

AVLOPPETS VÄXTNÄRING TILL JORDBRUKET I ETT LIVSCYKELPERSPEKTIV

Plant nutrients in sewage to agriculture in a life cycle perspective

av *PERNILLA TIDÅKER* och *HÅKAN JÖNSSON*
SLU, Institutionen för biometri och teknik, Box 7032, 750 07 Uppsala
e-post: *pernilla.tidaker@bt.slu.se*



Abstract

Recycling of the plant nutrients in sewage to productive land is a long-term goal set up by the Swedish society. In particular, recycling of phosphorus is considered important. To highlight recycling system from an agricultural perspective, a doctoral project was initiated with the objective to analyse environmental and resource aspects for systems recycling wastewater nutrients to agriculture and to discuss how recycling systems could be designed to fulfil specified environmental requirements. Three scenario studies were performed and are briefly described in this paper. When the recycling systems were analysed from an agricultural perspective, factors influencing the fertilising value were emphasised, as well as hindrance to optimal use. The studies revealed that the potential to replace mineral fertilisers is an important aspect, and this depends on factors such as available spreading equipment, the actual need for plant nutrients and plant availability of the nutrients. The amount of replaced mineral fertiliser is therefore a better indicator than how much that is recycled. Suitable methods for weighting the use of different non-renewable resources need to be developed, in particular for systems recycling phosphorus at the expense of an increased energy use. How depletion of sulphur should be considered also needs to be analysed.

Key words – agriculture, environmental systems analysis, LCA, life cycle assessment, on-site systems, plant nutrients, recycling, source-separation, sustainability, wastewater systems

Sammanfattning

Att återföra avloppets växtnäring till produktiv mark är ett långsiktigt mål som riksdagen satt upp. Fosfor anses som särskilt viktigt att återföra, eftersom de ekonomiska reserverna är begränsade. För att belysa lantbrukets roll i kretsloppssystem initierades ett doktorandprojekt med syftet att analysera miljö- och resursaspekter för system som återför avloppsnäring till jordbruket och att diskutera hur sådana system skall utformas för att vara resurseffektiva och samtidigt miljövänliga. Tre scenariostudier har genomförts, vilka kort beskrivs i artikeln. När återföringssystemen analyserades ur ett lantbruksperspektiv synliggjordes faktorer som påverkar hur de återförda produkterna används och fungerar som gödselmedel liksom de hinder som finns mot optimalt utnyttjande. Studierna visade att avloppsprodukternas potential att ersätta mineralgödsel är en viktig resursaspekt och att detta styrs av många faktorer, såsom tillgänglig spridningsutrustning, gårdens faktiska behov och näringens växttillgänglighet. Hur mycket som potentiellt och i praktiken kan ersätta mineralgödsel är därför en bättre indikator än hur mycket näring som återförs. Studierna visade på avsaknaden av lämpliga metoder för att viktiga användningen av olika fossila resurser, sådana behöver utvecklas. Detta är särskilt viktigt för att bedöma system som återför fosfor på bekostnad av en högre energianvändning. Hur svavel ska värderas i förhållande till andra fossila resurser behöver också analyseras.

1. Bakgrund

Ett långsiktigt mål för VA-systemen är att avloppets växtnäring återförs till produktiv mark utan att riskera människors hälsa eller miljön (Naturvårdsverket, 2002).

Fosfor anses som särskilt viktigt att återföra, eftersom de ekonomiska reserverna är begränsade, särskilt de med lågt kadmiuminnehåll. Sveriges riksdag har därför antagit som nationellt mål att minst 60 % av avloppets fosforföreningar ska återföras till produktiv mark, varav

minst hälften bör återföras till åkermark (Prop, 2005). Idag är detta kretslopp av begränsad omfattning. Livsmedelsindustrin har länge ställt sig restriktiva till användning av avloppsslam och återopat slammets innehåll av tungmetaller och organiska föroreningar, liksom konsumentaspekter och kundkrav (Berglund, 2001). Slamdebatten kulminerade 1999 då LRF gick ut med en rekommendation att bönderna inte längre skulle ta emot avloppsslam, vilket fick till följd att avsättningen inom jordbruket sjönk drastiskt. Genom projektet ReVAQ har dock kvalitetssäkrat slam från sex större reningsverk funnit avsättning inom jordbruket (Kärman et al., 2005). Slamanvändning innebär främst en återföring av avloppets fosfor. Genom att sortera ut urin och fekalier från övrigt avloppsvatten kan även andra näringsämnen än fosfor återföras till jordbruket. Källsortering som komplement till konventionell rening har förts fram som ett intressant alternativ i urbana områden, men hittills har endast få projekt genomförts.

Inte heller från enskilda avlopp återförs växtnäring i någon större utsträckning. I slammet från trekammarbrunnar hamnar endast en mindre del av växtnäringen samtidigt som en större del av tungmetallerna ackumuleras (Svensson, 1998). Intresset har ökat för lösningar som förmår att minska de övergödande utsläppen. De nya, ännu inte utgivna, allmänna råden för enskilda avloppsanläggningar innebär till exempel att specificerade funktionskrav ställs på reduktion av kväve och fosfor, vilket torde innebära att källsorterande lösningar och användning av kemisk fällning kommer att öka i omfattning. Med dessa lösningar kan en större fraktion av växtnäringen i de enskilda avloppen återföras till jordbruksmark.

Livscykelanalys (LCA) är ett ofta använt verktyg för att utvärdera uthållighetsaspekter för olika system. Ett livscykelperspektiv innebär att man strävar efter att inkludera relevanta miljöaspekter från att råvaror utvinns över deras vidareförädling och användning tills hanteringen av det avfall som uppstår. Ett stort antal livscykelanalyser har utförts på urbana VA-system men livscykelanalyser på enskilda avloppsanläggningar är sällsynta. När avloppsprodukter ersätter mineralgödsel minskar miljö- och resurspanverkan från mineralgödseltillverkningen. Fossila resurser sparas och utsläppen minskar, till exempel av växthusgasen lustgas. Men för att använda en avloppsprodukt inom jordbruket kan nya hanteringssystem behövas som kan vara förknippade med ökad miljöbelastning. Exempel är separata lagringstankar för urin eller klosettwater, liksom hämtning, hygienisering, lagring och spridning förknippad med produktens återföring. Hur produkten i verkligheten används beror av en mängd faktorer, till exempel vilken spridarutrustning som finns tillgänglig och när spridningen sker. Vissa jordar är särskilt packningskänsliga och detta begränsar

lantbrukarens handlingsfrihet ytterligare. För att belysa dessa och liknande aspekter, initierades ett doktorandprojekt inom Mistra-programmet Urban Water som fokuserar på lantbrukets roll i kretsloppssystemen. Syftet med doktorandprojektet är att analysera olika miljö- och resursaspekter för system som återför avloppsnäring till jordbruket samt att analysera hur dessa system bör utformas för att vara resurseffektiva och samtidigt miljövänliga.

2. Genomförda studier

Inom doktorandprojektet har tre scenariostudier genomförts, vilka kort beskrivs nedan.

2.1. Urin som gödselmedel till vete

Källsorterad humanurin innehåller lättillgängligt kväve och fosfor som kan ersätta mineralgödsel i spannmålsodling. I en studie jämfördes ett scenario med konventionell produktion av vete med ett scenario där halva mineralgödselgivan ersattes av källsorterad humanurin (Tidåker 2003; Tidåker et al., 2006b). I urinscenariot antogs att urinsorterande toaletter installerades och att urinen lagrades i anslutning till fastigheten i tankar med ett års lagringskapacitet. Övriga avloppsfractioner behandlades i ett konventionellt reningsverk. Den uppsamlade urinen transporterades 10 km till en gård och spreds efter lagring i växande gröda. Olika miljöaspekter jämfördes per kg producerad spannmål, vilket innebar att hänsyn togs till inverkan på skörden från markpackning och körningar i växande gröda vid spridningen av urinen.

I systemanalysen användes ett »förändringsorienterat» perspektiv. Alla större förändringar i det odlingsssystem där urin användes (urinscenariot) jämfört med det konventionella scenariot beaktades. Vid urinsortering minskar ofta användningen av dricksvatten liksom mängden avloppsvatten som behöver behandlas, vilket togs hänsyn till. Även produktionen av tillkommande kapitalvaror, t ex lagringstankar, beaktades (fig. 1).

2.2. Klosettwater i Surahammar

Genom att utsortera klosettwater kan större delen av avloppets växtnäring återföras till åkermarken utan risk för kontaminering av tungmetaller och organiska föroreningar från BDT- och dagwater. I studien modellerades ett scenario där extremt småspolande toaletter och köksavfallskvarnar installerades i bostäder i Surahammar (Tidåker et al., 2005; 2006a). Klosettwater och köksavfallet leddes via plaströr till gemensamma betongtankar som var och en rymde 30 m³. Tankarna tömdes varje månad och innehållet transporterades 10 km till en biogasanläggning. Rötresten transporterades sedan 10 km till en gård och spreds efter lagring i växande gröda. Per

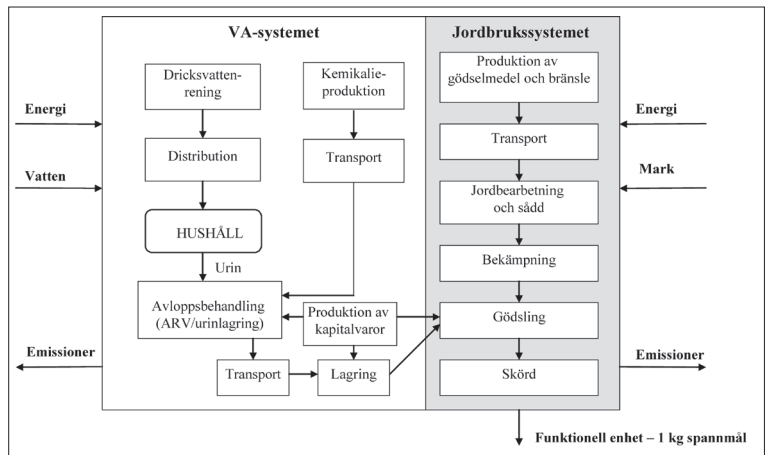


Fig. 1. Flödesschema som beskriver vilka aktiviteter som ingick i studien om urin-användning i jordbruket.

ha spreds 50 m³, vilket innebär att halva behovet av kväve och fosfor täcktes av avloppsprodukten. Scenariot med klosettvattnensortering jämfördes dels med det existerande systemet i Surahammar som bygger på att köksavfallskvarnar installerats i många hushåll, dels med ett konventionellt system för hantering av avlopp och avfall, där avloppsslammet antogs användas i jordbruket. För samtliga system ingick samhällets avfalls- och avloppshantering liksom produktion av spannmål på en given areal.

2.3. Uppgradering av enskilda avlopp i Mälardalen

Enskilda avlopp bidrar med en betydande del av fosforutsläppen till sjöar och vattendrag. En uppgradering av enskilda avlopp genom utsortering av urin eller klosett-vatten eller genom kemisk fällning av fosfor innebär att utsläppen av övergödande ämnen minskar samtidigt som den fränskilda avloppsproduktens växtnäringvärde ökar. I studien jämfördes tre olika system för uppgradering av enskilda avlopp (Tidåker et al., inskickad). I det första scenariot infördes urinsortering som komplement till befintlig rening i markbädd. Urinen långtidslagrades och spreds sedan på åkermark. I det andra scenariot installerades vakuumtoaletter och klosettvattnet från dem samlades upp. Klosettvattnet hygieniserades tillsammans med restaurangavfall genom våtkompostering och spreds sedan på åkermark. I det tredje scenariot fälldes fosfor i slamavskiljaren genom tillsättning av en fällningskemikalie. Det fosforrika trekammarbrunnsslammet hygieniserades före spridning genom tillsättning av urea. Genom känslighetsanalyser undersöktes betydelsen av olika antaganden. Bland annat utvärderades effekten av att ersätta våtkompostering med ureabehandling, liksom av att sprida urinen i den egna trädgården istället för att låta en lantbrukare hämta, lagra och sprida urinen.

3. Resultat och diskussion

3.1. Potential för att ersätta mineralgödsel

Avloppsprodukternas potential att ersätta mineralgödsel är en viktig aspekt ur resurssynpunkt. Genom att sortera ut klosett-vatten från övrigt avloppsvatten kan en stor del av avloppets växtnäring återföras. Beräknat utifrån Jönsson et al. (2005), innehåller klosett-vatten ca 90 % av kvävet i hushållsspillvattnet och drygt 70 % av dess fosfor. Återföring av bara urinen innebär att mindre kväve och fosfor kan återföras, vilket beror på att fekalier innehåller kväve och fosfor och att 15–35 % av urinen ofta sorteras fel (Palm et al., 2002). Slamanvändning innebär att en stor andel av avloppets fosfor kan återföras. Men slammets fosfor är ofta hårt bundet i järn- eller aluminiumföreningar, vilket minskar växttillgängligheten. Dessutom utförs gödsling med avvattnat slam oftast så att fosforgivan vida överstiger behovet hos en enskild gröda, vilket avviker från Jordbruksverket rekommendation att fosfor vanligtvis ska ges till varje gröda i växtföljden. Denna rekommendation beror på att fosfor blir mindre tillgängligt med tiden. Det är därför rimligt att anta att bara en del av slammets totala fosforinnehåll ersätter mineralgödsel, både med tanke på att en fleråriga ofta ges och att fosfor är bunden till aluminium eller järn.

I vilken utsträckning avloppsproduktens kväve ersätter mineralgödsel påverkas av hanteringssystemets utformning. Förlusterna kan bli stora under både lagring och spridning om inte bra teknik används. Om urin och klosett-vatten spreds med marknära teknik, till exempel genom släpplangspridning, blir ammoniakförlusterna lägre samtidigt som tekniken möjliggör spridning i växande gröda. Detta är särskilt värdefullt på packningskänsliga jordar där vårspridning av flytgödsel gärna undviks eftersom jordpackningen annars kan ge väsentligt skördebortfall (Arvidsson, 1998). För en lantbrukare

som bara har möjlighet att bredsprida gödseln och som samtidigt brukar packningskänsliga jordar kan det vara fullt rationellt att sprida urin eller klosettvattnen på hösten, trots att växternas näringsupptag då är högst begränsat. Att avloppsprodukter i jordbruket i praktiken ofta hanteras suboptimalt ur miljösynpunkt visades i en intervjuundersökning av Fernholm (1999).

Ur en uppdragsgivares synvinkel kan det vara praktiskt att anlita en djurgård för att ta hand om urin eller klosettvattnen eftersom dessa gårdar ofta har tillgång till både lagringsbehållare och spridarutrustning, något som minskar kostnaden för återföringen. Men djurgårdar har ofta redan ett stort överskott av fosfor och kalium på gården (Myrbeck, 1999) vilket innebär att de har litet behov av att tillföra ytterligare växtnäring.

Som indikatorer på uthålligheten i olika VA-system används ibland den mängd kväve och fosfor som kan återföras till åkern (Lundin et al., 1999; Lundin & Morrison, 2002; Hellström et al., 2000). Argumentet för att kväve och fosfor bör ingå som indikatorer är att ett kretslopp minskar användningen av fossila bränslen och råfosfat och minskar utsläpp av växthusgaser. Men som beskrivits ovan kan förutsättningarna för det lantbruk som tar emot en avloppsprodukt vara högst skiftande, vilket påverkar i vilken utsträckning avloppsprodukten verkligen utnyttjas som resurs. Tillgängligheten av kväve och fosfor i avloppsprodukten kan också variera betydligt. I praktiken kommer därför inte all återförd kväve och fosfor att ersätta mineralgödsel. En slutsats av de studier som bedrivits inom doktorandprojektet är därför att den mest relevanta indikatorn är hur mycket som potentiellt och i praktiken kan *ersätta* mineralgödsel, snarare än hur mycket som kan *återföras*.

3.2. Energianvändning för återföring

Användningen av fossil energi i samhället är en viktig uthållighetsaspekt. I vilken utsträckning återföring av avloppsprodukter ändrar energibehovet är därför angeläget att belysa. Mängden energi som används beror främst på insamlingssystemet, transporter, hygienisering och i vilken utsträckning kvävegödselbehovet minskar inom lantbruket. Ytterligare en viktig faktor är energin för reningen av avloppsvattnet.

För att sortera ut urin eller klosettvattnen behöver man komplettera med separata plastledningar och samlings-tankar som kan vara i betong eller plast. Dessutom krävs transportfordon, lagringstankar och spridare. Produktionen av dessa kapitalvaror kräver fossil energi som kan vara betydande i relation till den energi som sparas in genom den mineralgödsel som ersätts. I studien av urin som gödselmedel till vete uppgick primärenergien för att producera dessa kapitalvaror, sedan den slagits ut på

varornas beräknade livstid, till drygt 40 % av den totala nettoanvändningen av primärenergi. Större delen av denna ökade användning av primärenergi var kopplad till betongtankarna och plaströren på hushållsnivå. Om dessa tankar istället tillverkades i plast, mer än fördubblades primärenergien för deras tillverkning. Miljöbelastningen och kostnaden relaterad till transporter och spridning har förts fram som argument för att koncentrera urinen före långväga transport (Lind et al., 2000). Användningen av fossila bränslen är dock väsentligt lägre för att transportera urin och klosettvattnen upp till 10 km än för att producera ledningar och tankar. Även andra studier har betonat vikten av att ta med energianvändningen för tillverkning av kapitalvaror för småskaliga VA-system (Tillman et al., 1998; Lundin et al., 2000). När urin eller klosettvattnen sorteras ut minskar behovet av pumpning och behandling av avloppsvattnet och dessutom vanligen också behovet av spolvatten. Dessa faktorer kan ha en stor inverkan på den totala energianvändning, vilket studien om urin som gödselmedel illustrerade. Slutsatsen från den studien var att ett urinsorteringssystem kan minska systemets totala energibehov, men då förutsattes att betongtankar användes och att urinens kväve utnyttjades väl. Dessutom minskade eutrofierande utsläpp till vatten.

Genom att drastiskt minska på tillförseln av spolvatten till urinen/klosettvattnet, minskar behovet av lagringstankar och transporter, vilket minskar energigången och kostnaden för återföringen. Detta gäller särskilt för klosettvattnet, där utspädningen kan vara betydande. Håri ligger alltså en potential att förbättra systemen i framtiden.

I studien om uppgradering av enskilda avlopp var energianvändningen betydligt högre för klosettvattnet än för systemen med kemfällning respektive urinsortering. Användningen av primärenergi var dubbelt så hög för klosettvattnet som för kemfällning och 12 gånger så hög som för urinsortering. Anledningen till den avsevärt högre energianvändningen var att våtkompostering användes för hygienisering. Återföring kräver att en hög hygienisk standard kan säkerställas så att inte smittämnen sprids i miljön. Enligt ett förslag till ny förordning för användningen av avloppsfraktioner skall dessa hygieniseras och våtkompostering är en föreslagen hygieniseringsmetod. En nackdel som belyses av exemplet ovan är att denna metod använder mycket elektricitet för luftning och omrörning. När hygieniseringen istället gjordes med urea minskade elanvändningen med över 90 %. Samtidigt ökade användningen av fossila bränsle med 80 % bland annat på grund av att kväveförlusterna från produkten antogs öka. Fördelen med att använda urea eller ammoniak för hygienisering är att tillförd kväve ökar avloppsproduktens växtnäringvärde, vilket innebär att lantbrukaren kan ersätta mer mineral-

gödselkväve. Pågående forskning har visat att urea och ammoniak är lovande hygieniseringsalternativ (Vinnerås, 2005). För att kunna utforma mer detaljerade riktlinjer om hur metoden ska användas under olika betingelser krävs dock mer forskning och utvärderingar från storskalig implementering.

Till skillnad från återföring av slam och klosettvattnen, innebär utsortering av urin att hygieniseringen kan göras mycket enkel genom lagring. Urinen från det egna hus hållet kan också enkelt användas i den egna trädgården, vilket innebär att kapitalvaror, energi och kostnader förknippade med storskalig transport, lagring och spridning kan elimineras. I en extensivt skött trädgård kan dock behovet av växtnäringstillförsel vara ytterst begränsat, vilket innebär att mineralgödsel inte kommer att ersättas, men trots detta visade sig denna användning vara resursmässigt intressant.

3.3. Viktning av olika resurser

Av tidigare fört resonemang framgår att system som återför växtnäring inte med automatik innebär att energianvändningen minskar. En ökad återförsel av fosfor innebär i vissa fall att användningen av fossila bränslen eller el ökade. Hur ska man då väga den sparade råfosfaten mot den ökade användningen av fossil energi? Ett flertal metoder finns för att värdera användning av ändliga resurser. Vissa av dessa relaterar användningen till de totala resurserna, oavsett deras tillgänglighet, medan andra relaterar till de idag ekonomiskt brytvärda reserverna. Om denna senare metod används kommer svavel att väga mycket tungt, eftersom livslängden för dess ekonomiska reserv är kort (ca 30 år). Produktionen av svavel sker idag främst som en biprodukt från avsvavling av naturgas och råolja. Eftersom tillgången på svavel är stor blir priset lågt, vilket innebär att bara de allra mest lättillgängliga svavelresurser ingår i de ekonomiska reserverna. Svavel är ett makronäringsämne som används i större mängd än fosfor av svenskt jordbruk idag. En fördjupad analys behövs av hur man ska värdera svavelanvändning jämfört med användningen av andra fossila resurser. Hur betydelsefullt man bedömer återföring av fosfor beror även på om man jämför med de totala resurserna eller de ekonomiskt brytvärda reserverna.

3.4. Utsläpp till vatten och luft

Ett genomgående resultat från studierna var att utsortering av urin och klosettvattnen minskade utsläppen av kväve och fosfor. Konsekvenserna av en tänkt storskalig implementering av urinsortering i Mälardalen visade dock på små förbättringar för vattenmiljön. Detta be-

rodde på att urinsorteringen antogs vara ett komplement till en redan väl utbyggd avloppsrening med avseende på både kväve och fosfor. En högre potential för att förbättra recipientkvalitén är därför om sorterande system införs först och främst som komplement till enskilda avloppsanläggningar, särskilt de som är belägna i känsliga miljöer.

När flytande avloppsprodukter ersätter mineralgödsel i jordbruket, ökar ammoniakutsläppen. Dessutom kan längre transporter leda till ökade luftemissioner. Dessa båda faktorer bidrog till att de försurande utsläppen var högre när avloppsprodukter användes som gödselmedel jämfört när endast mineralgödsel användes.

Utsläppen av växthusgas var i ungefär samma storleksordning oavsett vilket gödselmedel som användes. Visserligen minskade utsläppen av lustgas, en mycket potent växthusgas, när produktionen av mineralgödsel minskade, men detta komparerades av ökade lustgasemissioner från marken efter spridning av avloppsprodukterna. Det är därför svårt att dra några entydiga slutsatser om hur återföringssystemen påverkar utsläppen av växthusgaser.

4. Slutsatser

Lantbruket har en central roll i kretsloppsbaseerade avloppssystem. Genom att analysera återföringssystem ur ett lantbruksperspektiv synliggörs faktorer som påverkar hur en avloppsprodukt används som gödselmedel och de hinder som finns för ett optimalt utnyttjande. Härigenom kan intressekonflikter kring växtnäring återföring belysas.

Avloppsprodukternas ersättning av mineralgödsel är en viktig aspekt och denna styrs av en mängd olika faktorer såsom tillgänglig spridningsutrustning, gårdens faktiska näringsbehov och produkternas växttillgänglighet. Hur mycket som potentiellt och i praktiken kan ersätta mineralgödsel är därför bättre indikatorer än hur mycket som kan återföras.

Lämpliga metoder för att vikta användningen av olika fossila resurser behöver utvecklas. Detta är av särskild vikt för att kunna bedöma system som återför fosfor på bekostnad av en högre energianvändning. Hur svavel ska värderas i förhållande till andra fossila resurser behöver också analyseras.

Slutsatserna från studierna visar att man inte entydigt kan peka ut *en* lösning som varande den helt igenom bästa lösningen eftersom resultaten ofta pekar i olika riktningar. Genom ett livscykelperspektiv kan man emellertid få insikter om vilka delar i återföringskedjan som är kritiska ur miljö- och resurssynpunkt och hur utformningen av ett kretsloppssystem påverkar olika aspekter.

Referenser

- Arvidsson J. 1998. Beräkningar av ekonomiska förluster av jordpackning vid flytgödselspridning. Miljöteknikdelegationen, Pm 1998:5, Stockholm.
- Berglund M. 2001. Livsmedelssektorns syn på växtnäring från stad till land. Rapport 244, Institutionen för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Fernholm M. 1999. Erfarenheter av sorterad humanurin i lantbruket. Resultat från en intervjustudie. Examensarbete inom Hortonomprogrammet 1999:13, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.
- Hellström D, Jeppsson U, Kärrman E. 2000. A framework for systems analysis of sustainable urban water management. *Environmental Impact Assessment Review* 20(3):311–321.
- Jönsson H, Baky A, Jeppsson U, Hellström D, Kärrman E. 2005. Composition of urine, faeces, greywater and bio-waste. *Urban Water Report* 2005:6, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Kärrman E, Rydhagen B, Svensson G. 2005. Utvärdering av ReVAQ. Delrapport 2003. CIT Urban Water Management AB.
- Lind B-B, Ban Z, Bydén S. 2000. Nutrient recovery from human urine by struvite crystallization with ammonia adsorption on zeolite and wollastonite. *Bioresource Technology* 73:169–174.
- Lundin M, Bengtsson M, Molander S. 2000. Life cycle assessment of wastewater systems: Influence of system boundaries and scale on calculated environmental loads. *Environmental Science & Technology* 34(1):180–186.
- Lundin M, Molander S, Morrison GM. 1999. A set of indicators for the assessment of temporal variations in the sustainability of sanitary systems. *Water Science and Technology* 39(5):235–242.
- Lundin M, Morrison GM. 2002. A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems. *Urban Water* 4:145–152.
- Myrbeck Å. 1999. Växtnäringsflöden och –balanser på gårdar med olika driftsinriktningar. En studie av 1300 svenska gårdar. Meddelande från jordbearbetningsavdelningen nr 30. Institutionen för markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Naturvårdsverket. 2002. Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp. Huvudrapport till Bra slam och avlopp i kretslopp. Rapport 5214.
- Palm O, Malmén L, Jönsson H. 2002. Robusta, uthålliga små avlopp. En kunskapssammanställning. Rapport 5224, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Prop. 2005. Svenska miljömål – ett gemensamt uppdrag. Proposition 2004/05:150.
- Svensson S-E. 1998. Slam från trekammarbrunnar är inget gödselmedel för jordbruket. *Biologik* 4, Movium, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.
- Tidåker P. 2003. Life cycle assessment of grain production using source-separated human urine and mineral fertiliser. Rapport 251, Institutionen för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Tidåker P, Kärrman E, Baky A, Jönsson H. 2005. Wastewater management integrated with farming. An environmental systems analysis of the model city Surahammar. Rapport 2005:05, Institutionen för biometri och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Tidåker P, Kärrman E, Baky A, Jönsson H. 2006a. Wastewater management integrated with farming – an environmental systems analysis of a Swedish country town. *Resources, Conservation and Recycling*. In press.
- Tidåker P, Mattsson B, Jönsson H. 2006b. Environmental impact of wheat production using human urine and mineral fertilisers – a scenario study. *Journal of Cleaner Production*. Doi:10.1016/j.jclepro.2005.04.019. In press.
- Tidåker P, Sjöberg C, Jönsson H. Local recycling of plant nutrients from small-scale wastewater systems to farmland – a Swedish scenario study. Inskickad till *Resources Conservation and Recycling*.
- Tillman A-M, Svingby M, Lundström H. 1998. Life cycle assessment of municipal waste water systems. *International Journal of LCA* 3(3):145–157.
- Vinnerås, B. 2005. Hygienisering av klosettavatten för säker växtnäring återförel till livsmedelsproduktionen. Rapport 2005:04, Institutionen för biometri och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.