födan, men kommer även från tobak. I disk- och tvättvatten kan källor till kadmiumutsläpp vara metall-föremål i disken och metallknappar som tvättas samt textiltfärg (Sundberg, 1995). Rökare och snusare får i sig betydligt högre mängder kadmium via cigaretter och snus och utsöndrar därmed mer än de schablonsiffror som anges nedan.

Enligt undersökningar utförda utomlands (Ciba Geigys tabellverk, 1981) är kadmiumhalten i humanurin i genomsnitt 2,1 ug/pd. Svenska undersökningar (Olsson, 1995; Sundberg, 1995) visar på lägre halter (tabell 8). Slam från reningsverk innehåller vanligen högre halter tungmetaller då även industriavlopp är kopplat till verken. Halterna har dock minskat sedan 1980-talet. Medelhalten för slam från 370 reningsverk var 1,4 mg kadmium/kg TS slam år 1992 (Norman, muntl, 1995).

Tabell 8. Kadmiummängder i hushållsavlopp

Fraktion	Referens	Kadmium	
		ug/pd	mg/p*år
Urin	Ciba Geigy (1981)	2.1	0.77
	Sundberg (1995) (litteraturjämf i Sverige)	0.5-1*	
Slam		mg/kg TS	
	Andersson (1992) (4 enskilda avlopp)	0.4 (intervall 0.01-0,1)	
	Steineck & Salomon (1992) (47 enskilda avlopp)	1.4	
Spillvatten		ug/pd	mg/p*år
	Wolgast (1994) (4 enskilda avlopp)	19.7**	7.2

*= beräknat värde utifrån näringsintag

**=beräknat värde utifrån mängden i mg/p*år

Bakterieinnehåll i humanurin, slam respektive spillvatten

Humanurin

Urinen hos en frisk människa är normalt steril när den utsöndras (Geigy Scientific Tables, 1981; Wolgast, 1992). Patogener kan dock finnas i urinen om toalettanvändaren har t ex urinvägsinfektion eller någon magåkomma. Den stora risken för kontaminering sker vanligtvis när urinen lämnat kroppen. Tarmbakterier kan tillföras urintanken i urinsorterande system via fekalieinblandning. Av misstag hamnar lite fekalier fel och kommer i lagringstanken för urin där tillväxt kan ske. Bakteriehåll hos lagrad urin från

urinsorterande toaletter har undersökts av Olsson (1995). Resultaten visar att halterna av E.coli var låga och överlevnaden var kort, några dagar, medan halterna av de fekala streptokockerna varierade (tabell 9). De fekala streptokockerna överlevde också betydligt längre.

Tabell 9. Halter av E.coli och fekala streptokocker i lagrad humanurin. Provtagningarna har gjorts på källsorterad humanurin från sju olika anläggningar vid två olika tidpunkter, oktober 1994 samt maj 1995 (Olsson, 1995). Cfu = colony forming units (koloniformande enheter)

Anläggning	Oktober 1994		Maj 1995		
	E.coli cfu/ml	Fekala strept cfu/ml	E.coli cfu/ml	Fekala strept cfu/ml	
A	yta	<1	7	<1	15
	botten	<1	22	<1	800
B	yta	1	4 000	<1	2 700
	botten	90	12 000	<1	13 000
C	botten	10	5 000	10	5 000
D	yta	<1		<1	<1
	botten	<1	8	<1	<1
E	yta	<1	7	<1	<1
	botten	<1	25	<1	20
F	botten	20	2 000	Ej provtagen	Ej provtagen
G	botten	<1	10	<1	64

Slam

Det finns höga halter bakterier och virus i fekalier. Halten i tarmen av fekala streptokocker är 10^5 - 10^6 /g (Naturvårdsverket, 1985). I slamavskiljaren fastnar en del av spillvattnets tarmbakterier genom sedimentation. Troligen rör det sig om ca 30-50% som fastnar i slammet i avskiljaren (Stenström, 1986).

Spillvatten

Det är viktigt att avdödningen av bakterier fungerar väl i en markbädd så att inte näraliggande yt- eller grundvatten kontamineras. De flesta tarmmikroorganismer som finns i spillvattnet kommer från fekalier i toalettavloppsvattnet. (Naturvårdsverket, 1985). Då fekalier blandas med spolvatten och BDT-vatten sker en kraftig utspädning av bakteriemängden. I ett obehandlat spillvatten är antalet E.coli ca 10^4 cfu/ml och fekala streptokocker ca 10^3 - 10^4 cfu/ml (Stenström, 1986).

I markbädden reduceras tarmbakterierna då där finns mikroorganismer och predatorer, som t ex protozoer, som konkurrerar om det organiska materialet i spillvattnet (Naturvårdsverket, 1985). Den ungefärliga reningsgraden i en markbädd är för coliforma bakterier (44°C) 95-99% (Naturvårdsverket, 1987).

3.FÄLTSTUDIE

Bakgrund

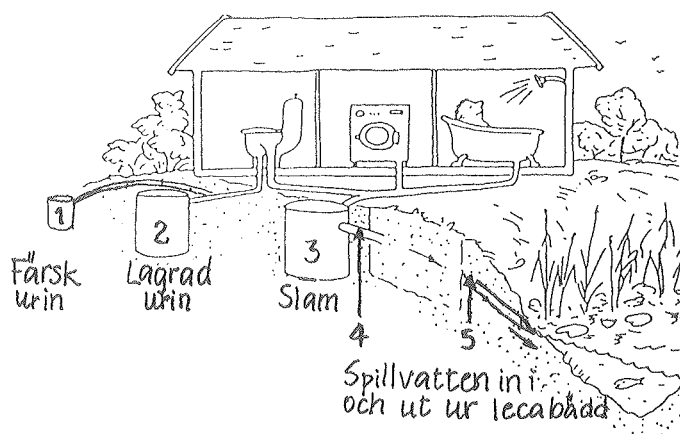
Provtagningarna gjordes på ett urinsorterande wc-avlopp för ett parhus i Östhammars kommun, Uppland. Anläggningen anlades under hösten 1993. I detta avloppssystem ingick en ny typ av markbädd med fiberduk för tillväxt av biohud samt ett lager av leca-kross för fosforfastläggning. Denna nya typ av bädd möjliggör också återföring av fosfor till jordbruket. Den nya markbädden är i sin konstruktion på många sätt lik en vanlig markbädd, men för att slippa begreppsförvirring om vilken sorts bädd jag menar benämner jag i detta arbete den nya sorten för lecabädd.

Material och metod

Beskrivning av avloppssystemet

Avloppssystemet utgjordes av tre delar: de urinsorterande toaletterna med tillhörande uppsamlingstank för urin (3 m^3), slamavskiljaren (trekamarbrunn 3 m^3) samt lecabädden med fiberduk och lecakross ($4,6 \text{ m}^2$). BDT-vatten samt fekalier från wc:n leddes till slamavskiljaren och den efterföljande markbädden. Urinlösningen från wc:n samlades i urintanken. Varken dag- eller dräneringsvatten leddes till lecabädden.

Prover togs för att kunna uppskatta de mängder kväve, fosfor, kalium, kadmium och bakterier som passerar avloppssystemet. Detta skedde genom provtagningar på systemets olika delar; i urindunken för färsk urin (1), i urintanken för lagrad urin (2), i slamavskiljaren för slam (3) och på spillvattnet in i (4) och ut ur (5) lecabädden (Figur 8). För att få reda på mängderna som cirkulerade i avloppet mätte jag även vattenflödet genom hushållen.



Figur 8. Provtagningsställen i det undersökta avloppssystemet.

Urintank

De två urinsorterande toaletterna var dubbelspolande av märket WM-Ekologen. Den avskilda urinen fördes till en liggande samlingstank som var nedgrävd i marken. Tanken var gjord av glasfiber. I toppen på tanken mynnade ett smalt plaströr med en diameter på ca 8 cm i diameter. Mynningen på röret var försedd med lock.

Urindunk

Då jag även ville jämföra färsk urin med lagrad urin i fråga om kväve- och bakterieinnehåll provtog jag färsk urin. Den färska urinen leddes via en påkopplad grenslang på huvudledningen till en plastdunk á 25 l.

Slamavskiljare

Slamavskiljaren var en liggande trekammarbrunn på 3 m³.

Lecabädd

På avloppsröret in till lecabädden borrades ett hål för att göra det möjligt att provta direkt i flaska. Mellan provtagningarna pluggades hålet igen med en gummipropp. För att kunna provta det utgående spillvattnet från lecabädden gjordes en pumpgrop. Det från bädden utgående avloppsröret mynnade i en bäck. Detta rör förlängdes med ett plaströr och i slutet av detta rör placerades en plasttunna. Det var ur denna tunna som jag tog mina prover på det utgående vattnet.

Vattenflödesmätning

En vattenmätare installerades för att mäta hushållens vattenförbrukning. För att försäkra mig om att slamavskiljare och lecabädd var täta mättes vattenvolymen ut ur bädden. Vatten som rann ut ur lecabädden och samlades i tunnan pumpades under provtagningstillfällena till en mättank med 100-litersgradering. Mättanken avlästes vid slutet av varje provtillfälle.

Provtagning

Prover på urin, slam och spillvatten togs 1995 under perioden 31/5 - 10/7. Jag valde att sprida provtagningstillfällena under en längre tidsperiod för att på detta sätt få ett säkrare medelvärde. Jag var mer intresserad av medelhalterna av kväve, fosfor, kalium och kadmium under en längre tidsperiod än av variationerna i systemet. Den färska urinen och spillvattnet provtogs sju gånger medan den lagrade urinen provogs två gånger. Slam provtogs vid ett tillfälle. Provtagningstidpunkter anges i tabell 10. Samtliga prover analyserades av KM Lab i Uppsala. Se bilaga 2 för analysmetoder.

Varje provtagningstillfälle varade i två dagar. Den första dagen kopplades grenslangen in för urinen så att den producerade urinen skulle samlas i en dunk. Även pumpen kopplades på så att vattenflödet ut ur bädden skulle samlas i mättanken. Sedan kunde provtagning ske. Den andra dagen efter genomförd provtagning kopplades grenslangen och pumpen ifrån.

De boende var under provtagningstillfällena hemma hela tiden. Med "hemma hela tiden" menas här att de arbetade under veckorna och inte var iväg på semester eller dylikt.

Tabell 10. Provtagningsstidpunkter för urin, slam respektive spillvatten

	Provtagningsdatum														
	31/5	1/6	11/6	12/6	15/6	16/6	20/6	21/6	26/6	27/6	2/7	3/7	9/7	10/7	11/7
Färsk urin		x		x		x		x		x		x		x	
Lagrad urin	x												x		
Slam															x
Spillvatten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Provtagning av färsk respektive lagrad urin

Prover togs på färsk urinlösning som samlats upp i plastdunk och på lagrad urinlösning i urintank. De uppsamlade proven förvarades i kylväska och lämnades till lab samma dag. Undantag här var prover tagna under en lördag eller söndag. Dessa prover förvarades i kylrum och analyserades efterkommande måndag. Jag valde att analysera den färska urinen oftare än den lagrade då det finns knapphändigt med material om urinens sammansättning och att variationen kan tänkas vara stor hos färsk urin beroende på vad man äter. Variationerna av bl a växtnäringsämnen i urinlösningen utjämnas troligen vid lagring i urintank.

Färsk urin

Urinprover av den färska urinlösningen togs på den urinlösning som samlats upp i plastdunken. I dunken fanns den urin som producerats av hushållen under de två dagar som varje provtagningsstillfälle sträckte sig. Vid varje provtagningsstillfälle skakades dunken något och ett prov på 1 l hölldes upp för analys. Den urin som skulle analyseras på bakterier hölldes upp på steril flaska med volymen 3 dl.

Lagrad urin

Då urintankens öppning var väldigt smal, ca 8 cm i diameter; behövdes ett speciellt vätskeupptagarinstrument för att kunna ta prover här. Detta instrument var helt enkelt en smal stång, ca 1,5 m lång med hållare för en spruta. Ett långt snöre bands i ena änden runt sprutans övre del och den andra delen av snöret fästes längs stången. Urinlösningen togs upp genom att jag drog i snöret så att sprutan fylldes med urin. Urinlösningen överfördes sedan till samma sorts provflaskor som de för den färska urinen.

Proven för bakterieanalysen tog jag innan proven för näringsanalysen. För att få ett representativt värde på växtnäringsinnehållet i den lagrade urinen pumpades lösningen runt ca 10 minuter innan provtagningen. En pump med två påkopplade slangar användes för detta. Den ena slangen placerades och sög ca 1 cm från botten och den andra stacks ner i röröppningen några dm.

Vid varje provtagningsstillfälle mättes höjden på urinlösningen med mätsticka och denna höjd räknades sedan om till en volym. Urinlösningen består av både urin och spolvatten och tanken fylls hela tiden på. Pettersson (1995) skattade andel vatten respektive urin i urintanken genom att jämföra mätvärdenas koncentrationer av fosfor, natrium och klorid i proverna med litteraturuppgifter (Geigy Scientific Tables, 1981) om utsöndring av dessa ämnen. Hypotesen är här att kroppen utsöndrar ungefär samma mängd natrium och klorid

dagligen. Utsöndringen av dessa ämnen styrs inte så mycket av födointaget utan regleras av kroppen för att få en jämn saltkoncentration.

Provtagning av slam

Prover togs ut vid slamtömning med samma metod som Andersson (1992) använde sig av. Vid provtagningen sög slambilen först upp allt slammet i bilen för att det skulle bli ordentligt omblandat. Sedan tömde han tillbaka slammet i brunnen. Under tiden detta skedde tog jag ut 10 prover á 2 dl med en skopa. Proverna slogs sedan ihop till ett samlingsprov á 2 l. Prover till ytterligare ett samlingsprov togs vid samma tillfälle. Sammanlagt analyserades två samlingsprov. Proven fraktades i kylväska till lab samma dag.

Provtagning av spillvatten

För att ta reda på vilka mängder närsalter, organiskt material och sjukdomsalstrande bakterier som reduceras i lecabädden tog jag prover på och analyserade ingående och utgående vatten. Skillnaden mellan dessa ger ett mått på reduktionen i bädden. De ingående proverna togs efter att vattnet passerat slamavskiljaren och var på väg till lecabädden. De utgående proverna togs i den provtagningsgrop som beskrivits ovan.

Provtagningen skedde vid 7 tillfällen. Vid varje sådant tillfälle togs prover på det ingående respektive det utgående spillvattnet under 2 dagar, både på förmiddagen och eftermiddagen. Sammanlagt togs fyra stycken inprover och fyra stycken utprover av respektive spillvatten vid ett provtagningsstillfälle. Proverna från de bägge dagarna slogs samman, de ingående för sig och de utgående för sig, till ett samlingsprov som analyserades. Varje provtagningsstillfälle resulterade alltså i ett samlingsprov för det ingående och ett samlingsprov för det utgående spillvattnet.

Analyser

Proverna analyserades med avseende på olika parametrar (tabell 11). Jag mätte också temperaturen hos den färska respektive den lagrade urinen samt hos spillvattnet. Analysmetoderna för de undersökta parametrarna anges i bilaga 2.

Tabell 11. Analyser gjorda på urin, slam respektive spillvatten

	Analyserade parametrar													
	Ts	pH	Tot-N	NH ₄ ⁻ N	NO ₃ ⁻ N	Tot-P	K	Na	Cl	Cd	BOD ₇	COD	E. coli	Fek. strept
Urin	x	x	x	x		x	x	x	x	x				x
Slam	x	x	x	x	x	x	x		x	x				x
Spillvatten		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Urin

I urin analyserades kväve (N), fosfor (P) och kalium (K), vilket ger besked om näringsinnehållet. Genom att mäta ammoniumkväve (NH₄-N) och pH kan jag få en uppfattning om hur stor risken för kväveavgång är. Natrium (Na) och klorid (Cl)

analyserades för att bedömma hur stor andelen spolvatten är i urinlösningen. Koncentrationen av **fekala streptokocker** uppmättes här för att se hur steril färsk och lagrad urin egentligen är. För detta ändamål har fekala streptokocker visat sig vara bättre indikatorbakterier än E-coli. E-coli avdödas snabbt vid de höga pH-värden, runt 8-9, som råder i urin.

Spillvatten

Genom att uppmäta **ammonium-** och **nitrat**halter i in- respektive utgående spillvatten får man reda på hur effektiv lecabäddens rening är och i vilken form kvävet släpps ut. Analyserna visar också om nitrifikationen fungerar i bädden. Nitrifikationen är en indikator på god aktivitet och därmed god avdödning av hälsofarliga organismer. **Fosfor**analys ger svar på hur mycket fosfor som absorberats i bädden. Det var även intressant att titta på **BOD₇** och **COD**. Dessa parametrar visar hur effektivt det organiska materialet bryts ner av mikroorganismer. **Fekala streptokocker** visar hur effektiv den mikrobiella avdödningen är. Här uppmättes även halten av **E.coli**. E.coli är den parameter som oftast används vid undersökningar av markbäddars reningsgrad av patogener. För att kunna jämföra med andra undersökningar av markbäddar använde även jag den parametern. **Klorid**halten visar om det sker något inläckage av mark-, eller ytvatten till lecabädden. Klorid passerar till största delen bädden utan att fastläggas och därför bör koncentrationen av ämnet vara lika stor i det ingående vattnet som i det utgående. Är koncentrationen lägre i det utgående vattnet beror det troligen på inläckage av annat vatten.

Slam

Här var näringshalterna och kadmiumhalten (Cd) viktiga parametrar.

Vattenflödet genom hushållen

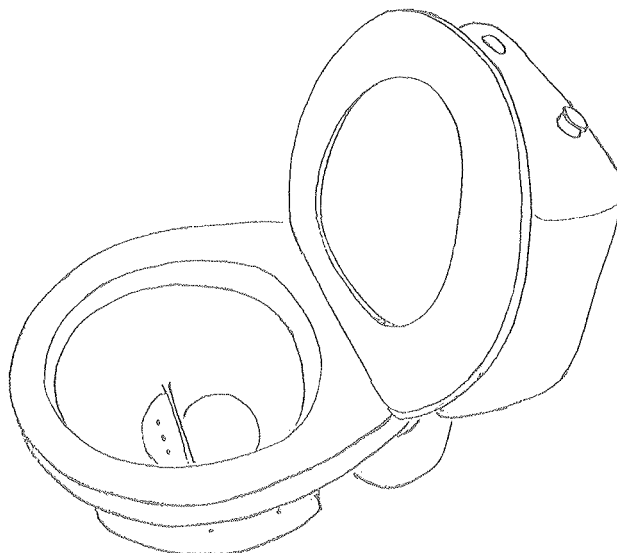
För att få reda på vilka mängder närsalter som cirkulerar i spillvattnet behövde jag få reda på vattenflödet genom hushållen. Jag mätte flödet ut ur lecabädden vid varje provtagningstillfälle och använde det flödet vid mängdberäkningarna av växtnäringsämnen m m vid respektive tillfälle. En vattenmätare installerades på ledningen för hushållens inkommande vatten. För att kontrollera att slamavskiljare och lecabädd inte läckte jämförde jag, i provtagningstillfällena om 2 dagar, flödet in i huset med flödet ut d v s till bäcken. Detta gjordes möjligt genom den pumpanordning som kopplades till mättanken. Vattenmätarens flöde lästes även av under hela perioden som provtagningarna pågick, d v s 31/5 - 10/7.

Toalettens vattenförbrukning

Enligt uppgift från tillverkaren åtgår det ca 0,1-0,2 l vatten vid urinpolning och 5-7 l vatten vid fekaliespolning (WM-Ekologen, info.blad). För att kontrollera denna uppgift installerades vattenmätare på toaletterna samtidigt som jag bad de boende att på en lista anteckna antal gånger de tryckt på lilla respektive stora knappen under varje provomgång (a` 2 dagar). Vattenåtgången beräknades vara antal tryckningar på lilla knappen multiplicerad med skattad vattenåtgång per spolning för urin- respektive fekaliespolning. Resten av förbrukat vatten antogs vara BD-vatten.

Fakta om de urinsorterande toaletterna

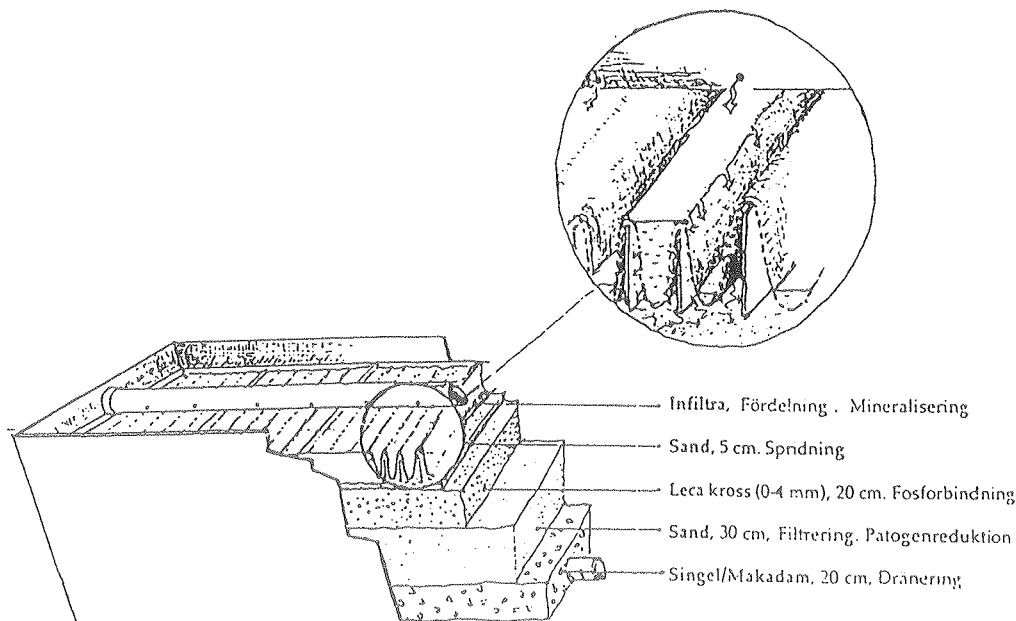
De urinsorterande toaletterna var av märket WM-Ekologen. De är av porslin och liknar en vanlig toalett förutom att det framtill strax ovanför vattenspegeln finns en upphöjning med tre små hål i (figur 9). Det är i dessa små hål som urinen ska hamna. Toaletten har två separata spolknappar för urin- samt fekaliespolning. Vid urinspolning åtgår ca 0,1-0,2 dl vatten och vid fekaliespolning ca 5-7 l vatten. Urin och fekalier förs i separata ledningar vidare till urintank respektive reningsanläggning.



Figur 9. Skiss över en dubbelspolande sorterande toalett av märket WM-Ekologen.

Fakta om lecabädden

Lecabädden har tagits fram av WM-Ekologen i samarbete med Firma Ekologisk Teknik. Bädden är i mycket lik en vanlig markbädd (figur 10). Det som skiljer är en veckad fiberduk (konstgjort infiltrationsmaterial) överst i bädden samt ett lager med lecakross (Ridderstolpe & Salomon, 1994). Fiberdukens syfte är att öka infiltrationsytan och att öka syreförsörjningen till infiltrationsytans biohud där den biologiska nedbrytningsprocessen äger rum. Denna ökade infiltrationsyta gör det möjligt att minska byggytan till 4,6 m² vilket är betydligt mindre än en ordinarie markbädds yta, ca 10-15 m². Den effektiva infiltrationsytan beräknas vara tre ggr så stor. Lagret med lecakross ska binda fosfor. Detta lager ska sedan tas upp som en slags kassett då det är mättat på fosfor, och användas som gödselmedel i jordbruket. Bädden är dimensionerad för ett normalflöde på 750 l/dygn (maxflöde 1500 l/dygn). En annan stor skillnad jämfört med en vanlig markbädd är att lecabädden är inkapslad i glasfiber för att minimera in- och utläckage. Den är också lagd ytligt för att möjliggöra provtagning.



Figur 10. Lecabäddens utformning (Ridderstolpe & Salomon, 1995).

Ett dräneringsrör placerades i lecabädden för att bädden skulle luftas och det var även nedgrävt ett dräneringsrör runt om den. Däremot var det inte något tättslutande lock på den, utan ovanpå fiberduken låg isolerskivor. Denna inte helt täta konstruktion skulle visa sig vara ... just inte helt tät vid ett häftigt regn! Efter denna händelse lades en presenning ovanpå isolerskivorna.

Bädden installerades hösten 1993. Den 31 mars 1995 byttes lecakrosslagret och fiberduken ut. Jag provtog sedan två månader efter detta. Under denna tidsperiod skulle enligt litteraturen bakterierna ha nått en jämvikt så att biohuden var fullt utvecklad och reningsprocesserna var igång.

Lecakrossen som användes i bädden var i storleksklassen 0-4 mm. Råmaterialet till lecan är finkornig kalkfattig lera som upphettas till 1200 C. Leran expanderar då och får ett hårt keramiskt skal med en inre struktur av små luftfyllda celler. pH var ca 9 i den tillverkade lecakrossen (Leca, 1994). Då leran hettas upp till ca 1200 C oxideras järn och aluminiumkomponenter och dessa är viktiga för fosforupptag i jordar (Jenssen m fl, 1991). Den bakomliggande teorin bakom lecakulorna är kolonnförsök där lecakulor använts för att fånga fosfor ur fosforrikt vatten. Laboratorietesterna indikerar att lecamaterial kan fånga upp mycket fosfor. Lecakulor i storleksklassen 0-4 mm fångade upp 10 ggr mer fosfor än den ursprungliga leran (illit och vermikulit) som leca är gjord av. Teoretiskt anser dessa forskare att fosfor kan tas upp av leca i flera decennier (Jenssen m fl, 1991).

Fakta om hushållen

I Svedden finns två hushåll. Det ena hushållet består av två personer och det andra av en person. Åldern hos de boende ligger runt 30 år. En person jobbade uppskattningsvis halva sin arbetstid i hemmet. Den andra personen jobbade natt heltid vilket innebar att han var hemma fem dagar i veckan och jobbade två dagar i veckan. Den tredje personen, kvinnan i sällskapet, jobbade heltid utanför hemmet. De tvätt-, och diskmedelssorter som användes varierade, men mest användes miljömärkta medel. Dessa produkter var så gott som fosforfria. Hushållen tvättade tillsammans ungefär 4,5 maskiner i veckan.

4.RESULTAT

Den första delen nedan behandlar avloppssystemets innehåll av växtnäring, kadmium och sjukdomsalstrande bakterier och den andra delen markbäddens funktion. Kompletta analysdata finns i bilaga 1. Beräkningsgång vid beräkningar av växtnäringsmängder i de tre fraktionerna urinlösning, slam och spillvatten visas i bilaga 3.

Hushållsavloppets innehåll av växtnäring m m

Urin

Producerad mängd urinlösning, temperatur och pH

Mängden urinlösning som producerades av de tre boende under provtagningsstillfällena uppmättes till i medeltal 2,1 l/pd (tabell 12). Variationen var dock stor mellan provomgångarna. Jag räknade även fram produktionen av urinlösning genom att skatta mängden urinlösning som runnit till urintanken under hela provperioden. Med hjälp av urintankens volym kunde höjden av urinlösningen vid provtagningarnas början och slut mätas och beräknas till en producerad mängd urinlösning. Medelvärde av den tillrunna urinlösningen enligt detta uträkningsätt var 1,5 l/pd. Andelen vatten och urin i urinlösningen beräknades till 1:1 genom att jämföra mängd natrium och klorid (g/pd) med normalvärden för utsöndrad mängd natrium och klorid (g/pd) i ren urin. Värden för utsöndrade mängder av dessa ämnen finns i Geigy Scientific Tables (1981). Den beräknade andelen urin och vatten skulle innebära att urinavsöndringen var ca 1 l/pd enligt uppmätningen av färsk urinlösning respektive 0,75 l/pd enligt uppmätning av lagrad urinlösning.

Temperaturen hos den färska urinen i dunken var kontinuerligt ca 16⁰C. Den lagrade urinen höll en lägre temperatur, runt 11⁰C. Det var ett högt pH i urinen, 8,5-9,2. Den färska urinen hade högst pH, i medeltal 9,0, jämfört med pH 8,7 i den lagrade.

Tabell 12. *Producerad mängd urinlösning, temperatur samt pH*

Provdatum	Färsk urinlösning			Lagrad urinlösning	
	Producerad mängd l/pd	Temperatur	pH	Temperatur	pH
31/5-1/6	2.0	16.5	9.0	11.0	8.9
11/6-12/6	3.0	-	9.2	-	-
15/6-16/6	1.7	16.0	8.9	-	-
20/6-21/6	3.0	-	9.1	-	-
26/6-27/6	1.2	16.5	9.1	-	-
2/7-3/7	2.2	-	8.8	-	-
9/7-10/7	1.7	16.5	8.9	11.5	8.5
Med.värde	2.1	16.4	9.0	11.3	8.7

- = ingen provtagning

Växtnäringsinnehåll

Mängd producerad kväve, fosfor och kalium i urinfractionen var ca hälften av de schablonsiffror som Sundberg (1995) anger för urin (tabell 13). Ammoniumkvävet andel av det totala kvävet var i färsk urin 63% och i lagrad 87%.

Tabell 13. Innehåll av kväve, fosfor och kalium i färsk urinlösning (värden från 7 provtagningar)

Växtnäringsämne	Färsk urinlösning	
	g/pd	kg/p*år
Kväve	5.6	2.0
Fosfor	0.4	0.15
Kalium	1.0	0.35

Avgång av kväve vid lagring

Kväveavgången från den lagrade urinlösningen var ca 4-8%. Beräkningen grundar sig på jämförelser mellan kvävehalter och natrium/kloridhalter i färsk och lagrad urin. Då natrium och klorid är ämnen som inte ska ändras nämnvärt i koncentration under lagring (ingen avgång till luften) användes dessa ämneskoncentrationer för att beräkna skillnaden i koncentration mellan färsk och lagrad urinlösning p g a större andel spol-vatten i den lagrade urinen. Den lägre kvävehalten i lagrad urinlösning utöver denna spädningseffekt ansågs vara en kväveavgång.

Slam

Växtnäringsinnehåll

Parallellproverna överensstämde väl. Det tyder på att slammet blivit ordentligt omblandat. Slammets innehåll av växtnäring visas i tabell 14.

Tabell 14. Innehåll av växtnäring i slam (värden från 2 provtagningar)

Växtnäringsämne	Slam		
	g/pd	kg/p*år	mg/kg TS
Kväve	1.3	0.48	15.5
Fosfor	0.74	0.27	8.7
Kalium	0.32	0.12	3.8

Spillvatten

Producerad mängd, temperatur och pH

Spillvattenmängden ut från lecabädden var i medeltal 116 l/pd. Temperaturen i det spillvatten som kom in i lecabädden varierade mellan 13⁰ C - 16⁰ C. Den lägre temperaturen uppmättes i början av mätperioden (maj) och temperaturen ökade sedan succesivt. Temperaturen i det utgående vattnet som samlades upp i tunnan varierade med väderleken. pH-värdet i det ingående spillvattnet låg runt 7,0. Det utgående vattnet hade ett något högre pH, 7,4.

Växtnäringsinnehåll i ingående spillvatten

Växtnäringsinnehållet i spillvattnet som kom in i lecabädden kan ses i tabell 15.

Tabell 15. Innehåll av kväve, fosfor och kalium i spillvatten efter slamavskiljning

Växtnäringsämne	Ingående spillvatten	
	g/pd	kg/p*år
Kväve	8.4	3.05
Fosfor	1.5	0.56
Kalium	2.4	0.86

Växtnäringsmängd och fördelning

De totala mängderna kväve och fosfor i det undersökta avloppssystemet var överlag högre än Sundbergs schablonvärden; kvävemängderna var ca 10% högre i undersökta hushåll och fosformängderna ca 30% högre. Kaliummängden var däremot ca 10% mindre (tabell 16 och 17).

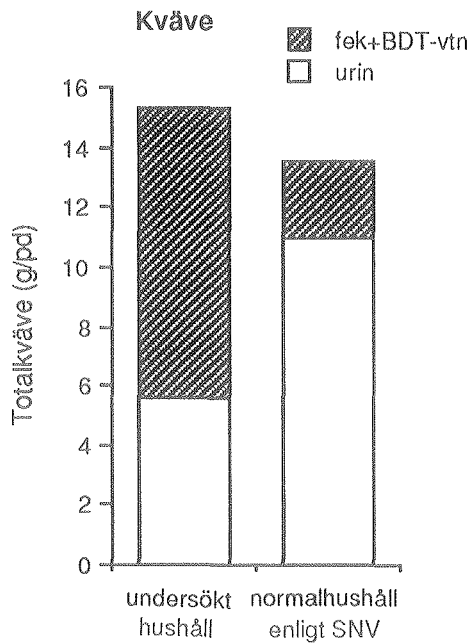
Tabell 16. Växtnäringsinnehåll i undersökt urin, slam och spillvatten. Siffror inom parentes anger urinens, slammets och spillvattnets andel av totala mängden kväve, fosfor respektive kalium i hushållsavloppet

	Kväve		Fosfor		Kalium	
	g/pd		g/pd		g/pd	
Urin	5.59	(36%)	0.41	(15%)	0.97	(27%)
Slam (=fek.+BDT-vatten)	1.32	(9%)	0.74	(28%)	0.32	(9%)
Spillvatten (=fek.+BDT-vatten)	8.37	(55%)	1.53	(57%)	2.35	(64%)
Summa	15.3		2.7		3.6	

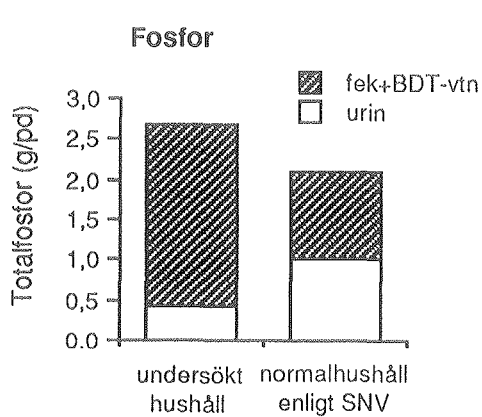
Tabell 17. Växtnäringsmängder enligt Sundberg (1995). Siffror inom parentes anger urinens, fekaliernas och BDT-vattnets andel av totala mängden kväve, fosfor respektive kalium i hushållsavloppet

	Kväve		Fosfor		Kalium	
	g/pd		g/pd		g/pd	
Urin	11.0	(ca 80%)	1.0	(ca 50%)	2.5	(ca 60%)
Fekalier	1.5	(ca 10%)	0.5	(ca 25%)	1.0	(ca 25%)
BDT-vatten	1.0	(ca 10%)	0.6	(ca 25%)	0.5	(ca 10%)
Summa	13.5		2.1		4.0	

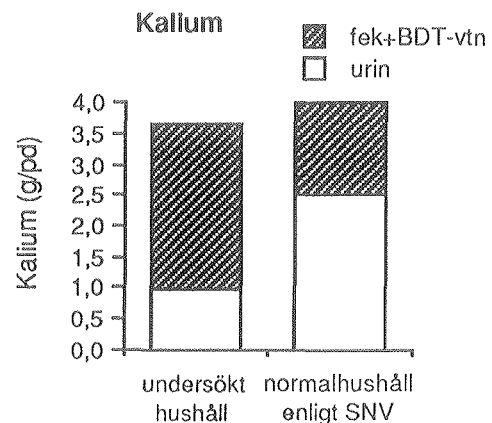
Fördelningen mellan de olika avloppsfraktionerna skiljde sig åt vilket visas i figurerna 11-13. Spillvattnet innehåller de största mängderna växtnäring. Kvävet i mina undersökta hushåll återfanns till största delen i spillvattnet, 55%, därefter i urinlösningen, 36%, samt en mindre del i slammet, 9%. Fosfor fanns också huvudsakligen i spillvattnet, 57% men där innehöll slammet en större andel, 28%, medan urinen endast innehöll 15%. Kalium hade ungefär samma fördelning som kvävet.



Figur 11. Fördelning av kväve i hushållsavlopp.



Figur 12. Fördelning av fosfor i hushållsavlopp.



Figur 13. Fördelning av kalium i hushållsavlopp.

Kadmiuminnehåll i hushållsavloppet

Urin, slam och spillvatten

Mängden kadmium i urinlösningen var liten, <0,5 ug/pd (tabell 18). Mängden är dock inte noggrannt angiven då den var lägre än detektionsgränsen för kadmium, hur mycket lägre är svårt att veta. Även kadmiummängderna i slam och spillvatten kan betecknas som små. Den största andelen kadmium fanns i slammet, 78%.

Tabell 18. Innehåll av kadmium i färsk urinlösning, slam och spillvatten. Siffror inom parentes anger urinens, fekaliernas och BDT-vattnets andel av totala mängden kadmium i hushållsavloppet

	Kadmium		
	ug/pd		mg/kg TS
Urin	<0.5	(<1%)	<0.19
Slam	42	(78%)	15.2
Spillvatten	11.6	(21%)	4.2
Summa	<54.1		19.6

Bakterieinnehåll i hushållsavloppet

Urin

Det var betydligt högre bakteriehalter i den färska urinlösningen än i den lagrade, se tabell 19. Avdödning av fekala streptokocker vid lagring var ca 98%. Provtagningarna utfördes dock inte på samma urin, dvs på färsk urin som lagrats och sedan provtagits igen, vilket gör siffran för avdödning osäker. Reduktionen har räknats fram enligt:

$$\text{reduktion} = (x_{\text{färsk}} - x_{\text{lagrad}}) / x_{\text{färsk}} * 100$$

Tabell 19. Innehåll av fekala streptokocker i färsk respektive lagrad urinlösning (medelvärden)

	Fekala streptokocker cfu/ml
Färsk urin	>279*10 ³
Lagrad urin	4.36*10 ³

Spillvatten

Inkommande spillvatten innehöll halter av E.coli på mellan 0,27*10³ - 6,3*10³ cfu/ml, med ett medelvärde på 2,0*10³. De fekala streptokockerna varierade mellan 2,5*10³ - 38*10³ cfu/ml, med ett medelvärde på 15,8*10³ cfu/ml. Dessa värden kan betecknas som normala för obehandlat spillvatten. Vanligen innehåller orenat spillvatten E.colihalter på 10⁴ cfu/ml och halter av fekala streptokocker på 10³-10⁴ cfu/ml (Stenström, 1986).

Lecabäddens reningsförmåga

Reduktion av växtnäringsämnen, organiskt material, bakterier samt klorid

I tabell 20 redovisas medelvärden för reduktionen av totalkväve, totalfosfor, kalium, BOD₇, COD, E.coli, fekala streptokocker samt klorid. Reduktionen har räknats fram enligt:

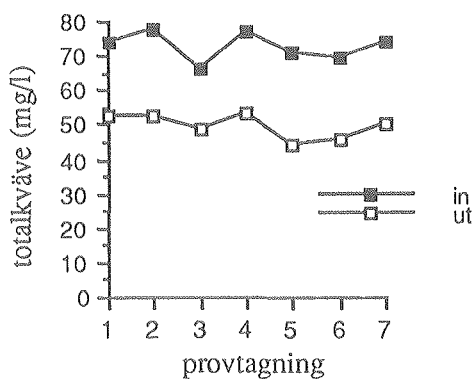
$$\text{reduktion} = (x_{\text{in}} - x_{\text{ut}}) / x_{\text{in}} * 100$$

Tabell 20. Lecabäddens reduktion av växtnäringsämnen, organiskt material och patogena bakterier

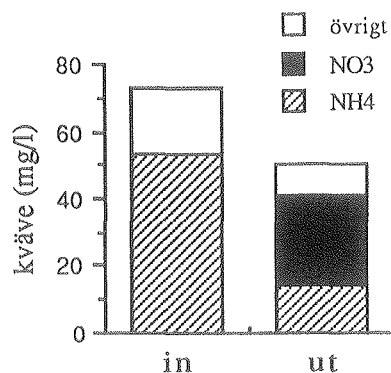
Provdatum	Reduktion (%)							
	Kväve	Fosfor	Kalium	BOD ₇	COD	E.coli	Fekala strept.	Klorid
31/5-1/6	29	25	0	93.4	82.9	52.7	96.3	6
11/6-12/6	33	24	-2	97.7	87.2	98.2	98.2	13
15/6-16/6	26	11	-11	97.8	47.4	99.6	98.8	11
20/6-21/6	31	19	-22	97.9	82.8	99.9	100.0	-2
26/6-27/6	38	33	5	97.9	84.1	89.8	95.8	8
2/7-3/7	33	27	0	99.0	88.3	99.3	96.8	11
9/7-10/7	32	32	-23	98.3	88.0	99.2	99.4	16
med.värde	32	24	-8	97.4	80.1	91.2	97.9	9

Reduktion av kväve

Ingående kvävehalter varierade mellan 66 och 77,5 mg kväve/l (figur 14) med ett medeltal på 73 mg. Lecabäddens förmåga att rena spillvattnet från kväve låg runt 30% (figur 15) och det är samma reningsförmåga som i vanliga markbäddar. Ca 70% av det inkommande kvävet har nitrifierats av bakterier och av denna mängd har troligen hälften avgått som ammoniak eller kvävgas medan hälften återfinns i nitratform i det utgående vattnet. Resten, ca 30%, av kvävet finns i en mer svårnedbrytbar form i det utgående vattnet.



Figur 14. Halter av totalkväve i in- och utgående spillvatten i lecabädd.



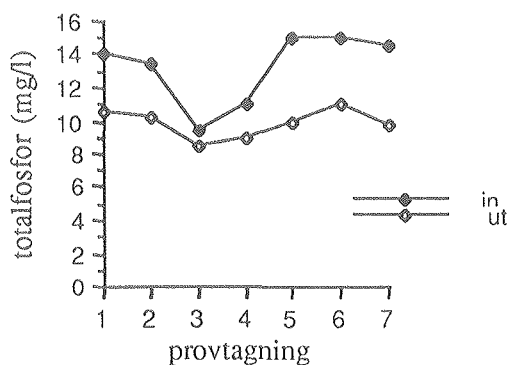
Figur 15. Nitrifikation i lecabädd.

Reduktion av fosfor

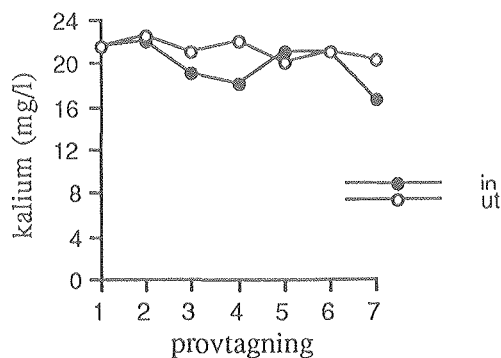
Ingående halter fosfor varierade mellan 9,5 och 15 mg fosfor/l med ett medeltal av 13 mg/l (figur 16). Reningen varierade från 11% till 33% och var i genomsnitt ca 25%. Denna siffra är lägre än för vanliga markbäddar i samma ålder. Vid provtagningstillfälle tre var reduktionen särskilt låg.

Reduktion av kalium

De ingående kaliumhalterna varierande mellan 16,6 och 22 mg kalium/l. Mängden kalium i det utgående spillvattnet ökade (figur 17).



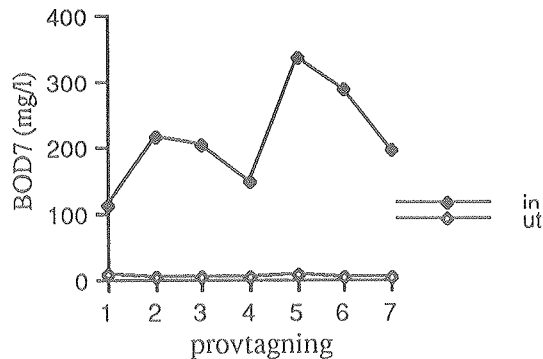
Figur 16. Halter av totalfosfor i in- och utgående spillvatten i lecabädd.



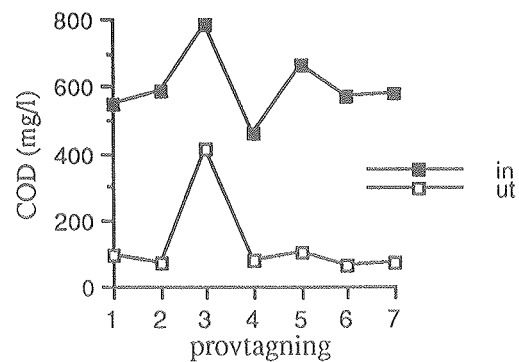
Figur 17. Halter av kalium i in- och utgående spillvatten i lecabädd.

Reduktion av organiskt material BOD₇ och COD

Reduktionen av organiskt material var god vilket tyder på hög bakteriell aktivitet (figur 18 och 19). BOD₇ minskade med 97% och COD med 80%. Vid ett mätillfälle (provtagning 3) var det ingående värdet av COD särskilt högt.



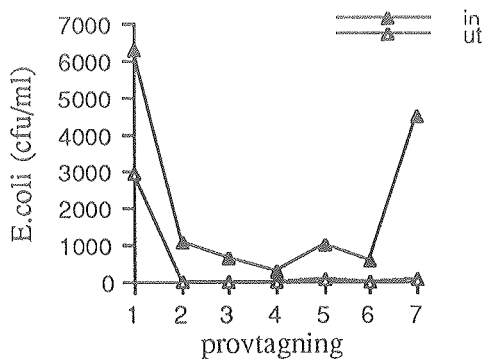
Figur 18. Halter av BOD₇ i in- och utgående spillvatten



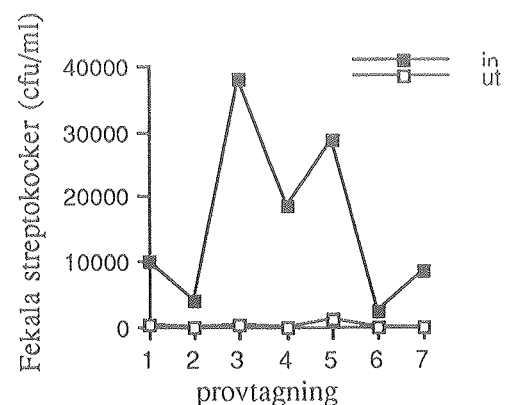
Figur 19. Halter av COD i in- och utgående spillvatten.

Reduktion av patogena bakterier

Lecabädden var effektiv på att rena spillvattnet från de undersökta patogenerna (figur 20 och 21). Reduktionen för E.coli var 91% och för fekala streptokocker 98%.



Figur 20. Innehåll av E.coli i in- och utgående spillvatten



Figur 21. Innehåll av fekala streptokocker i in- och utgående spillvatten.

Kloridhalt

Kloridhalten i det ingående och utgående spillvattnet varierade lite. Variationen var mellan 2-16% med ett medel på 9%.

Belastning på lecabädden

Det totala genomsnittliga flödet för de tre personer som finns i hushållen var ca 347 l/d.

Övriga observationer av lecabädden

Vid varje provtagningstillfälle inspekterade jag bädden för att se om vattnet fördelades jämnt över fiberduken eller om det eventuellt stod vatten i några fickor medan det var helt torrt i andra. Generellt sett var ca 2/3 av duken fuktig, det fanns fler torra partier på bäddens bortsida än framsida. Det var någon till några cm djupa vattensamlingar på några enstaka ställen i fickorna. Det fanns alltså inte några yttre tecken på att bädden skulle vara ojämnt belastad. Med tanke på bäddens ringa ålder borde inte spillvattnet ha gjort sig någon autostrada i bädden ännu. Efter skyfallet bildades det inte så många fler vattendämningar än innan, däremot hade vatten samlats på delar av fiberduken som låg mot bäddens ytterkant.

Hushållens vattenförbrukning

Jag beräknade flödet genom hushållen dels genom den installerade mätaren och dels genom att samla upp och mäta det vatten som rann ut ur lecabädden. Om systemet var tätt skulle dessa båda sätt ge ungefär samma resultat. Vid alla provtagningstillfällen utom ett stämde flödena väl överens. Medelvärde av vattenförbrukningen i de två hushållen var under provperioden (31/5 - 10/7) 119 l/pd räknat från den installerade mätaren. Den genomsnittliga förbrukningen räknat på det utflödade vattnet var 116 l/pd. Här räknade jag inte med det uppmätta utflödet från en provomgång då det spöregnade (15-16/6).

Den andel vatten som gick åt till spolning av toaletterna var enligt mätarna 19 l/pd. Däremot fungerade inte metoden för att räkna på toalettens vattenförbrukning via avprickningslista lika bra. Det var här lätt att glömma pricka av ett toalettbesök och gäster kan komplicera det hela. Medelvärdet för hushållen låg dock inom gränsen för vad toalettens tillverkare anger.

Diskussion av resultat

Producerad mängd urin m m

Den proportion mellan urin och vatten som jag fick fram, 1:1, verkar rimlig. Mängden producerad ren urin skulle då vara ca 1 l/pd enligt provtagningen av färsk urinlösning. Detta stämmer väl med det intervall på 1-1,5 l som litteraturen anger. Med tanke på att två av de boende i hushållen (männen) tillbringar minst halva sin dagtid i hemmet är det troligt att den största andelen urin och fekalier hamnar just i hushållens toaletter. Den andra metoden för att räkna ut mängden producerad urinlösning gav en produktion på 1,5 l urinlösning/pd, d v s en urinproduktion på 0,75 l/pd. Denna urinproduktion kan först verka låg, men då det visade sig att urinsorteringen inte fungerade tillfredsställande; endast hälften av urinen hamnade i tanken, kan även denna siffra verka rimlig (se vidare under rubriken *Fördelningen av växtnäring visade att urinsorteringen inte fungerade*). Om hälften av urinen hamnade i urintanken, uträknat till 0,75 l/pd, skulle den producerade urinmängden vara 1,5 l/pd. Även denna mängd stämmer med schablonen. En möjlig förklaring till skillnaderna i producerad mängd urin kan vara att personerna i hushållen var noggrannare med att sikta rätt i toalettstolen då de var medvetna om att provtagning pågick.

pH i den färskas urinen var högre än i den lagrade, 9,0 respektive 8,7. Detta beror troligen på att den färskas urinen innehåller en betydligt större mängd bakterier. Ett högre bakterieinnehåll höjer pH. Det var också högre temperatur i den färskas urlösningen. En högre temperatur ökar den biologiska aktiviteten.

Den kväveavgång jag räknat fram var ca 4-8%. Denna siffra verkar rimlig då kväveavgången från brunnsdjururin som är försedda med tättslutande lock är ca 7-8% (Claesson & Steineck, 1991).

Högt växtnäringsinnehåll

I min undersökning var kväve- och fosformängderna högre medan kaliummängden var lägre än schablonvärdena. Skillnaderna mellan mina resultat och schablonvärdena vad gäller storleken på växtnäringsinnehållet beror på att utsöndringen av näringsämnen varierar väldigt mycket beroende på vem man undersöker. De högre kvävemängderna i min undersökning kan bero på en högre andel kväve i kosten i form av kött och mjölkprodukter. En viktig faktor för fosformängderna är vilka disk- och tvättmedel man använder och hur ofta man tvättar. De disk-, och tvättmedel som de boende använde innehöll väldigt låga halter fosfor. Slutsatsen blir då att kosten innehöll en stor mängd fosfor.

De enda studier som gjorts i Sverige på senare år är Hellström & Kärrmans (1995) undersökning av urin och min studie. I denna studie undersöktes kväve- och fosforinnehållet i humanurin från 30 personer i Göteborg. Personerna i försöket, hälften män och hälften kvinnor, samlade under ett dygn upp producerad urin. Resultatet från studien pekar också på en högre utsöndrad kvävemängd än de siffror som Naturvårdsverket satt som schablonvärden. Däremot var fosformängderna desamma.

Fördelningen av växtnäring visade att urinsorteringen inte fungerade

Då man jämför mina resultat av växtnärings fördelning med Sundbergs schablonvärden, kan man dra slutsatsen att avskiljningen av urinen från fekalier inte fungerade som det var tänkt. Detta eftersom mängderna kväve, fosfor och kalium i urlösningen var ca hälften så stora som schablonvärdena (tabell 16-17, sidan 27). En del av urinen, uppskattningsvis hälften, har istället runnit till slamavskiljaren och vidare till lecabädden. Varför har då inte separationen fungerat tillfredsställande? Det finns två möjligheter; dels den mänskliga faktorn och dels konstruktionen av toaletten. Toalettverkarna rekommenderar att män sitter ner för att urinera. Männerna som bor i hushållen har stått upp för att uträtta sina behov. Detta stående verkar ha fungerat bra för den ene, men den andre har troligen inte siktat särskilt bra utan det mesta har istället hamnat i ledningen för fekalierna. Denna brist på träffsäkerhet är säkert en stor förklaring till att inte separeringen fungerade ordentligt. Den andra faktorn, toalettstolens utformning, är svårare att bedöma då ingen annan urinsorterande anläggning i Sverige har utvärderats ännu. Det är möjligt att toaletten inte separerar ifrån urinen tillräckligt effektivt ännu.

Vad hände med urininnehållet under lagring?

Den lagrade urinen innehöll lägre koncentrationer av alla undersökta ämnen jämfört med den färskas. Detta är en spädningseffekt, en större procentandel spolvatten finns i den lagrade urlösningen. Detta i sin tur beror troligen på att hushållen t o m maj månad använde en annan typ av dubbelspolande toalett, där mer spolvatten åtgick vid urin-

spolning. Då urintankens innehåll är producerat från slutet av mars fram till juli påverkade troligen denna extra vatteninblandning under den första 1,5 månaden den slutliga koncentrationen. Vad som däremot var förbryllande var att koncentrationsminskningen varierade olika mycket mellan olika ämnen.

Det ämne som hade minskat mest under lagringen var fosfor. En teori här är att detta har att göra med den låga ts-halten, 0,3% jämfört med litteraturens 4-5%. Fosfor binds till organiskt material. Det organiska materialet som i urin till stor del kan utgöras av bakterier sjunker till botten när de dör. Då jag vid provtagningen troligen inte rörde upp botten-satsen ordentligt fick jag därmed lägre halter fosfor i lösning. Detta resonemang skulle betyda att fosfor i urin kan sjunka till botten men hur och i vilken form ger inte mitt examensarbete svar på. Vid provtagningen var det svårt att röra om urinen ordentligt trots att pump användes. Urintanken som fanns på platsen var liggande och röröppningen i den var smal, ca 8 cm i diameter. Det var därför svårt att röra om ordentligt på en liten svångradie.

Ts-halten i urinen var som sagt väldigt låg, ca 0,3%, jämfört med litteraturens 4-5%. Ts-halten i urin består till största delen av salter och till mindre del av organiskt material. Salter är lösta i vätska vilket skulle innebära att de var jämnt fördelade i urinen, och att jag då skulle få med dessa salter i mitt prov även om jag inte fick med en del av botten-slammet. Den låga ts-halten är alltså svår att förklara, eventuellt har en del salter fällts ut och hamnat på botten. En annan teori är att den ts-halt som anges i litteraturen är utförd på färsk urin och inte på lagrad. Vid lagring sker en nedbrytning av urininnehållet då koldioxid avgår och vid denna gasavgång minskar urinens vikt. Olsson (1995) provtog urin från sju urintankar. Ts-halterna i dessa tankar var mellan 0,3-1,3%.

En stor andel fosfor fastnade i slamavskiljaren

Av den totala mängden fosfor återfanns i min undersökning ca 30% i slammet. Detta är en betydligt större andel jämfört med vad de referenser jag hittat anger. Då Andersson (1992) provtog slam från slambrunnar fick hon fram att ca 12% av kvävet och 5 % av fosfor stannade i slammet. Dessa siffror är osäkra eftersom hon gick efter schablonsiffror då hon räknade ut de kväve- och fosformängder som transporterades in till slambrunnen. De ingående mängder som användes, ca 16,2 g kväve/pd resp 3,3 g fosfor/pd, var högre än de mängder som Sundberg (1995) anger, 13,5 g kväve/pd resp 2,1 g fosfor/pd, och de mängder som jag fått fram i min undersökning, 15,3 g kväve/pd resp 2,7 g fosfor/pd. Det är därför troligt att en högre andel av fosfor och kväve stannade kvar i slammet än vad Andersson anger.

Kadmiuminnehållet i avloppet

Kadmiummängden som hushållen avger är låg jämfört med de referenser jag hittat. Det var synd att inte labbet kunde analysera lägre halter av kadmium. Halterna i urin var lägre än 0,2 ug/l, men hur mycket lägre vet jag inte. Kadmiumhalten i slammet var 0,49 mg/kg TS. Detta värde är av samma storlek som slam från andra enskilda brunnar. Spillvattnets kadmiuminnehåll var också lågt. Sundbergs (1995) referenser, 0,5-1 ug/pd i urin, 10 ug/pd i fekalier och <600 ug/pd i BDT-vatten ger en sammanlagd kadmiummängd (urin+fek+BDT) på <600 ug/pd. I min undersökning var summan <54 ug/pd. Den klart

största andelen kadmium fanns i slammet, ca 78%, medan spillvattnet innehöll en lägre mängd, 21%, och urinen mindre än 1%.

Bakterieinnehållet i urin och spillvatten

Då man jämför bakteriehalterna i urintanken med halter i andra urintankar (för urinsorterande toaletter) ter sig mina halter höga, jämför med tabell 9 (sidan 16) i *Litteraturstudien*. Detta kan bero på att urintanken användes som avloppstank en tid i början då avloppssystemet installerades. Fekalier innehåller en massa bakterier och dessutom hamnar det kanske fekaliepartiklar där som inte separerats ordentligt under användningens gång.

De undersökta patogenerna minskade rejält under lagringsperioden. Under den tid som urinen lagrats i tanken (0-3,5 månader beroende på när den producerats) skedde en avdödning med ca 98%. Sannolikt var dock bakteriehalterna i den färskaste urinen högre än ett representativt medelvärde vilket ger en alltför hög siffra på avdödningen. Detta beroende på att bakterierna växte till snabbare i den grenledning jag använde vid provtagningen jämfört med en ordinarie urinledning som används hela tiden. Troligen frodas bakterier ordentligt då inte ledningen används kontinuerligt. Några veckor efter provtagningens slut satte huvudledningen nämligen igen, då en "propp" av bakterier hade bildats.

Lecabäddens reningsgrad

Kväve, fosfor och kalium

Lecabäddens förmåga att rena spillvattnet från kväve var ungefär densamma som för markbäddar. Fosforreningen var däremot lägre. Vad beror denna låga fosforrening på? En markbädds reningsförmåga av fosfor sker till stor del i sandlagret, men till viss del även i biohuden där bakterier inlagrar ämnet. Det gäller då att ha stor volym sandmaterial för att fånga upp fosfor. Lecabädden har en betydligt mindre volym än en ordinarie markbädd, ca en fjärdedel av denna. Detta har säkert betydelse då belastningen av bädden blir betydligt större. Fosforupptaget i lecabädden sker i lecakrossen genom kemisk bindning. En mycket viktig faktor för fosforreduktionen är hur snabbt spillvattnet tar sig genom lecakrosslagret. Om vattnet har en hög hastighet hinner inte lecan fastlägga fosforpartiklarna i vattnet utan fosfor smiter förbi. Troligen skulle fastläggningen öka om man lyckades bromsa vattenhastigheten.

De kemiska komponenterna i lecan kan också vara viktiga för resultatet. Enligt Jenssen m fl (1991) sker fosforupptaget via två mekanismer; adsorption till järn- och aluminiumoxider samt fällning med kalciumkomponenter. Innehållet av järn och aluminium är troligen detsamma i vårt leca jämfört med den leca Jenssen använde i sitt försök. Kalciuminnehållet skiljer sig däremot åt, lecan från Linköping är av kalkfattig lera och inte av kalkrik som i Jenssens försök. I Jenssens försök låg pH i lecan runt 11. Nyttillverkade lecakulor har ett pH som ligger runt 9 enligt uppgift från fabriken (Hermansson, muntl, 1995). I väntan på leverans förvaras lecan på marken utomhus. Om det dröjer mellan tillverkning och leverans, halvår - år, är det möjligt att pH sjunker till följd av försurande regn. Detta kan ha påverkat reduktionsresultatet.

Enligt litteraturen påverkas inte fosforreduktionen särskilt mycket av temperaturen då fosforupptaget sker av mineral i sandkorn eller som i detta fall i lecakross. Den litteratur som finns anger ca 5-10% lägre reduktion under vintern än under sommaren. Aaltonen & Anderssons (1995) resultat indikerar dock att reduktionen påverkas betydligt mer av årstiden, att biologiskt liv är viktigt även för fosforreduktionen.

Kaliummängderna ut ur lecabädden var något högre än de ingående mängderna. Den troliga orsaken till detta är att kalium som finns i lecakrossen har frigjorts till spillvattnet. Lera, som är lecas ursprungsmaterial, är kaliumrik.

Organiskt material och bakterier

Bakterierna verkar ha koloniserat fiberduken bra då nedbrytningen av organiskt material och avdödningen av patogena bakterier var god. Vid provtagningsstillfälle tre, 15-16/6, var reduktionen av COD och fosfor lägst. Detta kan bero på att bädden inte hann rena spillvattnet i samma grad som tidigare på ett extra inflöde av regn tre dagar innan mätning.

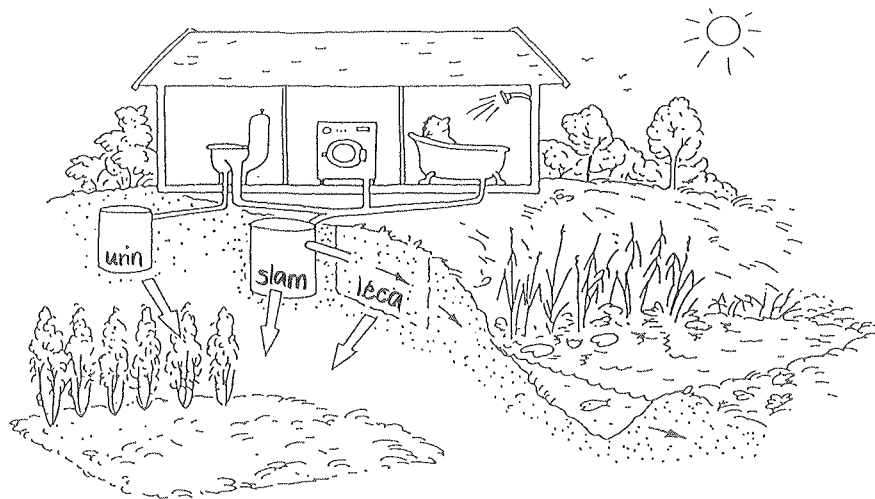
Kloridhalten - en indikation på utspädning

Kloridhalten i det utgående spillvattnet var ca 9% lägre än halten i det ingående spillvattnet. Detta tyder på att det kan ha skett en liten utspädning av de undersökta ämnena till följd av t ex inläckage av markvatten i lecabädden. Denna låga utspädning är dock inte av någon egentlig betydelse för halterna. Ett eventuellt inläckage motsägs av att flödet in i och ut ur bädden överensstämde mycket bra. Då jag jämförde den registrerade vattenanvändningen med det uppmätta flödet från bädden skiljde de bägge på upp till 15 l. Undantagen var då det regnade under en mätperiod vilket resulterade i ett större flöde ut ur bädden än in (skilde på ca 190 l) samt vid sista mättillfället då flödet in i bädden var ca 80 l större än flödet ut ur bädden. En trolig orsak till variationen i flöde vid sista mättillfället är systemets inneboende fördröjning.

Avloppssystemets reningsförmåga och grad av återförsel

Undersöker man flödet av växtnäring i hela det undersökta systemet, dvs från att näringen hamnade i avloppet till det rann ut i recipienten (i detta fall ett vattendrag) hamnade en hel del i recipienten (figur 22). Av den totala mängden kväve i systemet fanns de största mängderna i urintank (36%) och vattendrag (38%) medan den största andelen fosfor och kalium flödade till recipienten (43 respektive 64%). Utsläppet till vattendraget blir uträknat per person och år 2,1 kg kväve, 0,4 kg fosfor och 0,9 kg kalium. Man bör dock hålla i minnet att urinsorteringen i avloppssystemet endast sorterade ca hälften av urinen och att lecabädden var dålig på att fånga fosfor.

Reduktionen av mängden växtnäringsämnen i det undersökta systemet var för kväve och fosfor ca 60% och för kalium ca 35%. Reduktionen beräknas vara minskningen i mängden näring från att näringen tillfördes avloppssystemet till det hamnade i recipienten. Graden av återförsel var av kväve ca 45%, av fosfor ca 60% och av kalium ca 35%. De fraktioner som beräknas återföras till jordbruket är urin, slam och lecakross.



	<u>Urin</u>	<u>Slam</u>	<u>Lecabädd</u>	<u>Recipient</u>	<u>Till recipient</u>
Kväve	36%	9%	17%	38%	(2,1 kg N /p*år)
Fosfor	15%	28%	14%	43%	(0,4 kg P/p*år)
Kalium	27%	9%	0%	64%	(0,9 kg K/p*år)

Reduktionsgrad:

Kväve	60%
Fosfor	60%
Kalium	35%

Grad av återförsl:

Kväve	45%
Fosfor	60%
Kalium	35%

Figur 22. Flöden, reduktion och återvinning av växtnäring i det undersökta avloppssystemet med urinavskiljning, slamavskiljare och lecabädd. I beräkningarna förutsätts 50-procentig urinavskiljning och 25-procentigt fosforupptag i lecabädd som var fallet i studien.

5. DISKUSSION

Växtnäringsinnehåll i hushållsavlopp - kunskapsläget idag

Mina resultat pekar på ett högre växtnäringsinnehåll av kväve och fosfor än de schablonvärden som Naturvårdsverket anger. Viktiga faktorer att jämföra med vid tolkning av gjorda undersökningar är antal personer i undersökningen, andelen kvinnor och män samt åldern hos dessa. Min studie bygger på hushållspillvatten från ett begränsat antal personer, närmare bestämt tre stycken. Detta är ett mycket begränsat material att dra några större slutsatser från. De undersökta hushållen bestod av två män och en kvinna. Män har i regel ett högre näringsintag och utsöndrar därmed mer kväve och fosfor än kvinnor. De boende i hushållen var i åldern 25-30 år. Det kan också tänkas att unga människor har ett högre näringsintag än om alla åldersgrupper var inräknade. Sammantaget betyder detta att de högre kväve och fosformängderna från min undersökning kan vara större än vad som är representativt för en befolkning p g a att det var en överrepresentation av män och att de var unga och matfriska!? Anlägger man samma perspektiv på de undersökningar som finns i litteraturen kan man undra om äldre litteratur som bygger på uppgifter från sjukhus är mer representativ. Sjukhuspatienter får en väldigt reglerad kost och är väl inte direkt kända för sin glupande aptit. De schablonvärden som Naturvårdsverket anger kan då vara lågt satta. De uppgifter som jag tycker har störst tyngd är Jordbruksverkets framtagna siffror på försålda livsmedel 1989-92. Jag antar att de har framtagits på ett korrekt sätt. Den statistik som finns från Livsmedelsverket stämmer överens med de värden som Naturvårdsverket har satt som schablonvärden. Men statistik från Livsmedelsverket visar också att svenskens intag av kväve och fosfor har ökat med 20% från 1960 till 1992. Det skulle tala för att de kväve och fosformängder i urin och fekalier som anges i äldre litteratur, och som vi bygger våra beräkningar på, är i underkant. Detta skulle innebära att amerikaner och europeer var duktigare än oss på att äta proteinrik mat redan på 50- och 60-talet.

Markbäddars reningsförmåga

De undersökningar som gjorts på markbäddars reningsförmåga ger väldigt olika resultat. Den reningsgrad av kväve och fosfor som Naturvårdsverket (1987) anger är högre än de resultat som Johansson (1994) fått fram i sin undersökning. Aaltonen & Anderssons (1995) bearbetning av resultat intar ett mellanläge. För att kunna tolka och jämföra olika resultat är det nödvändigt att veta när och hur proverna togs. Aaltonen och Andersson framhåller att det är skillnad i kväve- och fosforreduktion under året. Under sommaren, då temperaturen är högre och därmed även det biologiska livet, är bädden bättre på att rena än under vintern. Johansson hämtade spillvattenprover till sin undersökning i mitten av mars. Då var fortfarande marken nedkyld efter vintern. Det är då troligt att den rening som registrerades var lägre än vad som var representativt över året. Då man tittar på resultaten från en undersökning måste man ta sig en funderare över vid vilken årstid provtagningen gjordes och vilka metoder man använt sig av innan man drar några slutsatser. En annan intressant aspekt i sammanhanget är hur man väljer ut vilka bäddar som ska provtas. Ett kriterie man som provtagare har är att det överhuvudtaget är möjligt att provta spillvattnet in i och ut ur bädden. Särskilt det sistnämnda, att hitta ledningen med utgående vatten, kan vara ett kritiskt moment. Det är troligt att man redan i detta stadium ratar bäddar som har dåligt fungerande rening, då de bäddar som är sämst byggda troligen

har en utgående ledning som är svår att finna. Det är alltså troligt att de fungerande bäddarna är de som väljs ut för provtagning.

Kontrollen av bäddarna är idag undermålig. Det som bl a framkom i undersökningen i kommunerna (Aaltonen & Andersson, 1995) var osäkerheten om hur man egentligen ska ta prover för att de ska vara representativa. Troligen finns det lika många metoder som det finns anläggningar. Frågor som jag lämnar vidare till nästa man eller kvinna är bl a vid vilka temperaturer en bädd fungerar bra och när den i princip slutar att rena?

Kraven på att minska hushållens fosforutsläpp till sjöar och hav ytterligare gör det viktigt med en utveckling på markbädds- och infiltrationsområdet. Med tanke på att det bara är ca 50% av de enskilda avloppen runt om i landet som har en godtagbar anläggningstyp brådskar det att utveckla bäddar vidare. Den lecabädd som jag utvärderat fungerade inte mycket bättre än en konventionell, så vidare utveckling behöver göras på detta område. Tillverkaren av lecabädden har redan nya planer för hur reningen ska bli effektivare. Det vore därför oklokt att i en hast beordra alla enskilda avlopp att bygga ut med de gamla konventionella bäddarna. Det vore bättre att under några år få fram bättre reningsanläggningar ur miljö- och kretsloppssynpunkt.

Ska vi införa urinsorterande system?

Idag har några kommuner redan byggt urinsorterande system och andra ligger i startgroparna. Men vet vi idag tillräckligt mycket för att installera dessa? Det finns fortfarande mycket kvar att ta reda på, bl a hur bra toaletterna egentligen sorterar, var och hur länge man ska lagra urinen och vilka transportmöjligheter som finns för att hämta urinen. Hela kedjan från toalett till åker ska vara uttänkt innan man sätter igång att bygga i stor skala. Ett system är ju som bekant aldrig starkare än sin svagaste länk. Det är farligt att tro att urinsorterande system skulle vara lösningen med stort L som löser alla problem och att man sedan förnöjsamt kan luta sig tillbaka i soffan. Självklart ska växtnäringen tillbaka till jordbruket men sättet att göra detta på är inte alltid givet. Det behövs säkerligen olika typer av avloppssystem som kan svara mot olika sorts behov på platsen. Vad som verkar vara en del politikers dilemma är att skilja mellan mål och medel. Det är en tendens att se mer på medel än mål, att hitta en stor allomfattande lösning som ska råda bot på alla problem... överallt... samtidigt. Urinsortering är ett medel att uppnå målet en renare miljö. Vilket medel man använder beror på omständigheterna på platsen.

Det som gör just urinsorteringen så attraktiv är urinens höga näringsinnehåll och ett för grödan lättillgängligt sådant. Den har ett betydligt lägre innehåll av kadmium än fekalier. De urinsorterande toaletterna förbrukar också mindre spolvatten. Sundberg (1995) räknar med en vattenförbrukning på 8 l/spolning och en spolvattenåtgång på 40-50 l vatten/pd för ordinarie toaletter. En dubbelspolande urinsorterande toalett skulle minska vattenåtgången till hälften, till ca 20 l vatten/pd, räknat på data från de två urinsorterande toaletterna i min undersökning. En annan fördel är att lantbrukarna redan har den utrustning som behövs för att hantera urinen. På landsbygden där hushållen är kopplade till enskilda avlopp och där det är nära till åkermarken kan det första steget tas mot ett bättre utnyttjande. De urinsorterande toaletterna kan då vara ett sätt att avlasta markbäddar och infiltrationsanläggningar och på så sätt minska läckagen till vattendragen.

Det finns som med allt annat även nackdelar med detta system. Det min studie tydligt visar är hur sårbart det urinsorterande systemet är. Pinkar man inte "rätt" så är det inget urinsorterande system! Det är därför A och O att de som använder toaletten ser vikten av sitt eget handlande. Incitament? Toaletternas konstruktion behöver kanske ses över så att de blir så användarvänliga som möjligt. Kväveavgången visade sig inte vara särskilt stor, annars brukar denna synpunkt alltid framföras när det gäller urinlagring. Bakterieaspekten är mycket viktig. I ett urinsorterande avloppssystem kan man aldrig räkna med att urinen i ledningarna är steril. Andra viktiga aspekter är allmänhetens acceptans till användning av urinsortering och konsumtion av produkter gödslade med humanurin, samt ekonomin i det hela med dess frågeställningar och värderingar

Ett vettigt sätt att jobba på är att följa upp de urinsorterande system som redan är byggda idag. Det är ingen bra ide att börja hasta iväg med att installera urinsorterande system och slänga dom gamla på soptippen. Vi behöver alltså lite mer kött på benen, fler pilotförsök där man verkligen följer upp anläggningen och vet att den fungerar samt försök om hur man kan förbättra redan installerade avloppssystem. Hittills har många forskare och lekmän mest studerat reningen i avloppsvattnets olika processteg. Det som fisken i vattnet dock är mest intresserad av är den sammanlagda mängden näring som hamnar i vattendraget. Ett sätt att minska växtnäringsläckaget kan då vara att sortera bort det som innehåller mest näring, i hushållsavloppet är detta urinen. Urinsortering är då ett led i att sluta kretsloppen i samhället.

6.SLUTSATSER

- Kväve- och fosforinnehållet i det undersökta hushållsavloppet var ca 10 respektive ca 30% högre än Naturvårdsverkets (Sundberg, 1995) angivna schablonvärden. Kaliuminnehållet var däremot ca 10% lägre än schablonsiffrorna. Det är alltså en stor variation i hushållsavloppets näringsmängder.
- Andelen fosfor i slamfraktionen, ca 30%, var betydligt högre än vad tidigare litteratur angivit.
- Mängden kadmium i hushållsavloppet var liten, < 54 ug/pd.
- Urinsorteringen fungerade inte tillfredställande då endast hälften av urinen hamnade i urintanken. Toalettanvändarnas vanor är här av stor vikt för att urinsorteringen ska fungera.
- Lecabäddens fosforupptag (ca 25%) fungerade inte tillfredsställande och behöver vidareutvecklas.

7.SUMMARY

Plant nutrients, cadmium and bacteria in household wastewater. A field study of a urine separation system combined with a leca filter in Östhammar.

The solutions we have today for on-site treatment of human effluents do not include recirculation of plant nutrients from households to agriculture. Instead nutrients leak into nature and that results in overfertilized groundwater, rivers, lakes and seas. At the same time as water becomes polluted, agriculture needs a continued flow of nutrients from outside to maintain food production. The challenge today is to find solutions for wastewater treatment that include recirculation.

In Uppland urine separation toilets combined with a leca filter for two households were installed in 1993. The leca layer acts as an absorbing medium of phosphorus as the wastewater passes. When the leca has become saturated with phosphorus it will be used as a fertilizer in agriculture. This study aimed to evaluate this type of wastewater systems, with urine separation combined with a leca filter. One part of the evaluation was to calculate quantities and distribution of plant nutrients, cadmium and pathogenic bacteria in the wastewater. Another part was to investigate the reduction of nitrogen, phosphorus, pathogenic bacteria and organic matter in the leca filter. The investigation was done during seven weeks, May to July in 1995. Samples were taken from fresh and stored urine, the septic tank and from urine-separated wastewater into and out from the leca filter. The households' consumption of water was measured.

The study showed that the amounts of nitrogen and phosphorus in the wastewater were higher than standard values according to report nr 4425 from Naturvårdsverket. The contents of nitrogen were 10 percent higher than standard values and of phosphorus 30 percent higher. The potassium contents, however, were 10 percent lower than the standard values. The percentage of potassium was considerably higher than what was found in literature. The cadmium contents of the wastewater were low. The urine-separation system separated only half of the urine, probably because of toilet users' lack of precision and the toilet design. The reductions of nitrogen, organic matter and pathogenic bacteria in the leca filter were as high as in a sand filter. The reduction of phosphorus however was lower. Urine separation systems enable recirculation of plant nutrients to take place but the study shows that it is very important how the toilets are used otherwise urine may not be separated. The possibility to use humane urine as a source of plant nutrients in agriculture is high as the contents of plant nutrients in urine are high and of cadmium low. The function of the leca filter is not yet sufficient. It needs to be improved.

8.REFERENSER

Litteraturförteckning

- Aaltonen, J. & Andersson, P. 1995. Långsiktig reningskapacitet hos markbäddar och infiltrationsanläggningar. Rapport, Avd. f. mark- och vattenresurser, Inst. f. anläggning och miljö, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- AB Svensk Leca. 1994. Leca Lättklinker Egenskapsredovisning.
- Andersson, R. 1992. Slam från enskilda avlopp - hot eller resurs i ekologiskt lantbruk? Examensarbete 887, Inst. f. växtodlinglära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Andersson, M & Nyberg, F. 1982. Markbäddar och infiltrationsanläggningar. Slutrapport. 81/82
- Becker, W & A.K. Robertsson, 1994. Den svenska kostens näringsinnehåll 1980-92. Vi äter för mycket fett och för litet fibrer. Vår föda, oktober 1994, vol. 46 (7), s 374-385.
- Claesson, S. & Steineck, S. 1991. Växtnäring, hushållning och miljö. Speciella skrifter 41, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Dalhammar, G. 1995. Urin som växtnäringsresurs. Delrapportering av "Källseparerad humanurin i kretslopp - förstudie"
- Geigy Scientific Tables. 1981. Units of Measurement, Body Fluids, Composition of Body, Nutrition. CIBA-GEIGY. No 81-70045, vol. 1.
- Jenssen, P. D., Krogstad, T., Briseid, T., Norgaard, E. 1991. Testing of reactive filter media (leca) for use in agricultural drainage systems. International seminar Environmental Challenges and Solutions in Agricultural Engineering. p 160-166. Ås Norway, July 1-4 1991.
- Johansson, S. 1993. Markbäddars reningsförmåga beroende av ålder. -En fältstudie av fyra markbäddar i Enköpings kommun. Examensarbete nr 85, Avd. f. Växtnäringslära, Inst. f. Markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Jönsson, H. 1994. Källseparering av humanurin - mot ett uthålligare samhälle. Fakta Teknik Nr 3, 1994, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Hellström & Kärman, E. 1995. Nitrogen and Phosphorus in Fresh and Stored Urine, Proceedings of the 2nd Conference of Ecological Engineering for Wastewater Treatment, held at Wädenswil, Switzerland, September 18-22, 1995.
- Lagbok i miljö rätt. 1989. Allmänna förlaget, Stockholm.
- Naturvårdsverket. 1985. Avloppsvatten-infiltration. Förutsättningar, funktion, miljökonsekvenser. Rapport. Stockholm.

- Naturvårdsverket. 1987. Små avloppsanläggningar. Hushållsspillvatten från högst 5 hushåll. Allmänna råd 87:6. Naturvårdsverket, Solna.
- Olsson, A. 1995. Källsorterad humanurin - förekomst och överlevnad av fekala mikroorganismer samt kemisk sammansättning. Examensarbete. Inst. f. lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala och Smittskyddsinstitutet (SMI), Stockholm.
- Pettersson, S. 1994. Humanurin som växtnäringsskälla kemisk sammansättning och gödslingseffekt. Examensarbete nr 93, Avd. f. Växtnäringslära, Inst. f. Markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Ridderstolpe, P. & Salomon, E. 1995. Östhammars kretsloppsverk. Växtnäringsflöden och kretsloppssystem för avlopp i Östhammars kommun. Teknisk rapport nr 2. Avd. f. jordbearbetning, Inst. f. markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- SCB. 1992. Naturmiljön i siffror. Sveriges officiella statistik. Statistiska Centralbyrån.
- Steineck, S & Salomon, E. 1992. Lantbrukskonferensen 1992. Stad och land i samverkan, Uppsala. Hantering av slam från enskilda avlopp. Recirkulation till jordbruket. Projekt i Uppsala kommun 1990-1991. SLU Info Rapporter, Allmänt 177, s 70-79.
- Stenström, T-A. 1986. Infiltration i mark - mikroorganismers transport och överlevnad. Naturvårdsverket, pm 3051. Solna.
- Sundberg, K. 1995. Vad innehåller avlopp från hushåll? Naturvårdsverket, rapport 4425. Stockholm.
- WM-Ekologen ab. WM-toalettsystem för återvinning-hygien-komfort. Informationsblad.
- Wolgast, Å. 1994. Flöden av fosfor och kadmium i stad och land - en studie av två gårdar i Mellansverige. Examensarbete 900, Inst. f. växtodlingslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Wolgast, M. 1992. Rena vatten - om tankar i kretslopp. Creanom HB, ISBN 91-630-1501-3, Uppsala.

Muntliga referenser

- Grynberg, Jan. 1995. SCB, Örebro.
- Hermansson, Billy. 1995. AB Svensk Leca, Linköping.
- Kärman, Erik. 1995. VA-teknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Lind, Anders. 1995. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Norman, Leif. 1995. SCB, Stockholm.
- Nyberg, Fred. 1995. Fann Va-Teknik, Stockholm.
- Ridderstolpe, Peter. 1995. Firma Ekologisk Teknik, Östhammar.
- Steineck, Staffan. 1995. Inst. f. markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

9.BILAGOR

Bilaga 1. Analysdata

Urin - färsk respektive lagrad

- ts-halt, pH samt innehåll av klorid, natrium och kadmium

Provdatum	Ts-halt % av prov	pH	Cl mg/l	Na mg/l	Cd ug/l
Färsk urin					
1/6	0.56	9.0	1 510	1 140	<0.2
12/6	0.50	9.2	1 180	830	<0.2
16/6	0.44	8.9	680	530	<0.2
21/6	0.53	9.1	1 400	790	<0.25
27/6	0.40	9.1	675	560	<0.2
3/7	0.53	8.8	1 325	1 000	<0.2
10/7	0.65	8.9	1 770	1 100	<0.2
med.värde	0.52	9.0	1 220	850	<0.25
s.d.	0.081	0.14	412	240	
Lagrad urin					
31/5	0.30	8.9	860	560	<0.25
9/7	0.33	8.5	1 000	630	<0.2
med.värde	0.32	8.7	930	595	<0.25
s.d.	0.021	0.28	99	49	

- innehåll av växtnäringsämnen; kväve, fosfor och kalium

Provdatum	Tot-N mg/l	NH ₄ mg/l	Tot-P mg/l	K mg/l
Färsk urin				
1/6	2 500	1 100	173	490
12/6	2 400	1 400	187	450
16/6	2 600	2 200	200	390
21/6	2 800	2 800	180	410
27/6	2 300	820	180	300
3/7	2 400	1 600	190	430
10/7	3 400	1 700	250	700
med.värde	2 600	1 660	194	450
s.d.	380	670	26	120
Lagrad urin				
31/5	1 800	1 700	108	350
9/7	1 900	1 500	120	380
med.värde	1 850	1 600	114	365
s.d.	70	140	9	20

- innehåll av patogena bakterier

Provdatum	Fekala streptokocker cfu/ml
Färsk urin	
1/6	*
12/6	*
16/6	>500 000
21/6	*
27/6	151 000
3/7	*
10/7	185 000
med.värde	>279 000
Lagrad urin	
31/5 (mitten)	180
(botten)	1 680
9/7	7 800
med.värde	4 400
s.d.	4000

* = ingen provtagning

Slam

- ts-halt, densitet, pH samt innehåll av klorid och kadmium

Provdatum	Ts-halt % av prov	Densitet kg/l	pH	Cl mg/l	Cd mg/kg ts
11/7	0.90	1,0	8.1	120	0.48
11/7	0.87	1,0	7.9	105	0.50
med.värde	0.89	1,0	8.0	113	0.49
s.d.	0.021		0.14	11	0.014

- innehåll av växtnäringsämnen; kväve, fosfor och kalium

Provdatum	Tot-N % av ts	NH ₄ % av ts	NO ₃ % av ts	Tot-P % av ts	K % av ts
11/7	1.4	0.56	<0.01	0.89	0.40
11/7	1.7	0.57	<0.01	0.85	0.36
med.värde	1.55	0.57	<0.01	0.87	0.38
s.d.	0.21	0.007		0.028	0.028

Spillvatten

- organisk förbrukning, pH samt innehåll av klorid och kadmiium

Provdatum	BOD ₇		COD		pH		Cl		Cd	
	mg/l		mg/l				mg/l		ug/l	
	in	ut	in	ut	in	ut	in	ut	in	ut
31/5-1/6	113	7.5	549	94	7.25	7.25	46.5	43.5	<0.1	<0.1
11/6-12/6	218	5.1	584.5	75	7.2	7.35	47	41	<0.1	<0.1
15/6-16/6	204	4.5	787	414	6.9	7.3	45	40	<0.1	<0.1
20/6-21/6	149	3.2	460	79	7.3	7.3	43	44	<0.1	<0.1
26/6-27/6	335	7.1	668	106	7.0	7.9	48	44	<0.1	<0.1
2/7-3/7	288	<3	573	67	7.0	7.3	54	48	<0.1	<0.1
9/7-10/7	195	3.3	575	69	6.7	7.3	58	49	0.08	0.05
med.värde	215	<4.8	600	129	7.0	7.4	49	44	<0.1	<0.1
s.d.	76		103	126	0.21	0.23	5.3	3.3		

- innehåll av växtnäringsämnen; kväve, fosfor och kalium

Provdatum	Tot-N		NH ₄		NO ₃		Tot-P		K	
	mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l	
	in	ut	in	ut	in	ut	in	ut	in	ut
31/5-1/6	74	52.5	51	17.5	<0.1	28	14	10.5	21.5	21.5
11/6-12/6	77.5	52.3	60.5	16	<0.1	27	13.5	10.3	22	22.5
15/6-16/6	66	49	48	11	<0.1	28	9.5	8.5	19	21
20/6-21/6	77	53	54	15	<0.1	29	11	8.9	18	22
26/6-27/6	71	44	49	14	<0.1	21	15	10	21	20
2/7-3/7	69	46	62	18	<0.1	25	15	11	21	21
9/7-10/7	74	50	44	6.3	0.38	34	14.5	9.8	16.6	20.4
med.värde	73	50	53	14	<0.38	27	13.2	9.9	19.9	21.2
s.d.	4.2	3.5	6.6	17		4	2.1	0.9	2.0	0.9

- innehåll av bakterier

Provdatum	E.coli		Fekala streptokocker	
	cfu/ml		cfu/ml	
	in	ut	in	ut
31/5-1/6	6 300	2 900	10 130	380
11/6-12/6	1 050	19	4 150	73
15/6-16/6	670	3	38 000	450
20/6-21/6	270	<1	18 700	5
26/6-27/6	980	100	28 500	1 200
2/7-3/7	590	4	2 500	80
9/7-10/7	4 500	38	8 500	48
med.värde	2 050	<438	15 780	319
s.d.	2360		13300	426

Bilaga 2.

Analysmetoder samt mätosäkerhet för kemiska parametrar i urin, slam samt spillvatten

(Källa: KM Lab)

Parameter	Urin	
	Metod	Mätosäkerhet (%)
Torrsubstans	SS 028113-1	5
pH	KLK 1965:1	1
Klorid	SS 028136-1	2
Natrium	DIN 38406. E22, SS 028150-2	5
Kadmium	SS 028184-1	15
Totalkväve	SS 028101-1	10
Ammoniumkväve	St. Methods 16th 1985, 417 A+D	5
Totalfosfor	KLK 1966:15, DIN 38406 E22	3
Kalium	DIN 38406. E22, SS 028150-2	5
Fekala streptokocker Presumptiva	SS 028179-1	

Parameter	Slam	
	Metod	Mätosäkerhet (%)
Torrsubstans	SS 028113-1	5
pH	KLK 1965:1	1
Klorid	SS 028136-1	2
Kadmium	DIN 38406. E22, SS 028150-2	5
Totalkväve	SS 028101-1	10
Ammoniumkväve	St. Methods 16th 1985, 417 A+D	5
Nitratkväve	jonselektiv elektrod	
Totalfosfor	KLK 1966:15, DIN 38406 E22	3
Kalium	KLK 1966:15, DIN 38406 E22	8

BOD ₇	SS 028143-2, SS-EN 25814-1	7
COD _{Cr}	Hach	2
pH	SS 028122-2	2
Klorid	SS 028136-1	2
Kadmium	SS 028184-1	15
Totalkväve	FIA ASN 110-03192	7
Ammoniumkväve	SS 028134-1, Autoanalyser	9
Nitratkväve	SS 028133-2, Autoa.	3
Totalfosfor	SS 028127-2	8
Kalium	Standard Methods 322 B	5
E.coli Presumptiva	SS 028164-2, 66-1, SS 028165-2, 67-1, SLV	
Fekala streptokocker Presumptiva	SS 028179-1	

Bilaga 3.

Beräkningsgång för uträkning av växtnäringsmängder i färsk urinlösning, slam respektive spillvatten.

Växtnäringsmängder i färsk urinlösning

Vid uträkning av näringsmängderna i den färska urinlösningen beräknades dessa mängder separat för varje provtagningstillfälle (sju provtagningar). Näringsmängderna i urinlösning från respektive tillfälle summerades och ett medelvärde beräknades sedan från detta. Växtnäringsmängderna beräknades genom multiplicering av näringsämneskoncentrationen med volymen färsk urinlösning.

Växtnäringsmängder i slam

Slammets växtnäringsinnehåll beräknades med hjälp av näringskoncentrationer, slammets ts-halt, densitet och volym. Slamvolymen uppskattades genom att mäta höjden slam i slamavskiljaren vid provtagningstillfället. Slamavskiljarens volym var känd.

Växtnäringsmängder i spillvatten

Vid beräkning av växtnäringsmängden i det ingående spillvattnet beräknades dessa mängder separat för varje provtagningstillfälle liksom vid beräkningen av näringsinnehållet i färsk urinlösning. Näringsmängderna från de sju provtagningarna summerades och ett medelvärde räknades fram. Växtnäringsmängderna vid varje provtagningstillfälle beräknades genom att multiplicera ämneskoncentrationen med vattenflödet genom hushållen vid samma tillfälle (= vattenflödet ut ur lecabädden).

MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Nr	År	
1	1992	Johan Arvidsson, Sixten Gunnarsson, Lena Hammarström Inge Håkansson, Tomas Rydberg, Maria Stenberg, Bo Thunholm: 1990 års jordbearbetningsförsök. 40 s.
2	1992	Mats Tobiasson: EKOODLAREN - En studie av ett kombinationsredskap för sådd och ogräshackning, utförd våren och sommaren 1991. Examensarbete. 19 s.
3	1993	Mats Tobiasson: Såbillar för reducerad bearbetning. Undersökningar av nya såbillar för odlingssystem med reducerad bearbetning, utförda 1991 och 1992. 23 s.
4	1993	Anna Borg: Flöden av kväve och fosfor i Forshällaåns avrinningsområde - beräkning av olika källors bidrag till växtnäringssläckaget. Examensarbete. 45 s. <i>Flows of nitrogen and phosphorus in the Forshällaån watershed - estimations of the contributions from different sources to the leaching of plant nutrients. 45 pp.</i>
5	1993	Thomas Grath: <i>Effects of soil compaction on physical, chemical and biological soil properties and crop production.</i> 101 pp.
6	1993	Estela Pasuquin: <i>Tillage influences on soil conditions and crop response under dry weather in the Philippines and in Sweden.</i> 62 pp.
7	1994	Hans Pettersson: Radhackning i stråsäd med ny hackutrustning. Examensarbete. 28 s. <i>Rowhoeing in cereals with new hoeing equipment. 28 pp.</i>
8	1994	Jörgen Lidström och Lars Olsson: Nya såmaskiner för reducerad bearbetning. Examensarbete. 57 s. <i>New drills for reduced tillage. 57 pp.</i>
9	1994	Sara Lindén: Tidig start och tillväxt av sockerbetor. Examensarbete. 37 s. <i>Early start and growth of sugarbeets. 37 pp.</i>
10	1994	Sasa Ristic och Tomas Rydberg. Optimering av bearbetningsintensitet och jordpackning samt studier av markfysikaliska orsaker till ojämna bestånd i oljevaxter. 13 s.
11	1994	Jennie Andersson: Vattenhaltsmätningar med TDR (time domain reflectometry) och neutronsond i försök med tidig sådd av korn. 37 s. <i>Soil moisture measurements with TDR (time domain reflectometry) and neutron probe in a field experiment of early sown</i>

Nr	År	
12	1994	Anders Gustafsson: Totalinnehåll och djupfördelning av organisk substans i mångåriga plöjningsdjupsförsök. Examensarbete. 25 s. <i>Total content and vertical distribution of organic matter in long-term experiments with different ploughing depths. 25 pp.</i>
13	1995	Sixten Gunnarsson och Göran Kritz. Olika bearbetningssystem i potatisodlingen. 12 s. <i>Different tillage systems and potato growth. 12 pp.</i>
14	1995	Daniel Johansson: Groning och plantetablering vid låga temperaturer i kärlförsök och i fältförsök med tidig sådd. 35 s. <i>Germination and plant development at low temperature in pot and field experiments. 35 pp.</i>
15	1995	Åse Littorin Johansson: Radhackning i stråsäd. 28 s. <i>Row hoeing in cereals. 28 pp.</i>
16	1995	Johan Arvidsson: Återpackning vid sådd i plöjningsfri odling. 12 s. <i>Recompaction in ploughless tillage. 12 pp.</i>
17	1995	Inge Håkansson, Editor: <i>Reports of project works by participants in the course "Soil Tillage and Related Soil Management Practices". 73 pp.</i>
18	1995	Johan Arvidsson & Virginius Feiza: Låga ringtryck i odling med och utan plöjning. 20 s. <i>Low inflation pressure in conventional and ploughless tillage. 20 pp.</i>
19	1995	Anna Lena Carlsson: Näring, kadmium och bakterier i hushållsavlopp - En fältstudie av ett urinsorterande avloppssystem med lecabädd i Östhammar. 50 s. <i>Plant nutrients, cadmium and bacteria in household wastewater - A field study of a urine separation system combined with a leca-filter in Östhammar. 50 pp.</i>

