



Miljösystemanalys av VA-system i omvandlingsområden – Fallstudie i Värmdö kommun

Environmental assessment of wastewater system in transition areas – Case study in Värmdö municipality

Åsa Erlandsson



SLU
Institutionen för biometri och teknik

Examensarbete 2007:2

SLU
Department of Biometry and Engineering

Uppsala 2007
ISSN 1652-3245

SAMMANFATTNING

Hantering av enskilda avlopp har blivit en allt mera aktuell fråga. I Stockholms län bidrar de 90 000 enskilda avloppen med ett större fosforutsläpp till recipient än de två största regionala avloppsreningsverken Henriksdal och Käppala tillsammans, vilka renar avloppsvatten från mer än en miljon invånare.

När sommarstugeområden omvandlas till permanentboende, så kallade omvandlingsområden, ökar belastningen på de befintliga enskilda avloppen, som i många fall är otillräckliga. I dessa områden är det inte på förhand givet vad som bäst ersätter otillräckliga avloppsanordningar: enskilda system, gemensamhetssystem, eller anslutning till centralt avloppsreningsverk.

År 2005 startades VeVa-projektet. VeVa står för Verktyg för miljöbedömning av VA-system i omvandlingsområden. Projektet avser att skapa ett verktyg som kan hjälpa kommuner, konsulter och miljömyndigheter att bedöma vilken typ av system som passar bäst i ett specifikt omvandlingsområde. Följande examensarbete utgör basen för VeVa-verktyget och har som mål att i en miljösystemanalys jämföra sex avloppssystem utifrån viktiga miljö- och resursaspekter. Ett omvandlingsområde från Värmdö kommun används som fallstudie.

Följande miljö- och resursaspekter har studerats: Utsläpp av kväve, fosfor, BOD₇ och kadmium till recipient; Avloppssystemens potential att återföra växttillgänglig kväve och fosfor till åkermark samt mängden kadmium som samtidigt tillförs åkern;

Dricksvattenanvändning i de studerade avloppssystemen och Energianvändning vid framställning/tillverkning, anläggning och drift av avloppssystemen och hantering av de producerade avloppsprodukterna.

I examensarbetet studeras sex avloppssystem. De innefattar de idag befintliga systemen i Värmdö kommun; Markbädd, Lokalt ARV och Central anslutning, samt tre system som anses ha god reningspotential; Filterbädd, Urinsortering + filterbädd och Aerob membranbioreaktor + omvänd osmos.

Resultaten visar att alla studerade avloppssystemen förutom Markbäddssystemet har minst 90 % fosforreduktion och kan genom avloppsprodukter återföra relativt mycket fosfor till jordbruk. Avloppssystemen med en högre energianvändning kan enligt studien uppnå en bättre rening och erhålla mer koncentrerade och renare avloppsprodukter än systemen med lägre energianvändning. Diskussionen tar upp komplexiteten med att jämföra miljö- och resursaspekter, samt andra aspekter än de som ingår i studien, som också är viktiga att väga in vid val av avloppssystem.

Slutsatserna som kan dras av studien är att alla studerade system förutom Markbäddssystemet kan klara reningskraven från Naturvårdsverkets Allmänna råd för små avloppsanordningar (både hög och låg skyddsnivå). Alla system förutom Markbäddssystemet har potential att ersätta relativt mycket fosfor och klarar därmed Riksdagens miljö kvalitetsmål om fosforåterföring. Dricksvattenanvändningen påverkas marginellt av valet av avloppssystem. Energianvändningen för drift respektive anläggning varierar mycket mellan avloppssystemen. För de båda Filterbäddssystemen är anläggningsenergin markant högre än deras driftsenergi, för Anaerob membranbioreaktor + omvänd osmos är i stället driftsenergin mycket högre än dess anläggningsenergi. För övriga system är anläggningsenergin av samma storleksordning som driftsenergin.

ABSTRACT

Wastewater handling of private sewage systems has become an all increasing matter. In Stockholm region the 90 000 private sewage systems contribute with larger phosphorus flows to the Baltic Sea than the two biggest sewage plants in the area, Henriksdal and Käppala, contribute together, even though these two plants purify wastewater from more than one million inhabitants.

When summer house areas turn into areas for permanent living – transition areas – the load on the existing systems increases, systems that already often are unsatisfying. In those areas it is not clear what the best system choice is; On-site systems for single households; Local collective systems or Connection to central systems.

The VeVa-project was initiated in the year 2005. VeVa stands for Tool for environmental assessment of wastewater handling in transition areas. The aim of the project was to create a tool to support municipalities and consultants to evaluate what type of system is best suited, in environmental means, for a specific transition area. This Master Thesis is the base for the VeVa-tool and the aim was to compare six different sewage systems in an environmental assessment analysis, taking in consideration important environmental- and resource aspects. A transition area in Värmdö community has been used for a case study.

The following environmental- and resource aspects have been studied; Flows of nitrogen, phosphorus, BOD₇ and cadmium to recipient; The potential of the different sewage systems to bring plant available nitrogen and phosphorus by residues to arable land, and the amount of cadmium that is at the same time added to the field; Use of clean water; and Energy used for producing materials, construction and operation for the sewage systems, including taking care of the residues.

In this study, six different sewage systems have been studied. They include three systems that are being used today in Värmdö community; Sand filter systems, Local waste water treatment plant and Connection to large scale waste water treatment plant. Three other systems considered to have a good purifying potential have also been studied; Reactive filter beds, Urine separation + reactive filter beds and Aerobe membrane bioreactor + reversed osmosis.

The results show that all the studied sewage systems, except the Sand filter system, have at least 90 % reduction of phosphorus and can via the residues recycle a relatively large amount of phosphorus to arable land. The sewage systems with higher energy consumption can, according to the study, reach a better level of purification and get more concentrated and clearer residues than the systems using less energy. The discussion deals with the complexity of comparing environmental- and resource aspects, as well as other important aspects not included in this study, when choosing a sewage system.

The conclusions to be drawn in this Master Thesis is that all the studied systems except for the Sand filter system can fulfil the limits of purification from the Swedish EPAs recommendations for small sewage systems (high as well as low level of protection). All systems apart from the Sand filter system have the potential to fulfil the national environmental goal of recycling phosphorus from residues. The used amount of clean water is hardly affected by the sewage system chosen. The energy use for the production of materials, system construction and operation varies much between the systems. For the two Reactive filter bed systems the energy for production of materials are considerably higher than for operation, while Aerobic membrane bio reactor + reversed osmosis has the opposite conditions with considerably more energy use for operations than for production of materials.

For the remaining systems the amount of energy used fore production is about the same as for the operation.

FÖRORD

Följande studie är ett 20 poängs examensarbetet för Naturresursutbildningen med inriktning mot markvetenskap vid SLU, Uppsala.

Studien utgör ett delprojekt av ”VeVa-projektet”, som är ett samarbete mellan Värmdö kommun, Stockholm Vatten AB, CIT Urban Water Management och Ecoloop AB. Projektet finansieras av miljöanslag från Stockholmsläns landsting. VeVa står för Verktyg för miljöbedömning av VA-system. Examensarbetet är en miljösystemanalys som jämför sex olika avloppssystem utifrån viktiga miljö- och resursaspekter vid val av avloppssystem i omvandlingsområden. Lillängsdal, ett omvandlingsområde i Värmdö kommun utgör fallstudie.

Handledare för examensarbetet är Doktorand Pernilla Tidåker, SLU och Dr Erik Kärrman, Ecoloop AB. Examinator är Prof Arne Gustafson, SLU.

Stora tack till Pernilla för fantastiskt engagemang och stöd, och inte minst för att du hittade exjobbet åt mig! Lika stora tack till Erik och Ecolooparna för arbetsglädje, förtroende, skratt och glassar i parken!

INNEHÅLL

INTRODUKTION	1
Bakgrund	1
Tidigare studier	2
SYFTE OCH OMFATTNING	4
Syfte	4
Studerade aspekter	4
Aspekter som uteslutits	5
METOD	6
Miljösystemanalys med ett livscykelperspektiv	6
Funktionell enhet	7
Systemgränser	7
STUDERADE AVLOPPSSYSTEM	9
Avloppssystem för omvandlingsområden	9
Alt 1. Markbäddssystem	10
Alt 2. Filterbäddssystem	12
Alt 3. Urinsortering + filterbädd	13
Alt 4. Lokalt avloppsreningsverk	14
Alt 5. Aerob membranbioreaktor + omvänd osmos	16
Alt 6. Centralt avloppsreningsverk	17
GENERELLA ANTAGANDEN	19
Dricksvattenanvändning	19
Avloppsvatten – mängder och innehåll	19
Reduktion	20
Kväve, fosfor och kadmium till åker	22
Energibesparing vid ersättning av handelsgödsel	26
Energianvändning för drift	26
Energianvändning vid anläggning och tillverkning	29
FALLSTUDIE LILLÄNGSDAL	31
Områdesspecifik data från Lillängsdal	31
Befintliga avloppslösningar i Lillängsdal	31
UTVÄRDERING AV DE SEX AVLOPPSSYSTEMEN I LILLÄNGSDAL	34
Utsläpp till vatten	34
Kväve, fosfor och kadmium till åker	35
Dricksvattenanvändning	38
Energianvändning för materialframställning, anläggning och drift	39
Normalisering	41
DISKUSSION	43
SLUTSATSER	46
REFERENSER	47
Tryckta referenser	47
Internetreferenser	49
Personliga meddelanden	49
BILAGOR	51
Bilaga 1. Indata för drift av Centralt avloppsreningsverk	51
Bilaga 2. Beräkningar för energianvändning för återföring av avloppsprodukter	52
Bilaga 3-9. Beräkningar för avloppssystemen	54
Bilaga 10. Sammanställning av beräkningarna för avloppssystemen	69
Bilaga 11. Beräkningar känslighetsanalys	71

INTRODUKTION

Bakgrund

Nationellt

Med ökad kunskap och hårdare regler fungerar idag avloppsvattenreningen i centrala reningsverk bra och innebär relativt låga utsläpp. Fokus har i stället vänts mot de diffusa utsläppskällorna där enskilda avlopp står för en betydande del av dagens fosforutsläpp till hav och sjöar.

Hantering av avloppsvatten från enskilda avlopp är en aktuell fråga som berör flera av riksdagens 16 miljö kvalitetsmål, bland annat målen: ”Ingen övergödning”, ”Hav i balans”, ”Levande sjöar och vattendrag”, ”Giftpri miljö” och ”God bebyggd miljö” (Naturvårdsverket, [www¹](http://www.naturvardsverket.se)). Regeringens miljö kvalitetsmål skall vara vägledande för en framtida hållbar samhällsutveckling. I strävan att nå dit måste hushållningen av jordens resurser förbättras. I avloppssammanhang finns potential att recirkulera näringsämnen. Fosfor uppmärksammas mest då de brytvärda fosforkällorna som nyttjas till handelsgödsel framställning är en ändlig resurs. För att minska brytningen av råfosfat skall före år 2015 minst 60 % av fosfor från avlopp återföras till produktiv mark, varav minst hälften till jordbruksmark (prop 2000/01:130). Andra ändliga resurser vars användning bör minimeras är fossila bränslen och uran. Hantering och rening av avloppsvatten kräver energi för tillverkning och drift av reningsanläggningarna, samt för transporter av avloppsprodukter vid återföring till jordbruksmark.

I augusti 2006 kom Naturvårdsverkets Allmänna råd om små avloppsanordningar för hushållspvatten. För att komma till rätta med utsläppen från enskilda avlopp rekommenderas 70 % fosforreduktion och 90 % BOD₇ reduktion från avloppsvatten. I känsliga områden rekommenderas dessutom 50 % kvävereduktion och 90 % fosforreduktion (NFS 2006:7).

En i avloppssammanhang alltmera omdiskuterad form av områden är sommarstugområden som med tiden blivit åretruntbebodda, så kallade omvandlingsområden. Det är tätbebyggda områden med hus som ofta har en otillfredsställande rening i enskilda avloppsanläggningar. Kunskap om effektiva åtgärder för avloppshantering i omvandlingsområden är idag begränsad. Ett flertal miljösystemanalyser har tidigare utförts på urbana VA-system och några för avloppsanläggningar för enskilda hushåll, men inga studier har gjorts specifikt för omvandlingsområden.

Stockholm

I Stockholms län finns omkring 90 000 enskilda avlopp. En undersökning av Regionplane- och trafikkontoret, Stockholms läns landsting (RTK) från 2003 visar att 20 % av dessa avlopp har undermålig reningsgrad och 20 % okänd reningsgrad. Den undermåliga avloppsreningen bidrar till övergödning av recipient och ibland till förorening av närliggande dricksvattenbrunnar. I Stockholms län står de enskilda avloppen för en större andel fosforutsläpp än Käppala- och Henriksdals reningsverk tillsammans, trots att de båda verken renar avloppsvatten för drygt en miljon invånare (RTK, 2003).

Avloppsproblematiken är extra svår i kustområden. Områdena är ofta kuperade, jordlagren tunna och avstånden till recipienten många gånger korta. Stockholms skärgård är hårt exploaterad, särskilt sommartid. Närheten till huvudstaden, människors önskan att bo naturnära och bostadsbristen i Stockholm har medfört en accelererande utflyttning och ökat

åretruntboende i skärgårdsområden. Hela sommarstugoområden har blivit omvandlingsområden.

Sinande dricksvattenbrunnar och saltvatteninträning hör också till skärgårdsproblematiken. På många håll finns idag förbud mot nyinstallation av vattenklosetter. På de framtida avloppssystemen ställs därmed krav på låg vattenförbrukning.

VeVa-projektet

I november 2005 startades "VeVa-projektet" – Verktyg för miljöbedömning av VA-system i omvandlingsområden. VeVa-projektet är ett samarbete mellan Värmdö kommun, Stockholm Vatten AB, CIT Urban Water Management och Ecoloop AB. Projektet finansieras av landstingets miljöanslag.

VeVa-projektets syfte är att skapa ett lättanvänt verktyg baserat på ett antal miljö- och resursaspekter för att jämföra tänkbara avloppssystem för omvandlingsområden. Verktyget skall utvecklas på ett sätt som gör en utökning möjlig, så att ytterligare avloppsalternativ kan läggas till i framtiden. Verktyget är tänkt att komma till användning av kommunala tjänstemän, miljöinspektörer och VA-förvaltningar, liksom av konsultföretag och myndigheter. Verktyget är i första hand framtaget för kustnära omvandlingsområden, men kan även nyttjas i andra typer av områden med behov av bättre avloppssystem.

Under slutet av 2005 arbetade projektgruppen fram nio tänkbara avloppssystem att studera. Avloppssystemen har potential att uppfylla gällande lagar och krav för avloppshantering utifrån Naturvårdsverkets allmänna råd för små avloppsanordningar för hushållsspillvatten och riksdagsbeslutet för fosforåterföring genom miljömålet "God bebyggd miljö". De valda avloppssystemen representerar enskilda system, gemensamhetssystem och central anslutning.

Två examensarbeten har upprättats inom projektet. I det första examensarbetet utvärderas fyra hightech-reningsverk som idag drivs som pilotprojekt i Hammarby Sjöstad samt anslutning till centralt reningsverk. Examensarbetet är gjort i form av en utökning av den befintliga URWARE-modellen. Följande rapport är det andra examensarbetet inom projektet. Det jämför, utifrån valda miljö- och resursaspekter, sex avloppssystem som alla kan vara tänkbara alternativ för omvandlingsområden. Jämförelsen utgör basen för VeVa-verktyget.

Omvandlingsområden från Värmdö kommun används som fallstudier för VeVa-verktyget. Områdena representerar omvandlingsområden som ligger relativt långt från centralt reningsverk, har tämligen närliggande bebyggelse och består av kuperad och svårinfiltrerad terräng.

Tidigare studier

De flesta miljösystemanalyser som gjorts inom VA-området behandlar storskaliga avloppssystem, medan endast ett fåtal behandlar småskaliga system. Inga tidigare studier har gjorts specifikt för omvandlingsområden. Nedan följer en sammanställning av, för VeVa-projektet, relevanta studier som gjorts.

Bengtsson m fl (1997) jämför i en LCA ett konventionellt avloppssystem med ett alternativt avloppssystem i tre olika fallstudier. Resultaten visar på att alternativa system kan ge positiva miljömässiga fördelar. Resultaten belyser även vikten av utökade systemgränser, som inkluderar hushåll, VA-system och jordbruk, för att ge en mer rättvisande bedömning av miljöbelastningen.

Wittgren m fl (2003) studerar fem småskaliga avloppssystem i en miljösystemanalys. Systemalternativen är bl a markbädd, urinsortering och klosettvattnensortering. De studerade

aspekterna är energianvändning i driftsfas, kväve, fosfor och kadmium till mark och vatten (vid avloppsvattenrening och återföring), smittspridning, ekonomi och brukaraspekter. Resultaten visar att de sorterande alternativen är bättre än de övriga gällande miljöpåverkan och återföring, men är i gengäld sämre energimässigt, ekonomiskt eller i brukarsynpunkt.

Karlsson (2005) jämför i en miljösystemanalys två filterbäddar med olika filterbäddsmaterial samt en vanlig markbädd. Aspekterna som studeras är energianvändning för anläggning och drift, flöden av kväve, fosfor och metaller till mark och vatten, resursanvändning samt smittskydd. Resultaten visar att filterbäddarna jämfört med markbädden har god fosforreducerande förmåga och därmed återföringspotential men är betydligt mer energikrävande att tillverka.

Tidåker m fl (2006) undersöker i ett livscykelperspektiv energiomsättning i driftsfas och investeringsfas, reduktionsgrad samt återföringspotential av näringsämnen för tre enskilda avloppssystem. Studien avser en uppgradering av befintliga enskilda avloppslösningar genom utbyggnad av urinsortering, klosettvattnensortering eller kemfällning i slamavskiljaren. Resultaten visar att det urinsorterande alternativet har lägst energianvändning men störst fosforutsläpp. Det klosettsorterande alternativet har högst elanvändning men ett lågt fosforutsläpp, alternativet med kemikaliefällning har lägst fosforutsläpp men högst fossil energianvändning.

SYFTE OCH OMFATTNING

Syfte

Målet med examensarbetet är att jämföra sex olika avloppssystem för kustnära omvandlingsområden, med hänsyn till miljö- och resursaspekter som är viktiga vid val av avloppssystem. Data för valda avloppssystem skall utgöra basen för VeVa-verktyget (Verktyg för miljöbedömning av VA-system). I examensarbetet testas de sex avloppssystemen på ett representativt område från Värmdö kommun.

Studerade aspekter

VeVa-projektgruppen hade före starten av mitt examensarbete påbörjat urvalet av miljö- och resursaspekter att basera bedömningen av avloppssystemen på. Under examensarbetets gång har sedan miljö- och resursaspekterna reviderats. Nedan följer de aspekter som jag i samråd med projektgruppen valt att studera.

Utsläpp av N, P och BOD₇

Utsläpp av näringsämnen till recipient, bidrar till övergödning. I de flesta miljöer begränsas den biologiska tillväxten av fosfor (P) eller kväve (N), varför avloppssystemens fosfor- och kvävereduktion är viktig att studera. BOD₇ (biological oxygen demand) är ett mått på syreförbrukande materia, om denna materia släpps ut till recipient kommer syre från vattnet att förbrukas vid nedbrytning. Höga halter av BOD₇ kan bidra till syrelösa bottenar. Vi har valt att titta på hur mycket kväve, fosfor och BOD₇ som reduceras i avloppssystemen och hur mycket som släpps ut till recipienten.

Återföring av N och P

Genom att återföra avloppsprodukter till jordbruket kan vi sluta kretsloppet av växtnäring. Kväve är det näringsämne grödor behöver mest av för sin tillväxt, samtidigt som tillverkningen av kvävegödselmedel är en energikrävande process. Fosfor behövs också för grödornas tillväxt, återföring av fosfor är framförallt intressant ur resurssynpunkt. Vi har därför valt att studera hur mycket växttillgängligt och svårtillgängligt kväve och fosfor som genom avloppsprodukter kan återföras till jordbruksmark ifrån de olika avloppsalternativen. Vi tittar även på hur mycket kväve och fosfor som förs till jordtillverkning.

Cd till åker och recipient

Bad-, disk- och tvättvatten (BDT-vatten) innehåller ofta tungmetaller som redan vid liten mängd kan vara toxiska för djur och växter. Kadmium (Cd) är den tungmetall man främst uppmärksammar i återföringssammanhang, eftersom växter kan förväxla kadmium med mikronäringsämnet zink och därmed ta upp kadmium istället. Människor och djur som utsätts för förhöjt kadmiumintag kan drabbas av lever och njurskador (Klaassen, 2001). I riksdagens miljö kvalitetsmål "Giftfri miljö" är tungmetallerna kvicksilver, kadmium och bly utpekade som särskilt farliga och skall på sikt fasas ut, för att i framtiden endast förekomma i naturligt höga nivåer (Naturvårdsverket, [www²](http://www2)). I examensarbetet studeras kadmiummängderna i avloppsprodukterna och kadmiummängderna som når recipienten.

Dricksvattenanvändning

Då dricksvatten i många områden är en knapp resurs, beräknas och jämförs vattenanvändningen för de olika avloppssystemen. I verktyget skiljs användningen av lokalt grundvatten från användningen av centralt mälervatten.

Energianvändning i anläggning

Tidigare miljösystemanalyser av avloppssystem visar på att energianvändning i drift och anläggning av avloppssystem endast utgör en liten del av den energi som används i Sverige idag (Tidåker m fl, 2005; Tillman m fl, 1996). I denna studie har energiaspekten ändå valts att tas med, eftersom energiproduktion blivit en alltmer aktuell fråga som berör utnyttjandet av naturresurser i olika former. Dessutom undersöks i denna studie tidigare ej utredda avloppssystem och områdesförhållanden.

”Energianvändning i anläggning” innefattar både energianvändning vid anläggning av avloppssystemen och tillverkning av ingående systemkomponenter. I tillverkning av systemkomponenterna ingår transport av basmaterial till fabrik och frakt av komponent till kund. Energianvändningen redovisas i el och fossila bränslen.

Energianvändning i driftsfas

Energianvändning i drift av avloppssystemen syftar till att se hur mycket el och fossila bränslen som krävs för att driva avloppshantering i de olika systemen. Driften av systemen innefattar transport till reningsverk, avloppsvattenrening, hygienisering och/eller förädling av avloppsprodukten samt spridning av avloppsprodukten på åker. Även eventuell energiproduktion i avloppssystemen ingår under ”energianvändning i driftsfas”.

Ersättning av handelsgödselmedel

Återföring av restprodukter till jordbruk (växttillgängligt kväve och fosfor) värderas genom att beräkna utebliven energianvändning för produktion av den handelsgödsel som kan ersättas.

Energianvändningen för handelsgödsel innefattar transport av råmaterial och tillverkning av handelsgödsel.

Aspekter som uteslutits

Ytterligare aspekter som förordades av projektgruppen var; producerade växthusgaser, försurande luftemissioner och mängd återfört kalium och svavel till åkermark genom avloppsprodukter.

”Producerade växthusgaser” uteslöts från studien av olika anledningar. En aspekt är att tidigare studier visar att växthusgaser från avloppshantering endast utgör en liten del av totalutsläppet av växthusgaser i Sverige (Tidåker m fl, 2005). En annan aspekt är att kunskaperna kring lustgasavgång vid återföring av avloppsprodukter till åker idag är begränsade (Tidåker m fl, 2005).

”Försurande luftemissioner” uteslöts från studien för att minska examensarbetets omfattning och för att på så sätt konsekvent utelämnas alla luftemissioner från projektet.

”Återföring av kalium och svavel till jordbruksmark” uteslöts från studien då endast få och osäkra mätningar av kalium- och svavel i systemens avloppsprodukter fanns att tillgå.

METOD

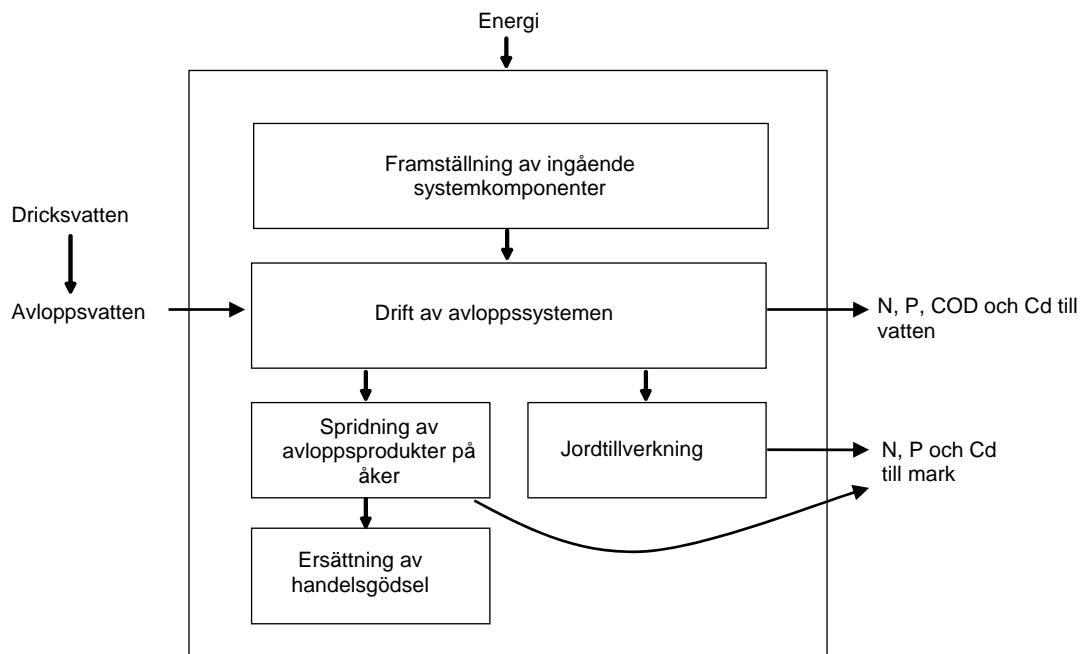
Miljösystemanalys med ett livscykelperspektiv

En miljösystemanalys är ett samlingsbegrepp för ett antal metoder som bedömer miljöpåverkan som uppstått eller förväntas uppstå i socio-tekniska system, det vill säga i interaktionen mellan samhället och den omgivande miljön.

En av metoderna är Livscykelanalys (LCA). LCA kan beskrivas som en metod för att summera resurs- och miljökonsekvenser av samtliga aktiviteter som påverkar en produkts livscykel från vaggan till graven. En LCA består av fyra faser; definition av målsättning och omfattning, inventeringsanalys, bedömning av miljöpåverkan och tolkning av resultaten. Struktur, principer och krav för en LCA styrs av miljöledningssystemet ISO 14 040 (Baumann och Tillmann, 2004).

Den här studien skall jämföra avloppssystemens miljö- och resursaspekter ur ett livscykelperspektiv. Studien följer inte standarden för LCA men tar fasta på ”vaggan till graven”-perspektivet. Energianvändningen för avloppssystemen följs från extrahering av material till tillverkning av systemkomponenter och anläggning av avloppssystem och därefter avloppssystemens driftsfas. Skrotning av systemen utesluts i studien då det idag är vanlig att uttjänade systemkomponenter bara lämnas kvar i marken.

Studien skall samtidigt ge en översiktlig bild av avloppsvattnets ämnesflöden. Avloppsvattnet följs från hushållet, genom rening och eventuell förädling av avloppsprodukterna och slutligen användning av avloppsprodukterna. Då produkterna ersätter handelsgödsel bidrar dessa till energibesparing i form av handelsgödselproduktion.



Figur 1. Generell systembild för avloppssystemen.

I Figur 1 visas den generella systembilden för de sex avloppssystemen. Från höger till vänster kan man följa substansflödet från avloppsvattnet. Uppifrån och ner kan man följa energianvändning/energiproduktion vid anläggning och drift av avloppssystemen.

Funktionell enhet

För att kunna jämföra de olika avloppssystemen krävs en jämförbar enhet som benämns funktionell enhet. Den funktionella enheten för projektet är behandlat avloppsvatten per boende och år.

Systemgränser

För att definiera omfattningen av en studie används systemgränser. Nedan preciseras avgränsningar för avloppssystemen under fyra rubriker; avgränsningar mot natursystem, avgränsningar mot andra produkters livscyklar, tidsmässiga avgränsningar och geografiska avgränsningar.

Avgränsningar mot natursystem

Vid återföring av restprodukter till jordbruksmark har mängden kväve, fosfor (växttillgänglig och svårtillgänglig) och kadmium som förs till jordbruksmark beräknats. Den eventuellt ökade markpackningsgraden som spridningen av avloppsprodukter kan förväntas medföra bortses. Även de positiva effekterna av återföring, såsom ökning av markens organiska innehåll, bortses ifrån. Hur kadmium påverkar marken och grödan ingår heller inte i studien.

För utsläpp av näringsämnen, BOD₇ och kadmium till recipient har endast mängderna som förväntas nå recipienten beräknats. Hur dessa utsläpp påverkar den omgivande miljön ingår inte i systemet.

Mängden använt dricksvatten redovisas bara utifrån vad systemen kräver. Studien ser inte till de lokala förutsättningarna eller hur vattenuttaget påverkar den omgivande miljön.

Avgränsningar mot andra produkters livscyklar

I några av avloppsanläggningarna produceras biogas, i studien beräknas mängden producerad biogas i m³ per boende och år. Biogasen kan efter förädling av alstra el eller användas till transportbränsle. Dessa förädlingar kräver emellertid extra utrustning som inte ingår i systemanalysen, varpå den producerade biogasen endast redovisas i m³ gas i rapporten. Då energiproduktionen av biogas kan vara av betydande storlek redovisas dock hur mycket energi som potentiellt kan produceras från den bildande biogasen.

Tillverkning av fordon och maskiner är inte medtagna i studien. Ej heller badrumsarmaturer.

Tidsmässiga avgränsningar

Studiens tidsperspektiv innefattar anläggning av systemet och att systemet därefter används i minst 30 år framåt. Hur lång tid de olika avloppssystemen och dess komponenter i verkligheten kan komma att användas är svårt att förutsäga, därför antas generellt en 30-årig "avskrivning" på investeringarna (anläggning och tillverkning av komponenter).

Avskrivningen handlar i det här fallet inte om investerade pengar utan om investerad energi för anläggning och tillverkning av komponenter. Energianvändning för tillverkning av

komponenter som enligt tillverkare har en längre livslängd än 30 år divideras alltså på 30 år och redovisas i energianvändning per användare och år. Komponenter med kortare livslängd än 30 år delas däremot på den rekommenderade livslängden och redovisas på så sätt också i energi per användare och år.

Geografiska avgränsningar

I studien jämförs avloppssystemen i ett geografiskt avgränsat område. Jämförelsen tar hänsyn till avstånd mellan fastigheter, avstånd till en tilltänkt plats för en gemensamhetsanläggning och avståndet till centralt avloppsreningsverk. Även avståndet till jordbruk för återföring och till den plats där jordförbättringsprodukter tillverkas tas med i beräkningarna.

Platsspecifika egenskaper såsom var en gemensamhetsanläggning bör placeras ingår inte i studien. Ej heller de skiftande markförhållandena som råder och därmed i praktiken medför olika omständigheter för enskilda anläggningar.

STUDERADE AVLOPPSSYSTEM

Avloppssystem för omvandlingsområden

Omvandlingsområden beskriver områden som antingen ligger solitärt, eller som i Värmdö kommuns fall, i områdeskluster. Omvandlingsområden är relativt tätbebyggda vilket gör gemensamhetssystem tänkbara. Områdena ligger utanför det centrala nätet men såpass nära att det kan vara av intresse för utbyggnad. Vissa hushåll har redan en godkänd enskild anläggning och andra områden har lokala gemensamhetssystem. I dagens situation med omvandlingsområdesproblematik uppstår behovet av att i en och samma studie jämföra enskilda system, gemensamhets system och central anslutning för ett område.

De sex avloppssystemen som studeras i rapporten föreslogs av projektgruppen för VeVa-projektet i slutet av 2005. Systemen togs fram utifrån nedanstående kriterier, för att lämpa sig för Värmdö kommuns omvandlingsområden.

Avloppssystemen skall uppfylla de reduktionskrav som ställs på respektive system. För enskilda system innebär det att klara Naturvårdsverkets nya allmänna råd för små avloppsanordningar, med hög fosfor- och BOD₇ reduktion och i känsliga områden även en relativt hög kvävereduktion. De studerade systemen skall även ha potential att kunna erhålla bra avloppsprodukter för fosforåterföring till produktiv mark, vilket beskrivs i miljökvalitetsmålet ”God bebyggd miljö”. Då många omvandlingsområden i stockholmsområdet ligger långt från jordbruk krävs dessutom att systemen producerar relativt koncentrerade avloppsprodukter.

Ett praktiskt kriterium är att systemen skall vara utvecklade och utvärderade så att önskad data finns åtkomlig.

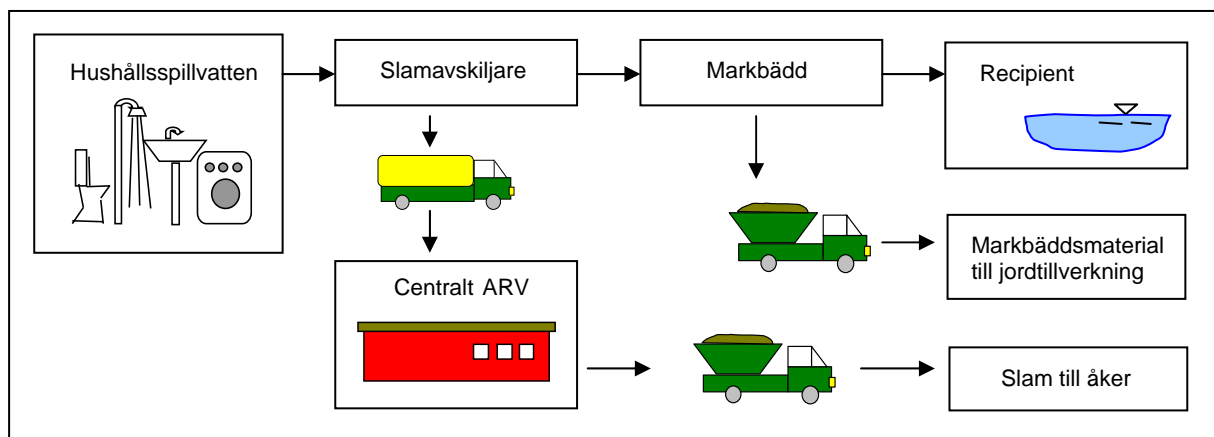
Projektgruppen eftersträvade att inkludera de redan aktuella avloppssystemen i Värmdö kommun, dit hör Markbädd, Lokalt ARV och Central anslutning. Filterbädd, Urinsortering + filterbädd och Aerob membranbioreaktor + omvänd osmos ansågs ha god reningspotential och togs därför med i studien. Att något hightechverk aldrig tidigare utvärderats som en möjlig lösning för omvandlingsområden var också en bidragande anledning att inkludera det. Infiltration bedömdes vara omöjligt att anlägga på många av de bergiga och kuperade tomterna i Värmdö kommun, och studerades därför inte.

Sex av projektgruppens nio avloppssystem jämförs i examensarbetet, tre ”hightechsystem” togs bort för att minska omfattningen på examensarbetet och för att komplett data för verken ännu inte fanns att tillgå. I Tabell 1 visas de sex alternativen och vilken typ av anläggning de innebär.

Tabell 1. Studerade avloppssystem och anläggningstyp

Alternativ	System	Typ
1	Markbäddssystem	Enskild anläggning
2	Filterbäddssystem	Enskild anläggning
3	Urinsortering + filterbädd	Enskild anläggning
4	Lokalt ARV	Gemensamhetsanläggning
5	Aerob MBR + omvänd osmos	Gemensamhetsanläggning
6	Anslutning till centralt ARV	Kommunal anslutning

Alt 1. Markbäddssystem



Figur 2. Översiktlig systembeskrivning av alternativ 1.

Markbäddssystemet bygger på att man med självfall eller enstaka pump kan överföra avloppsvattnet från hushållet till slamavskiljare och sedan vidare till markbädd. I markbädden sker den huvudsakliga reningen; biologisk, kemisk och fysikalisk. Från markbädden leds sedan det renade vatten vidare till recipient.

Avloppsledningarna som används i huset och i marken är tillverkade i PVC och har en diameter på 110 mm. Antagna avstånd för dragna ledningar är tio meter i huset och 15 meter mellan huset, slamavskiljaren och markbädden (Tillman m fl, 1996). Från markbädden leds det renade vattnet till recipienten i ännu en PVC-ledning, vars längd varierar beroende på lokala förutsättningar. I studien bortses utloppsledningen till recipient. Livslängd för inomhusledningar är 30 år och för utomhusledningar 50 år (Tillman m fl.,1996).

Slamavskiljaren dimensioneras för fem personer. Materialdata för slamavskiljare baseras på "Tranåsbrunnen" en 2 m³ trekammarbrunn från Tranås cementvarufabrik. Brunnens totalvikt är 2560 kg, varav 1 % stålfiber, mindre än 1 % armering och resterande del betong. Brunnens livslängd är 50 år (Nyman J. pers, 2006). Slamavskiljaren töms en gång per år (SwedEnviro Consulting Group, www).

Före markbädden leds avloppsvattnet till en fördelningsbrunn som skall fördela avloppsvattnet genom två eller flera efterföljande ledningar jämt över bädden. Fördelningsbrunnen som antagits i modellen kommer från Uponor. Brunnen väger 13 kg och består till 95 % av PE. Livslängden på brunnen är 100 år (Lindblom, M. pers, 2006).

Den pump som antagits är en nedsänkt metallpump från Grundfos på 0,9 kW. Den pumpar avloppsvattnet från fördelningsbrunnen ut över markbädden. Pumpen väger 12 kg och består till 80 % av rostfritt stål och till 20 % av plast. Plastmaterialet som ingår i pumpen antas vara PVC. Pumpens livslängd är 10 år, om den spolats av och servas med olja vart annat år (Lindblom, M. pers, 2006).

En markbädd kan grävas ner eller läggas ovanpå den befintliga marken. Markbädden dimensioneras efter hur mycket vatten som används i hushållet, 50-60 liter per dygn och m² är en tumregel (SwedEnviro Consulting Group, www). Vattenanvändningen antas vara 150 liter per person och dygn (Jönsson m fl, 2005). Detta ger en markbäddsdimension på 15 m² per hushåll med fem personer. Markbäddens livslängd beror på dess eventuellt minskande förmåga att reducera näringsämnen, i studien är livslängden satt till 15 år efter "Avloppsguidens" rekommendation (SwedEnviro Consulting Group, www).

Markbäddsmaterialet förs därefter med lastbil till jordtillverkning. Ingående material i markbädden presenteras i Tabell 2.

Tabell 2. Ingående material för markbädd dimensionerad för 5 personer

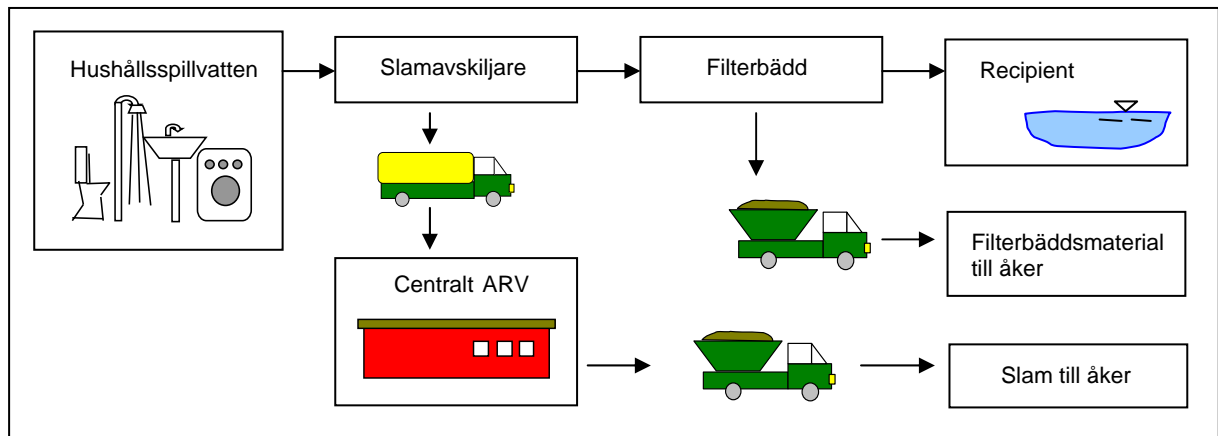
	Värde	Enhet	Referens
Spridningslager (Ø12-32 mm)	0,35	m	Naturvårdsverket, 1990
Övergångslager (Ø 4-8 mm)	0,1	m	Naturvårdsverket, 1990
Markbäddssand (Ø 0-8 mm)	0,8	m	Naturvårdsverket, 1990
Dräneringslager (Ø 8-24 mm)	0,4	m	Naturvårdsverket, 1990
Fiberduk	15	m ²	Lindblom, pers, 2006
Spridningsledning	15	m	Lindblom, pers, 2006
Uppsamlingsledning	6	m	Lindblom, pers, 2006

När avloppsvattnet passerat markbädden når det utloppsbrunnen där provtagning kan ske. Utloppsbrunnen som är antagen i modellen kommer från Uponor. Den väger 25 kg och består till 96 % av PVC. Livslängden är 100 år (Lindblom, M. pers, 2006).

Slammet från slamavskiljaren hämtas med slamtömningsbil och körs till en mottagningsstation (i Värmdöfallet ett nedlagt reningsverk). Därifrån förs slammet i ledning till centralt ARV. Ledningen från mottagningsstationen till centralt ARV bortses i markbäddssystemet, då slamavskiljarlammet bidrar till en så liten del av transporten i ledningen.

Slammet från slamavskiljaren antas vara så pass lätt sedimenterbart att det avskiljs redan i försedimenteringssteget i centralt verk. Slamavskiljarlammet berörs således varken av luftningsbassäng eller fällningskemikalier i det centrala verket. Slammet från slamavskiljaren blandas i avloppsreningsverket med slam från det centrala verkets avloppsvattenrening och benämns i studien som "Käppala-slam" (eftersom data för slammet är hämtat från Käppalas slamanalyser). Käppala-slammet centrifugeras, rötas och avvattnas. Gasen som eventuellt produceras av slamavskiljarlammet försummas, då lagrat slam ofta fungerar sämre för gasproduktion (Hellström, D. pers 2006). Därefter hygieniseras slammet genom lagring i ett år (Balmér m fl, 2002), varpå det med hjälp av fastgödselspridare sprids på åkermark. Slammängden som erhålls från slamavskiljaren komprimeras under avvattningen i det centrala verket där TS-halten höjs från 1,5 (Andersson, 1992) till 20 (Käppala miljörapport, 2004). Energianvändningen som krävs för centrifugering, rötning och avvattning av slamavskiljarlammet negligeras i studien, liksom produktionen av biogas från slamavskiljarlammet.

Alt 2. Filterbäddssystem



Figur 3. Översiktlig systembeskrivning av alternativ 2.

Filterbäddssystemet liknar markbäddssystemet, den väsentligaste skillnaden är att filterbädden innehåller material som reducerar fosfor bättre än markbäddssand. I den här studien innehåller filtermaterialet kalciumhaltiga lecakulor så kallat. Filtralite-P. När filtermassorna byts ut innehåller de så pass mycket fosfor att de kan återföras till jordbruk som ett fosforgödselmedel.

Ledningarna som används i huset och på tomten följer samma rekommendationer och antagande som ledningarna för markbäddssystemet.

Slamavskiljaren kommer från Tranås cementvarufabrik (se markbäddssystemet). Slammet i slamavskiljaren hämtas med slamtömningsbil, slammet transporteras till en mottagningsstation och sedan vidare via ledning till centralt ARV. Slamavskiljarlammet följer sedan samma antaganden som under markbäddssystemet.

Filterbädden "Fitalite" produceras av det norska företaget Maxit Group. Bäddens storlek är 40 m² och dess livslängd 15 år (Maxit Group, www, 2006). Information om ingående material är hämtade från Maxit Groups hemsida och från en miljösystemanalys om filterbäddar (Karlsson, 2005). I Karlssons miljösystemanalys baseras filterbäddsberäkningarna på en antagen belastning från tio personer. Karlssons data divideras därför på två, vilket ger approximativa värden för en bädd för fem personer.

I Karlssons studie försummas energi- och resursanvändning för ingående systemkomponenter som inte uppgår till 1 % av studiens funktionella enhet "miljöbelastning per tio personer under 20 år" (Karlsson, 2005). Några av Karlssons försummade komponenter är olika infiltreringsdelar i bädden (spraydysor mm) och torv och växter för övertäckning av anläggningen. Dessa komponenter försummas även i följande studie. Andra uteslutna komponenter i Karlssons studie är fördelningsbrunn, utloppsbrunn och infiltrations domer, dessa tas i följande studie ändå med, samma data för fördelningsbrunn och utloppsbrunn används som i markbäddssystemet. I en bädd finns två infiltrationsdamer av glasfiberarmerad plast, plasten har densiteten 1,8 ton per m³ (Wennhage, 2003). Antagen materialmängd för infiltrationsdomerna baseras på angiven bottenarea (Maxit Group, www, 2006) och godstjockleken 1 cm.

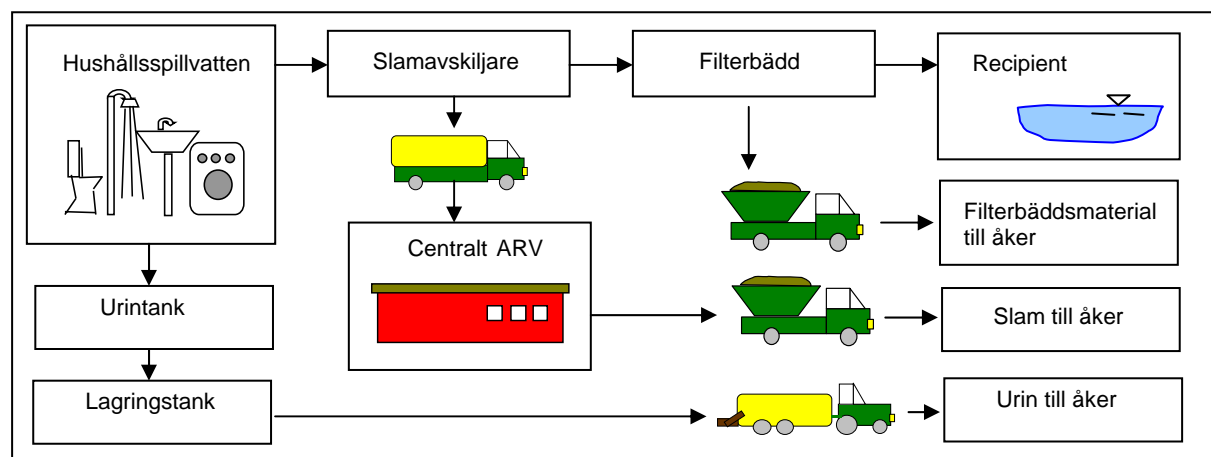
Ingående material för filterbädd presenteras i Tabell 3. Leca (10-20 mm) används som isolering runt bädden, endast filtralite (2-4 mm), filtralite-P och grus utgör det återföringsbara materialet som sprids på åker.

Tabell 3. Ingående material för filterbädd för fem personekvivalenter

	Värde	Enhet	Referens
Geomembran	70	m ²	Karlsson, 2005
Geotextil	70	m ²	Karlsson, 2005
Filtralite (2-4 mm)	11	m ³	Maxit Group, www, 2006
Filtralite P	40	m ³	Maxit Group, www, 2006
Grus	3	m ³	Karlsson, 2005
Leca (10-20mm)	3,5	m ³	Karlsson, 2005
Inlopp/upsamlingsledning	6,5	m	Ruud, J-E. pers, 2006
Material i 2 st infiltrations domer	0,12	m ³	Uppskattning utifrån Maxit Group, www, 2006

För hygienisering av filtermaterialet avses lagring ett år hos lantbrukaren (Balmér m fl, 2002). Ingen anläggning för lagring är medräknad i modellen. Filtermaterialet sprids med hjälp av fastgödselspridare.

Alt 3. Urinsortering + filterbädd



Figur 4. Översiktlig systembeskrivning av alternativ 3.

I systemet för urinsortering + filterbädd avskiljs urinen genom urinsorterande toalett. Urinen från det enskilda hushållet samlas upp i en tank på tomten, den återförs sedan som en separat fraktion till jordbruket. BDT- och fekalievattnet renas i slamavskiljare och filterbädd.

Vid urinsortering antas att 85 % av urinen samlas upp och återförs till jordbruk. Den återstående delen antas hamna i fekalievattnet (Palm m fl, 2002). För att avskilja urinen krävs en extra ledning från toalett till tank, här avses ett PVC-rör med diametern 110 mm. Ledningslängden antas vara sammanlagt 15 meter. Livslängd för ledningen är 30 år (Tillman m fl, 1996). Urintanken dimensioneras efter fem personer och två tömningar per år. Utifrån angivna antaganden bildas ungefär 3 m³ urin och spolvatten per 5 personer och år. För tre boende krävs endast en tömning per år. Urintanken som används kommer från Nyströms cement och byggs av cementringar inklusive botten och lock. Volymen är 2,8 m³ och totalvikten är 990 kg, varav 2 % armering och resterande del betong (Gadd, T. pers, 2006). Brunnens livslängd är 50 år (Nyströms cement, www, 2006).

BDT- och fekalievatten leds till slamavskiljare och sedan vidare till filterbädd. Samma typ av slamavskiljare, ledningar, fördelningsbrunn, infiltrationsdomeer och utloppsbrunn används

som beskrivs under Filterbäddsalternativet. Filterbäddsmaterialet kan i det urinsorterande alternativet reduceras något i förhållande till alternativ två. Då urinen sorteras ut belastas filterbädden med 37 % mindre fosfor. Fraktionen filtralite-P vars funktion är att binda P kan därmed minskas med 37 %. Övrigt material i bädden dimensioneras efter avloppsvattenmängd. Urinsortering medför 7 % minskning av avloppsvattenmängden, grus, filtralite (2-4mm) och leca minskas därför med 7 % (Ridderstolpe, pers, 2006). Bädden antas kräva samma yta som den fullstora bädden.

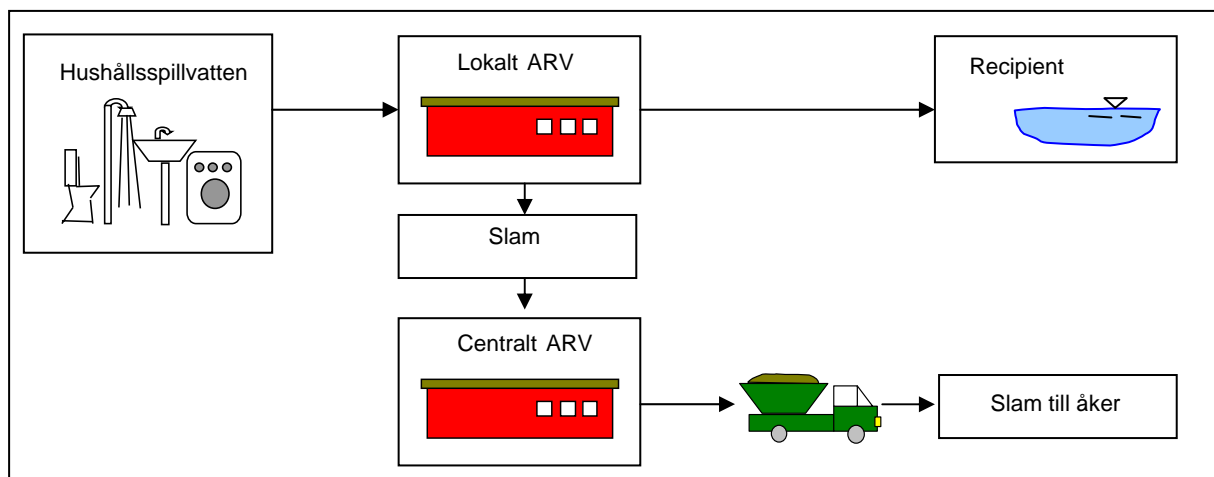
Slammet i slamavskiljaren hämtas med slamtömningsbil, slammet transporteras till en mottagningsstation och sedan vidare via ledning till centralt reningsverk.

Slamavskiljarlammet följer sedan samma antaganden som under markbäddssystemet.

Urinen hämtas med tankbil och transporteras till en gemensam brunn där urinen hygieniseras genom lagring. För urin rekommenderas sex månaders lagring utan tillförsel av ny produkt (Balmér m fl, 2002). Då urinspridning endast sker på vår och sommar används en lagringsbrunn som rymmer ett års produktion av urinlösning. De enskilda tankarna antas tömmas i juni och vid behov i november, och spridningen antas ske i maj månad. Den gemensamma brunnen dimensioneras efter 0,6 m³ per pe och år, här antas en brunn på 290 m³. Brunnen är en prefab-brunn från Abetong. Den består av en bottenplatta och 13 st 2x4 m stora betongplattor med stöttande betongbalkar som bildar väggar. Locket består av tårtbitsformade betongplattor som hålls uppe av en centrumpelare. Vikten på hela brunnen är omkring 112 ton och består till 98 % av betong, resterande 2 % är armering (Gadd, T. pers, 2006).

Spridning av urin sker med hjälp av traktor och flytgödselspridare.

Alt 4. Lokalt avloppsreningsverk



Figur 5. Översiktlig systembeskrivning av alternativ 4.

I systemet för lokalt avloppsreningsverk förs avloppsvattnet från hushållen genom ledningar till ett gemensamt avloppsreningsverk i anslutning till området. Reningsverket är byggt för omkring 400 personer och renar avloppsvattnet genom mekanisk-, biologisk- och kemisk rening. Slammet från det lokala reningsverket förs till centralt reningsverk där det blandas med annat slam och sprids sedan på åkermark.

Avloppsledningarna som används i huset och i tomtmarken är tillverkade i PVC och har en diameter på 110 mm. Ledningarna antas vara tio meter inom huset, dessa har en livslängd på 30 år. Mellan huset och anslutning till huvudledning antas ledningslängden 15 meter, denna

har livslängden 50 år (Tillman m fl, 1996). Huvudledningen mellan hus och lokalt ARV antas ha dimensionen 160 mm och livslängden 50 år (Bengtsson m fl, 1997), ledningslängden är områdesspecifik.

För att transportera avloppsvattnet i ledningarna antas två pumpstationer krävas utmed ledningen. En pumpstation byggs av fem ton betong och pumpen innehåller 30 kg rostfritt stål (Bengtsson m fl, 1997). Pumpens livslängd är 15 år medan byggnadens livslängd antas vara minst 30 år.

Materialdata för lokalt ARV är hämtat från beräkningar för ett Biovac-verk för 200 personekvivalenter (pe) (Bengtsson m fl, 1997). Reningsverket är sedan omskalat till 400 boende genom att öka volymerna och materialanvändningen till det dubbla. Tankarna som används i beräkningarna för verket med 200 pe är tillverkade i plast och gjutjärn. För ett dubbelt så stort verk antas tankarna i stället tillverkas i betong. Trä och stenull i byggnaden exkluderas. I Tabell 4 presenteras materialanvändningen för lokalt ARV. Pumparnas livstid är 15 år medan övriga komponenters livslängd antas vara minst 30 år.

Tabell 4. Ingående material i lokalt ARV för 400 boende

	Komponent	Värde	Enhet	Värde	Enhet	Material
Förlagring	Mottagningstank	40	m ³	8,8	m ³	Armerad betong ¹⁾
Verket	Behandlingstank	4×15	m ³	4×4,4	m ³	Armerad betong ¹⁾
	Pumpar	4	st	120	kg	Gjutjärn
	Luftare	4	st	120	kg	Polypropylene
	Ledning	60	m	220	kg	HDPE
	Ventil			10	kg	Polyetene
Lagring	Slamtank	20	m ³	5,2	m ³	Armerad betong ¹⁾
Byggnad	Golv	70	m ²	28000	kg	Betong
	Tak			2730	kg	Stål

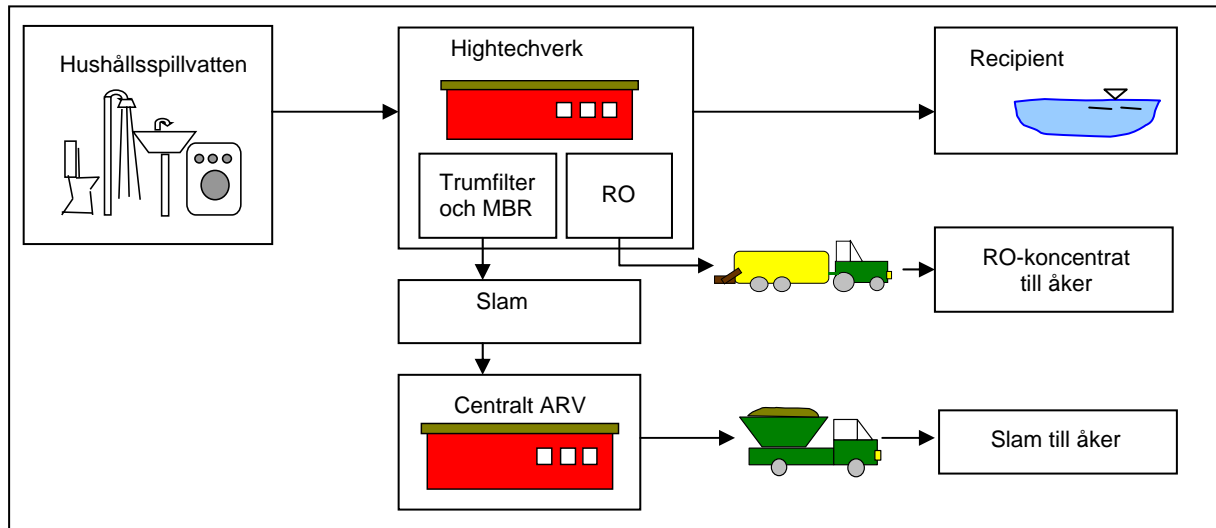
1) Materialåtgången i tankarna baseras på godstjockleken 10 cm i vägg och tak samt 20 cm i botten.

Avloppsvattnet från hushållen samlas i en mottagningstank. Satsvis förs det över till en av fyra behandlingstankar dit recirkulerat slam också pumpas och där järnklorid tillsätts som fällningskemikalie. I behandlingstanken behandlas avloppsvattnet satsvis genom biologisk och kemisk rening. Behandlingen innebär fem steg; påfyllning, luftning, sedimentation, tömning och uppehåll. Det renade vattnet förs till recipient. Slammet med TS-halten 3 % lagras i en slamtank och transporteras med lastbil till en mottagningsstation och sedan vidare via ledning till centralt ARV. Slammet från lokalt ARV antas vara så pass lätt sedimenterbart att det avskiljs redan i försedimenteringssteget i centralt ARV. Lokalt ARV-slammet berörs således varken av luftningsbassäng eller fällningskemikalier i centralt verk. Slammet från det lokala verket blandas i det centrala verket med övrigt slam och benämns i studien som "Käppala-slam" (eftersom data för slammet är hämtat från Käppalas slamanalyser). Käppala-slammet centrifugeras, rötas och avvattnas till TS 20 %.

Energi från gasen som bildas i rötningen inkluderas inte i energiberäkningen då komponenter för förädling och komprimering av gasen inte inkluderas i systemet. Däremot görs en separat beräkning av den potentiella biogasenergin, där slammet från det lokala verket antas generera en något mindre mängd biogas, per person, än avloppsvattnet som går direkt till centralt verk. Här antas en 20 procentig gasförlust jämfört med mängden gas som produceras i centralt verk, se Centralt ARV.

Efter rötning och avvattning hygieniseras slammet genom lagring i ett år (Balmér m fl, 2002), varpå det med hjälp av fastgödselspridare sprids på åkermark.

Alt 5. Aerob membranbioreaktor + omvänd osmos



Figur 6. Översiktlig systembeskrivning av alternativ 5.

I alternativ 5 renas avloppsvattnet i ett lokalt "hightech-verk", genom trumfilter, aerob membranbioreaktor (MBR) och omvänd osmos (RO). Processen som sker i båda reaktorerna (MBR och RO) är, mycket kortfattat, en filtrering genom mycket små porer som uppnås genom tryck. Systemkomponenterna är synnerligen kompakta och renar avloppsvattnet mycket långt. Data från hightechverket är hämtad från Stockholm Vattens försöksverk "Sjöstadsverket". URWARE-simuleringar för ämnesflöden och driftsenergi för 700 pe används här som basdata (Löfqvist, 2006).

Samma data för ledningsdragning och pumpstationer på ledningsnätet används som i alternativet för Lokalt ARV. För ingående material i hightechverkets husbyggnad används samma data som för Lokalt ARV.

Först når avloppsvattnet ett roterande trumfilter vars uppgift är att filtrera bort de största partiklarna. Trumfiltret har samma funktion som ett sandfilter eller en sedimenteringsbassäng men kräver mindre utrymme. Trumfiltret som valts är modellen 801F från Hydrotech. Hela komponenten väger 150 kg, därav utgör tanken och trumman i rostfritt stål omkring 125 kg. Resterande 25 kg antas vara inloppsgummi och duk för filtren tillverkade i PE. Pumpen som används, Grunfos CR1-15 innehåller 15 kg gjutjärn (Thysell, F. pers, 2006).

Materialanvändningen för drivmotorn utesluts. Pumpens livslängd antas vara 15 år och filtrens livslängd är 10 år (Hydrotech, www, 2006) övriga komponenter antas ha en livslängd på minst 30 år.

Avloppsvattnet behandlas sedan i en aerob membranbioreaktor (MBR) som ersätter biobassänger, eftersedimentering och sandfilter. I den aeroba membranbioreaktorn oxideras BOD_7 -partiklarna. Membranet separerar de små partiklarna inkluderat de mesta näringsämnen från de större partiklarna. De större partiklarna faller ut som ett relativt näringsfattigt slam. MBR-reaktorn för 400 pers består av en 17 m^3 betongbassäng som innehåller omkring 23 ton betong (Björleinius, pers, 2006) samt ett membran som totalt väger 2200 kg. Membranet består av 1400 kg ABS-plast, 700 kg rostfritt stål och 100 kg PVC-plast.

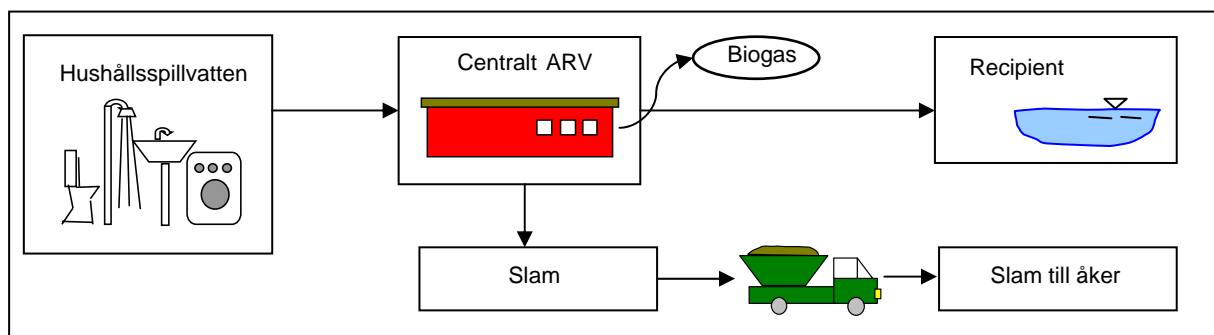
Membranets livslängd antas vara omkring 4 år (Björleinius, pers, 2006) och bassängens livslängd antas vara minst 30 år.

Avloppsvattnet inkluderat små partiklar och näringsämnen går sedan vidare till RO-reaktorn för omvänd osmos. RO-reaktorn har ett ännu finare membran där i stort sett endast vatten slipper igenom. RO-koncentratet med en TS-halt på 3 % blir således en näringsrik produkt som efter lagring i 12 månader kan återföras till jordbruksmark (Balmér m fl, 2002). RO-reaktorn, Enwa MT 108T väger vattenfylld 450 kg. Systemkomponenterna som ingår är en 95 kg pump i rostfritt stål och fyra 16,5 kg membran i ABS- eller polyamidplast. Pumpens livslängd antas vara 15 år och membrans livslängd omkring 4 år (Lund, T. pers, 2006).

Två lagringsbrunnar á 290 m³ används för lagring av RO-koncentratet. Samma typ av lagringsbrunn som används till lagring av urin i alternativ tre nyttjas. Lagringsbrunnarna antas ligga i anslutning till jordbruk.

Trumfilterslammet och MBR-slammet med TS-halten 2 %, här kallat hightechslam, förtjockas till TS 5 %, energianvändningen för förtjockning försummas i studien. Efter förtjockning transporteras hightech-slammet med tankbil till en mottagningsstation och sedan vidare via ledning till centralt ARV. Hightech-slammet följer samma antaganden som lokalt ARV-slammet processat i centralt ARV, under Lokalt ARV.

Alt 6. Centralt avloppsreningsverk



Figur 7. Översiktlig systembeskrivning av alternativ 6.

I alternativet för Centralt ARV antas hela området kopplas på det kommunala VA-nätet. Vid framdragning av centralanslutning ansluts även alla omgivande områden.

Samma ledningslängd, ledningsdimension och antal pumpstationer antas användas i huset och inom området som för lokalt ARV.

Från områdets gemensamma punkt fram till centralt ARV används i realiteten en mängd olika ledningar med olika dimensioner i det så kallade huvudledningsnätet. Här antas en genomsnittsledning vara en HDPE-ledning med dimensionen 300 mm (Elfström, M. pers, 2006). Huvudledningslängden baseras på antagen ledningslängd för hela kommunen, i Värmdös fall är denna sträcka 30 mil, dit 65 000 boende ämnar anslutas. Hälften av ledningslängden antas vara markledning och hälften sjöledning. En 300 mm markledning för avloppsvatten väger i snitt 8 kg per meter, en likvärdig ledning för att dra vattenvägen väger omkring 15 kg per meter (Johansson, H. pers, 2006). Ledningens livslängd antas vara minst 30 år.

I Värmdö kommun idag finns 60 pumpstationer för de 20 000 centralanslutna abonnenterna (Elfström, M. pers, 2006). Vid utbyggnad av huvudledningsnätet till 65 000 boende antas samma förhållande mellan antal anslutna personer och antal pumpstationer gälla, det vill säga

333 anslutna invånare per pumpstation. Här antas pumpstationerna vara ”två-pumpstationer” och bestå av en brunn tillverkad i betong med lock av galvaniserad plåt. Ingående material för en pumpstation är 500 kg gjutjärn, 200 kg rostfritt stål, 380 kg varmförsinkt stål och 7900 kg betong (Tillman m fl, 1996). Livslängden för maskinell utrustning (gjutjärn och rostfritt stål) antas vara 15 år, övriga komponenter antas ha en livslängd på minst 30 år.

Det centrala verket består av silgaller, försedimenteringsbassäng, luftningsbassäng, eftersedimenteringsbassäng och biobäddar. Fosfor fälls med fällningskemikalie. I Tabell 5. redovisas materialanvändningen för Centralt ARV. Anläggningen och dess ingående komponenter baseras på (Tillman m fl, 1996). Beräkningarna är gjorda för Ryaverket, Göteborg, med 550 000 anslutna 1995 då rapporten skrevs (Kärman, 1995).

Tabell 5. Materialanvändning i centralt ARV med 550 000 anslutna (Tillman m fl, 1996)

Komponent	Yta	Enhet	Värde	Enhet	Materialanvändning
Bassänger inkl rötchammare	217 600	m ³	42640	m ³	Betong
			3900	ton	Armeringsjärn
Maskinell utrustning mm			476	ton	Gjutjärn ¹⁾
			86	ton	Rostfritt stål ¹⁾
			15,4	ton	PVC
			25,6	ton	PE
			13	ton	Glasfiber

1) Den maskinella utrustningen antas ha en livslängd på 15 år, övriga komponenter har en livslängd på minst 30 år.

Slammet som bildas i det centrala verket centrifugeras, rötas och avvattnas. Vid rötningen bildas 4.46 m³ biogas per boende (Löfqvist, 2006). Energiproduktionen från biogasen ingår inte i energiberäkningen för Centralt ARV, eftersom systemkomponenterna för förädling av gasen, kompaktering och lagring inte ingår inom systemgränsen. Däremot görs en separat beräkning på potentiell biogasenergi i centralt ARV, där gas från en boende antas utgöra 180 MJ per år (Löfqvist, 2006).

Efter rötning och avvattnings hygieniseras slammet genom lagring ett år (Balmér m fl, 2002) och sprids därefter med hjälp av fastgödselspridare på åkermark. Slammet som sprids antas vara en sammansättning av alla slam som når det centrala verket, här benämnt som Käppala-slam.

GENERELLA ANTAGANDEN

Dricksvattenanvändning

Användningen av dricksvatten baseras på hur mycket vatten varje boende använder och hur många personer som antas bo i varje hushåll. I Tabell 6 redovisas de antaganden som gjorts för vattenanvändning i hushållen (antal boende per hushåll och den genomsnittliga hemmavaron). I tabellen preciseras även antaganden för vattenanvändning i WC-armaturerna och antalet spolningar per person och dag. Mängden BDT-vatten som antas användas är 150 dm³ per boende och dygn (Jönsson m fl, 2005).

Tabell 6. Antaganden om hushållens vattenanvändning

		Referens
Boende/hushåll	3 boende	
Hemmavaro toalett	60 %	Antagande: Boende är hemifrån ca 10 h om dagen
Hemmavaro BDT	100 %	Antagande: Boende duschar, tvättar och diskar hemma
Stora spolningar/pers,dag	2 st	Jönsson m fl, 2005
Små spolningar/pers,dag	7 st	Jönsson m fl, 2005
Liter/stor spolning	4 dm ³	
Liter/liten spolning	2 dm ³	
Liter/urinsort spolning	0,5 ¹⁾ dm ³	

1) 2 dl hamnar i urinskålen och 3 dl hamnar i fekalievattnet.

Avloppsvatten – mängder och innehåll

Underlagsdata för innehåll och mängder för urin, fekalier och bad- disk- och tvättvatten visas i Tabell 7. Ämnena som ingår i dricksvattnet baseras på ett svenskt genomsnitt.

Tabell 7. Mängder och innehåll i urin, fekalier och BDT (Jönsson m fl, 2005)

	Enhet	Urin	Fekalier + toapapper	BDT
N	kg/boende,år	4,0	0,5	0,6
P	kg/boende,år	0,3	0,2	0,3 ¹⁾
BOD ₇	kg/boende,år	2,0	12,0	12,0
Cd	kg/boende,år	0,2	3,7	18,3
H ₂ O	dm ³ /boende,år	543	40,4	47450
TS	kg/boende,år	7,0	19,0	26,0

1) Beräknat utifrån att nyttjade tvätt- och rengöringsmedel innehåller fosfor

I Naturvårdsverkets Allmänna råd om små avloppsanordningar utgår man från snarlik data över mängder och innehåll i urin, fekalier toapapper och BDT-vatten som den från Jönsson m fl, 2005 vilken används i denna studie. Anledningen till att Naturvårdsverkets data inte används i studien beror på att examensarbetet påbörjades innan det Allmänna rådet var antaget och att Jönsson m fl är den sammanställning som bygger på flest antal undersökningar. Data för kväve och fosfor i det Allmänna rådet är likvärdig med Jönsson m fl, 2005, för BOD₇ antas ett 30 % högre värde från BDT-vattnet i Jönsson m fl 2005 än vad som antas i det allmänna rådet.

Reduktion

Nedan presenteras systemkomponenternas ämnesavskiljande förmåga.

Slamavskiljare

I avloppsvattnet förekommer näringsämnen till största del i jonform (Palm m fl, 2002), därför blir näringsinnehållet i slammet som fastnar i slamavskiljaren relativt lågt. Studier av slamavskiljares reduktion av näringsämnen är främst inriktade på reduktionen av fosfor- och kväve. Mätningar har även gjorts på reduktion av kadmium. Reduktionen av BOD₇ beror på uppehållstiden i slamavskiljaren, uppehållstiden är normalt ca 1 dygn (Palm m fl, 2002). I Tabell 8 redovisas antagen reduktion i slamavskiljaren.

Tabell 8. Reduktionsgrad över slamavskiljare (%)

Reduktion	Antaget värde	Angivet intervall/värde	Referens
N	15	10-20	Naturvårdsverket, 1985
P	7	Max 10	Naturvårdsverket, 1985
BOD ₇	15	10-20	Naturvårdsverket, 1990
Cd	25	ca 25	Wittgren m fl, 2006

Markbädd

Reningen i markbädden innefattar både biologiska, kemiska och fysikaliska processer. Huruvida markbäddens livslängd och fosforbindande förmåga är begränsad är omdiskuterat. En studie med markbäddar i åldrarna tre till nitton år tyder på att ingen trend kan påvisas för minskning av fosforbindande kapacitet (Nilsson m fl, 1998). Här avses en konstant P-adsorption under hela markbäddens livstid. Allt kväve som reduceras i markbädden antas avgå i gasform. I Tabell 9 redovisas antagen reduktion över markbädden.

Tabell 9. Reduktion över markbädd (%)

Reduktion	Antaget värde	Angivet intervall/värde	Referens
N	50	10-40; 59	Palm m fl, 2002; Nilsson m fl, 1998
P	50	10-80; 65	Palm m fl, 2002; Nilsson m fl, 1998
BOD ₇	90	85-97	Palm m fl, 2002
Cd	30	20-55	Wittgren m fl, 2003

Filterbädd

Reduktionen för kväve och fosfor är hämtad från Karlsson (2005) som i sin tur är en sammanvägning av tre referenser. För BOD₇ antogs samma reduktion som för markbädd. Allt kväve som reduceras i fosforbädden antas avgå i gasform. I Tabell 10 redovisas antagen reduktion över filterbädd.

Tabell 10. Reduktion över fosforbindande filterbädd (%)

Reduktion	Antaget värde	Angivet intervall/värde	Referens
N	50	40-60	Karlsson, 2005
P	96	96	Karlsson, 2005
BOD ₇	90	Som markbädd	
Cd	30	Som markbädd	

Lokalt ARV

Reningsgraden i det lokala reningsverket går att styra genom tillsatt mängd fällningskemikalie samt effektiviteten på luftningen. Här antas reningen för kväve och fosfor ligga ungefär mittemellan den förväntat minsta och den förväntat maximala reduktionen. En stor del av det reducerade kvävet (91 %) antas avgå i gasform (samma som för hightechverket). För det studerade verket redovisas syreförbrukande materia som BOD₇. I Tabell 11 redovisas antagen reduktion över lokalt ARV.

Tabell 11. Reduktion över Lokalt ARV (%)

Reduktion	Antaget värde	Angivet intervall/värde	Referens
N	40	25-50	Bengtsson m fl, 1997
P	93	90-95	Bengtsson m fl, 1997
BOD ₇	95	95	Bengtsson m fl, 1997
Cd	91	Som centralt ARV	

Reduktion över komponenterna i Aerob MBR + RO

I Aerob MBR + RO delas reduktionen mellan processerna för trumfilter, aerob MBR + rötning och processen för den omvända osmosen. Antagna värden presenteras i Tabell 12. Reduktionsdata för organiskt material redovisas i COD (Löfqvist, 2006). Omräkningsfaktorn $BOD_7 = 0,65 * COD$ (Jeppsson m fl, 2005) används för att erhålla BOD₇-reduktionen.

Tabell 12. Reduktion (%) över de olika systemkomponenterna i Aerob MBR + RO (Löfqvist, 2006)

Reduktion	Trumfilter	Aerob MBR	RO
N	0,6	16	98
P	19	20	100
BOD ₇	50	100	100
Cd	35	84	98

Av det reducerade kvävet i MBR-steget antas 46 % avgå som gas.

Utav den reducerade BOD_n i MBR-steget antas 67 % avgå som gas.

Slamavskiljarslam, lokalt ARV-slam och hightechslam processat i centralt ARV

Slamavskiljarslammet, slammet från Lokalt ARV och hightechslammet antas sedimentera direkt i försedimenteringssteget. Inga näringsämnen eller kadmium avses alltså avgå till vatten eller luft från dessa fraktioner. Slamavskiljarslammet, det lokala ARV-slammet och hightechslammet antas därmed bidra med sina ingående ämnen till det den slutliga

slamprodukten här benämnd som Käppalaslamm. Käppalaslamm avvattnas till en TS-halt på 20 %.

Reduktion över Centralt ARV

Reduktionen i Centralt ARV baseras på Käppalaverkets genomsnittliga reduktion under 2004. Sammanställda värden presenteras i Tabell 13. Av det reducerade kvävet antas 91 % avgå i gasform, samma som för hightechverket.

*Tabell 13. Reduktion över Centralt ARV (%)
(Käppala miljörapport, 2004)*

Reduktion	Värde
N	77
P	97
BOD ₇	99
Cd	91

Kväve, fosfor och kadmium till åker

Avloppsprodukterna från de sex studerade alternativen innehåller olika mängd näringsämnen och kadmium. För att produkten skall vara ett för lantbrukaren intressant gödselmedel bör produkten innehålla mycket näring och vara godkänd i tungmetall- och hygiensynpunkt. En avloppsprodukt som endast innehåller en låg näringsämnesmängd innebär betydande transporter till liten nytta.

Växttillgängligt kväve och fosfor i avloppsprodukter

Handelsgödsel innehåller endast växtnäring i jonform, näringen är således växttillgänglig. Avloppsprodukter kan innehålla växtnäring i jonform, kemiskt fälld form och organisk form, produkterna innehåller följaktligen både växttillgänglig näring och svårtillgänglig näring (som kan bli växttillgänglig efterhand).

I studien antas avloppsprodukternas "växttillgängliga kväve- och fosforinnehåll" kunna ersätta samma mängd kväve och fosfor från handelsgödsel. Avloppsprodukternas "svårtillgängliga kväve och fosfor" antas ej kunna ersätta något handelsgödsel. Mängden växttillgängligt kväve och fosfor i respektive avloppsprodukt baseras på antaganden från tidigare studier som beaktar produkternas innehåll i jonform, gasavgång vid hantering och produkternas beskaffenhet för mineralisering och frigörelse från kemisk bindning. Vidare i texten följer antaganden om avloppsprodukternas andel växttillgängligt kväve och fosfor samt produkternas kadmiuminnehåll.

Slamavskiljarslam processat i Käppala

Vid hantering, lagring och spridning av slam avgår ammoniak från avloppsproduktens ammoniumkväve-fraktion. För att minimera förlusterna antas i studien att produkten plöjs ner inom några timmar efter spridning. Här antas 5 % ammoniakavgång vid hantering och lagring och 35 % ammoniakavgång vid spridning (Tidåker m fl, 2005).

I studien antas all fosfatfosfor och den ammoniumkväve som finns kvar i slammet efter lagring och spridning vara växttillgänglig. Av det organiskt bundna kvävet antas 15 % vara växttillgängligt (Tidåker m fl, 2005). Växttillgängligheten för organiskt bunden fosfor antas vara 50 %.

Slammet från slamavskiljare innehåller i regel en hög kadmiumhalt i förhållande till dess fosforhalt. Så hög att det kan vara olämpligt att återföra till jordbruksmark. I studien antas slamavskiljarslammet blandas med annat kemfällt slam i centralt reningsverk (här avses Käppala), vilket ger en slutprodukt med betydligt högre fosforinnehåll i förhållande till kadmiuminnehåll, än för det ursprungliga slamavskiljarslammet. Slutprodukten som i studien återförs till jordbruk benämns som Käppalaslamm (se Markbäddsystemet). Slamavskiljarslammet bidrar med sina näringsämnen, sitt kadmiuminnehåll och sin volym efter avvattnings vid återföring till jordbruk.

Markbäddsmaterial

När markbäddsmaterialet byts ut förs materialet till jordtillverkning. Materialet innehåller för lite näringsämnen för att vara av intresse för återföring till jordbruksmark. Den näring som tillförts markbäddssanden kommer till godo i jordtillverkningen men anses inte kunna ersätta någon handelsgödsel.

Filterbäddsmaterial

Filterbäddsmaterialet antas inte innehålla något kväve som kan ersätta handelsgödsel.

Filterbäddsmaterialet innehåller efter sin livstid tillräckligt mycket fosfor för att vara intressant att återföra till jordbruk. Det kalciumhaltiga filterbäddsmaterialet Filtralite-P sorberar fosfater till kalcium. När filterbäddsmaterialet återförs till jordbruksmark med pH lägre än 7 löses kalciumfosfaterna och fosfor blir växttillgänglig (Karlsson, 2005). Krukodlingsförsök visar att fosformättat Filtralite-P fungerar bra som fosforgödselmedel. Försöken jämför skördemängd från odling med NPK-gödsling med skördemängd från odling med NK + Filtralite-P. I båda fallen tillsätts lika stor andel totalfosfor, och fosfor är i båda fallen den begränsande faktorn. Resultaten visar att skördemängden vid odling med NK + Filtralite-P ger en mindre skördemängd än odling med NPK. Skördemängden vid odling med Filtralite-P uppgår till 60-70 % av skördemängden från odling med NPK-gödsling (Nyholm m fl, 2005). Både fosfor och kalkningsfaktorn från filterbäddsmaterialet har en positiv effekt på skördemängd. Utifrån resultaten från krukodlingsförsöken antas i studien att 60 % av fosfor från Filtralite-P är växttillgänglig.

Bädden reducerar relativt lite kadmium och kan därför återföras till jordbruksmark.

Urin

Urinen och spolvattnet som avskiljs i det urinsorterande systemet innehåller en stor mängd näring och låg mängd kadmium. Vid hantering och lagring antas 5 % av ammoniumkvävet avgå som ammoniak. Vid spridning antas ytterligare 5 % avgå som ammoniak (Tidåker m fl, 2005). Den relativt låga avgången beror på tillsluten lagring och marknära spridning. Resterande ammoniuminnehåll i urinprodukten antas vara växttillgänglig likaså produktens fosfatfosfor. Växttillgängligheten i det organiskt bundna kvävet antas vara 15 % (Tidåker m fl, 2005) och växttillgängligheten i den organiskt bundna fosfor 50 %.

Lokalt ARV-slam processat i Käppala

Växttillgängligheten i lokalt ARV-slam antas följa samma antaganden för kväve och fosfor i jonform och organisk form, som beskrivs under "Slamavskiljarslam processat i Käppala". Växttillgängligheten för kemiskt bunden fosfor omdiskuteras. I en sammanställning av ett flertal studier varierar de antagna värdena mellan 10-90 % (Kvarnström, 2001). I denna studie antas ett värde mitt emellan, följaktligen 50 % växttillgänglighet av den kemiskt bundna fosfor.

I Käppalaverket blandas det lokala ARV-slammet med slammet från det centrala verket. Den produkt som återförs jordbruk benämns sedan som Käppala-slam. Slammet från Lokalt ARV bidrar med sina näringsämnen, sitt kadmiuminnehåll och sin volym efter avvattning, vid återföring till åkermark.

RO-koncentrat

RO-koncentratet innehåller mycket kväve och fosfor och endast lite kadmium. Samma antaganden för spridningsförluster och växttillgänglighet gäller som för urin.

Hightech-slam processat i Käppala

Slammet från hightechverket innehåller endast lite växtnäring och mycket kadmium. Samma antaganden för spridningsförluster och växttillgänglighet gäller som för slamavskiljarslam.

I Käppalaverket blandas hightech-slammet med slammet från det centrala verket. Den produkt som återförs jordbruk benämns som Käppala-slam, slammet från hightechverket bidrar med sina näringsämnen, sitt kadmiuminnehåll och sin volym efter avvattning vid återföring till jordbruksmark.

Centralt ARV-slam uppblandat med Käppala-slam

Slammet från alternativ sex, Centralt ARV, baseras liksom de andra systemens slam endast på avloppsvattnet från de boende i området. Den avloppsprodukt som i studien avses att återföras till åker är Käppala-slam, där centralt ARV-slam från de boende i området bidrar med sina näringsämnen, sitt kadmiuminnehåll och sin volym. Växttillgängligheten i centralt ARV-slam antas vara densamma som för "lokalt ARV-slam processat i Käppala".

Gödselgiva vid återföring

Vid spannmålsodling på svenska jordar krävs en gödselgiva på ca 90 kg växttillgängligt kväve per ha. Fosforgivan som behövs varierar med jordens fosforklass, omkring 15 kg växttillgängligt fosfor per ha fordras (Jordbruksverket, 2002). Kväve som lätt lakas ur jorden bör inte överdoseras, fosfor anrikas däremot till jorden och kan därför återföras i större mängder. Maxgivan för fosfor är 22 kg per ha och år eller 154 kg per ha och 7 år, så länge inte gränsvärdet för tungmetaller överskrids (Balmér m fl, 2002). För att undvika markpackning vid spridning av tunga avloppsprodukter och för att minska spridningskostnaden, sprids slam idag ofta utifrån godkänd maxgiva (Tidåker P. pers, 2006).

I studien sprids avloppsprodukterna utifrån Jordbruksverkets rekommenderade mängd 90 kg växttillgängligt kväve per ha eller 20 kg växttillgängligt fosfor per ha. Fosforgivan är något högre än Jordbruksverkets rekommenderade giva för att minska transporter och markpackning.

Restriktioner för Cd-innehåll och hygienisering av restprodukter

För att få återföra avloppsprodukter till åkermark krävs att produkten inte medför risker för hälsa och miljö. Därför finns restriktioner för hur höga tungmetallhalter en avloppsprodukt får innehålla och rekommendationer för de lagringsbetingelser och lagringstider som fordras för produktens hygienisering.

Mängden kadmium som får spridas på åkermark uttrycks i tre olika enheter. Det finns haltgränsvärden som gäller idag och hårdare haltgränsvärden som rekommenderas i framtiden av Naturvårdsverket i "Aktionsplanen för återföring av fosfor ur avlopp". I tabell 14 redovisas

gällande och kommande haltgränsvärden för kadmium i de avloppsprodukter som ämnas föras till åkermark.

Tabell 14. Haltgränsvärden för Cd i avloppsfraktioner (Balmér m fl, 2002)

Haltgränsvärde	I avloppsfraktionen (mg/kg TS)	Max tillförsel till åkermark (g/ha,år)	I avloppsfraktionen (mg/kg P)
Gällande	1,7	0,75	61
Rekommenderade (2010)		0,55	
Rekommenderade (2015)		0,45	
Rekommenderade (2020)		0,35	

För hygienisering av avloppsprodukter med undantaget urin rekommenderas ett års lagring utan tillförsel av ny avloppsprodukt, för spridning på åkermark, avsedd till spannmålsgrödor. För hygienisering av urin rekommenderas 6 månaders lagring utan tillförsel av ny urin (Balmér m fl, 2002). Hygieniseringsmetoderna som avses för respektive avloppsprodukt preciseras under respektive avloppssystem under ”Beskrivning av avloppssystemen i modellen”.

Avloppsprodukternas innehåll av N, P och Cd

Utifrån avloppsvattnets innehåll Tabell 7, antaganden om de boendes hemmavaro Tabell 6, avloppssystemens reduktionsgrad Tabeller 8-13 och produkternas växttillgängliga och svårtillgängliga kväve- och fosforinnehåll beräknas innehållet i de avloppsprodukter som återförs till jordbruk.

I Tabell 15 redovisas de tio avloppsprodukter som produceras i studiens sex avloppssystem. Tabellen visar produkternas kväveinnehåll och fosforinnehåll uttryckt i totalkväve/fosfor och växttillgängligt kväve/fosfor (kg per boende och år) samt produkternas kadmiuminnehåll (mg per boende och år). I de två sista kolumnerna visas om avloppsprodukterna klarar Naturvårdsverkets haltgränsvärden för kadmium (från Tabell 14), vid återföring av 90 kg växttillgängligt kväve eller 20 kg växttillgängligt fosfor. Avloppsprodukterna som inte klarar dagens kadmiumkrav är markerade i kursiv stil.

Vid beräkning av kadmiumtillförsel per ha och år antas att alla avloppsprodukter utom urinlösning och RO-koncentrat sprids som två-årgiva. Detta eftersom givan på 20 kg växttillgänglig fosfor per ha innebär nästan dubbelt så mycket totalfosfor som Naturvårdsverkets årliga maxgiva (22 kg totalfosfor per ha).

Tabell 15. N och P i producerade avloppsprodukter (per boende och år) samt beräknad mängd Cd till jordbruk vid återföring (90 kg $N_{växt}$ eller 20 kg $P_{växt}$ / ha).

Alternativ		N_{tot} kg	$N_{växt}$ kg	P_{tot} kg	$P_{växt}$ kg	Cd mg	g Cd/ ha, år	mg Cd/ kg P_{tot}
1 & 2	Slamavskiljarslam ¹⁾	0,5	0,2	0	0	5,8	2,9	144
1	Markbäddssand	0	0	0,3	0,1	4,6	0,4	18
2	Filterbäddsmaterial	0	0	0,5	0,3	0	0	0
3	Filterbäddsmaterial	0	0	0,4	0,2	0	0	0
3	Slamavskiljarslam ¹⁾	0,2	0,1	0,0	0,0	5,1	5,1	170
3	Urinlösning	2,0	2,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,5
4	Lokalt ARV-slam ¹⁾	1,3	0,5	0,5	0,3	19	0,7	36
5	Hightech-slam ¹⁾	0,3	0,2	0,2	0,1	19	1,5	95
5	RO-koncentrat	2,7	2,3	0,4	0,4	1,6	0,1	4,0
6	Centralt ARV-slam ¹⁾	0,2	0,08	0,5	0,3	19	0,7	34

1) Produkten återförs i uppblandning med slam från Käppala, så kallat Käppala-slam.

Tilläggas bör att produkterna i Tabell 15 som är markerade med fotnot inte avses spridas i enskild fraktion utan som Käppala-slam. Käppala-slam bidrar till 0,5 g kadmium per ha och år eller 24 mg kadmium per kg totalfosfor (vid återföring av 20 kg växttillgängligt fosfor per ha). Käppala-slammet klarar därmed gällande haltgränsvärde för kadmium.

Energibesparing vid ersättning av handelsgödsel

Utifrån hur mycket växttillgängligt kväve och fosfor som återförs jordbruksmarken genom avloppsprodukter avgörs hur mycket handelsgödsel som därmed kan ersättas. Nyttan utgörs av insparad energianvändningen från handelsgödselproduktion. I Tabell 16 visas energianvändningen för produktion av kväve- och fosforgödselmedel. I studien läggs fossila bränslen, kol och naturgas ihop, medan värmeproduktionen försummas.

Tabell 16. *Energianvändning vid handelsgödselproduktion (MJ/kg)*
(Davis och Haglund, 1999)

Energi	N28	P20
Fossila bränslen	1,51	4,65
El	0,47	1,76
Värme	-1,22	
Kol	1,32	
Naturgas	10,6	

Energianvändning för drift

Systemkomponenter

Pump för enskild anläggning

Pumpen från Grunfos med effekten 0,9 kW pumpar 6,6 gånger per dygn, en minut per gång för en enskild anläggning. Energianvändningen blir då 2,19 MJ per hushåll och år (Lindblom, M. pers, 2006).

Ledningstransport Lokalt ARV, Aerob MBR + RO samt Centralt ARV

Energianvändningen för ledningstransport inom området antas vara 47 MJ per boende och år (Bengtsson m fl, 1997).

För ledningstransportsenergi från mottagningsstation till centralt reningsverk antas 48 MJ per ansluten och år krävas (Löfqvist, 2006).

Lokalt ARV

Energianvändningen för drift (luftning mm) av det lokala verket antas vara 576 MJ per boende och år (Balmér & Mattson, 1993). Energidata från Balmér & Mattson (1993) avser egentligen större verk för omkring 2000 pe (personekvivalenter), men antas i denna studie kunna gälla även för ett mindre verk.

Användningen av fällningskemikalie i verket för 200 pe är beräknad till 7,3 dm³ PIX per pe och år (Bengtsson m fl, 1997). Samma mängd per person och år antas gälla för ett verk för 400 personer. Kemikalien densitet är 1,4 ton per m³ (Bengtsson m fl, 1997), energianvändningen för att framställa produkten är 1,7 MJ el och 0,97 MJ fossila bränslen per kg kemikalie.

Energianvändningen för lokalt ARV-slam som processas i centralt verk begränsas till drift av röt-kammare, förtjockning och avvattning. Energianvändningen för rötning är 24,5 MJ per boende, för förtjockning 0,3 MJ per boende och för avvattning 11,5 MJ per boende (Löfqvist, 2006).

Aerob MBR + RO

För drift av trumfiltret åtgår 4,79 MJ el per pers och år. Driften av den aeroba membranbioreaktorn innebär 295 MJ el per pers och år. För att driva den omvända osmosen krävs ett högt tryck, driftsenergin blir därför hög, 658 MJ el per pers och år (Löfqvist, 2006).

Energianvändningen för MBR-slammet som processas i centralt ARV avgränsas till drift av röt-kammare, förtjockning och avvattning. Energianvändningen för rötning är 24,5 MJ per boende, för förtjockning 0,3 MJ per boende och för avvattning 11,5 MJ per boende (Löfqvist, 2006).

Drift Centralt ARV

Elenergin som åtgår för att driva hela verket blir sammantaget 333 MJ el per pers och år (bilaga 1), då försummas värmeenergin som åtgår i samband med rötningen. Vid rötningen bildas 4,46 m³ gas per pers och år. Driften av verket kräver 5 kg fällningskemikalie (PIX) per pers och år samt 2 kg kolkälla per pers och år (Löfqvist, 2006). I studien försummas kolkällan. För att producera järnklorid krävs 1,7 MJ el och 0,97 MJ fossila bränslen per kg kemikalie (Frohagen, 1997).

Jordtillverkning

Vid jordtillverkning blandas råjord, sand, torv och kompost. Sanden utgör ca 30 % av blandningen. En lastmaskin med lastningskapacitet på 50 ton per timma lastar in materialen i ett jordverk (AGF Västerås, 2000). För beräkning av energianvändningen för lastmaskinen används samma data som för lastmaskinen vid lastning av fastgödselspridare, vilken är 4,56 MJ fossila bränslen per m³ (Lindgren m fl, 2002 och Tidåker m fl, 2005).

Energianvändningen för jordverksdriften är 10 dm³ diesel per 50 ton jord (AGF Västerås, 2000). Diesel har energiinnehållet 43,2 MJ per kg och densiteten 840 kg per m³. Driftsenergi för jordtillverkning är således 10,28 MJ fossila bränslen per ton tillverkat jordmaterial, där markbäddstillsatsen belastar systemet med 30 %.

Transporter

Transport av slam från slamavskiljare till centralt ARV och urin från urintank på tomt till jordbruk

Slamtömning bör ske en till två gånger per år (SwedEnviro Consulting Group, www, 2006). Här avses tömning en gång per år. Energianvändningen i form av diesel antas vara 8,2 MJ per ton och km, vilket baseras på att bilen hämtar upp avfall från flera bostäder (Sonesson, 1996).

Urintanken avses att tömmas en gång per år. Samma typ av tankbil används som för slamavskiljarslam.

Transport av ARV-slam, markbädd- och filterbäddsmaterial till jordtillverkning/jordbruk

Transporten av markbäddssand till jordförbättringsanläggning, transporten av filterbäddsmaterialet till jordbruk samt transporten av Käppala-slam till jordbruk antas ske med lastbil vars maxlast är 30 ton. Energiförbrukningen i diesel för lastbilen antas vara 0,9 MJ per ton och km. Energiförbrukningen baseras på att lastbilen kör en väg tom och en väg lastad (Sonesson, 1996).

Spridning av avloppsprodukter

Urinlösning, RO-koncentrat och filterbäddsmaterial lagras i anslutning till den gård där produkterna ska spridas. Käppala-slammet lagras vid Käppalaverket och levereras till gården före spridning (se Transporter).

I ”spridning av avloppsprodukter på åker” innefattas; omrörning i lagringstank, lastning av spridare, transport till fält och spridning på åker. Antaganden som gjorts för följande beräkningar bygger på tidigare studier (Lindgren m fl, 2002; Sjöberg, 2003 och Tidåker, 2005). Urin och RO-koncentrat sprids med flytgödselspridare medan avvattnat slam och filterbäddsmaterial sprids med fastgödselspridare. Omrörning i lagringstanken kan i vissa fall behövas för att erhålla en homogeniserad avloppsprodukt. För urin kan omrörningen försummas (Sjöberg, 2003). Här antas att omröringen av RO-koncentrat också kan försummas.

Volymen slam från slamavskiljare och lokalt ARV som sprids på åker baseras på producerad slammängd per boende och år som avvattnats till TS 20 % i centralt verk. I Tabell 17 presenteras antagen energianvändning för återföring av olika avloppsprodukter i MJ per boende och år. Ingående beräkningar redovisas i bilaga 2.

Tabell 17. *Energianvändning vid spridning av avloppsprodukter (MJ/boende,år)*

Alternativ		Lastning	Transport	Spridning	Summa
1 & 2	Slamavskiljarslam	0,02	0,02	0,2	0,2
3	Slamavskiljarslam (med urinsortering)	0,01	0,01	0,1	0,1
2	Filterbäddsmaterial	5,5	2,7	4,7	12,9
3	Filterbäddsmaterial (med urinsortering)	3,9	2,0	2,1	8,0
3	Urin	-	2,5	4,0	6,5
4	Lokalt ARV-slam	0,3	0,3	2,5	3,1
5	RO-koncentrat	-	2,0	2,6	4,6
6	Centralt ARV-slam	0,3	0,3	2,6	3,2

Energianvändning vid anläggning och tillverkning

Energianvändning för anläggning och tillverkning av komponenterna för respektive avloppssystem redovisas i MJ el och MJ fossila bränslen per boende och år. För de komponenter med en livstid kortare än 30 år divideras energianvändningen för tillverkning och anläggning på komponentens livslängd. För komponenterna med en livstid längre än 30 år divideras energianvändningen för tillverkning och anläggning på 30 år.

Energianvändningen för anläggningar på den enskilda tomten innefattar endast markarbete för markbädden/filterbäddens storlek. För gemensamhetsanläggningar beräknas energiåtgången på markarbete för anläggningens storlek och för rörläggning från tomtgräns till gemensamhetsanläggning. För centralt ARV baseras energianvändningen endast på rörläggningen från tomtgräns till ARV. Markarbete för centralt ARV bortses, då energianvändning för markarbetet utslaget per antalet anslutna är försumbart (Tillman m fl, 1996).

I de systemalternativ där slamavskiljarslam eller lokalt ARV-slam förs till Käppala bortses tillverkningen av det centrala verkets systemkomponenter. Eftersom den lilla mängd slam det gäller har mycket liten inverkan på det centrala verket.

Markarbete för markbädd och filterbädd

Till anläggningsenergin för markbädd och filterbädd inräknas även uppgrävning av bädden. En grävmaskin med dieselåtgången 2,78 MJ per m³ används både för anläggning och uppgrävning av bädden. Vid anläggning antas även en vältare användas med dieselåtgången 0,53 MJ per m² (Tillman m fl, 1996).

Markarbete för gemensamma avloppssystem

Markarbetet för gemensamma anläggningar utförs med hjälp av större maskiner än för den enskilda anläggningen. Maskinerna som antas användas är grävmaskin med fossil dieselåtgång på 3,05 MJ per m³, hjullastare med dieselåtgången 2,36 MJ per m³ och vältare med dieselåtgången 0,53 MJ per m² (Tillman m fl, 1996).

Ledningen mellan hustomt och gemensamhetsanläggning antas ha dimensionen 160 mm (Bengtsson m fl, 1997). För nedläggning av ledningen antas en elanvändningen på 0,08 MJ per meter ledning och en dieselanvändning på 4,48 MJ per meter ledning (Tillman m fl, 1996). Den mängd grus som åtgår vid ledningsdragningen bortses från.

Markarbete för central ARV-anslutning

Energianvändningen vid ledningsdragningen antas kräva 0,1 MJ el och 5,53 MJ diesel i genomsnitt krävas per meter ledning (Tillman m fl, 1996). Grusmängden som åtgår vid ledningsdragning försummas.

Energianvändningen för produktion av systemkomponenter

För att beräkna energianvändningen för att producera de olika systemkomponenterna har schablonvärden från tidigare studier används. Schablonvärdena täcker frakten av ursprungsmaterialet till fabrik, produktionen av komponenten och frakten till kunden. I Tabell 18 redovisas schablondata för energianvändningen i MJ el, MJ fossila bränslen och MJ bio bränsle.

Tabell 18. Energianvändning vid tillverkning av material

	Enhet	El	Fossil	Bio	Referens
Rostfritt stål	MJ/kg	15,4	33,7		Tillman m fl, 1996
Armering	MJ/kg		21,3		Tillman m fl, 1996
Gjutjärn	MJ/kg	1,8	18,7		Tillman m fl, 1996
Betong	MJ/ton	75	774		Tillman m fl, 1996
Makadam	MJ/kg	11,2	9,0		Tillman m fl, 1996
Grus/sand	MJ/m ³	1,2	0,4		Tillman m fl, 1996
PVC-rör	MJ/kg	7,4	58,6		Tillman m fl, 1996
PEM-rör	MJ/kg	4,6	79,9		Tillman m fl, 1996
PE	MJ/kg	7,9 ¹⁾	77,9 ¹⁾		Boustead, 1993
Polypropylen	MJ/kg	6,9	73,2		Boustead, 1993
HDPE	MJ/kg	5,8	75,2		Boustead, 1993
Glasfiberarmerad plast	MJ/kg	3,1	60,5		Tillman m fl, 1996
Geotextil	MJ/m ²	1,9	0,4		Tillman m fl, 1996
Geomembran	MJ/m ²	5,4	195		Karlsson, 2005
Filtralite (2-4mm)	kg/m ³	360	919		Karlsson, 2005
Fitralite P	kg/m ³	550	745		Karlsson, 2005
Leca (10-20mm)	kg/m ³	102	377	455	Karlsson, 2005

1) Samma energianvändning antas gälla för ABS-plast.

FALLSTUDIE LILLÄNGSDAL

Ett område från Värmdö kommun, Lillängsdal, används som fallstudie. Området ligger relativt långt från anslutning till centralt ARV liksom många andra områden i skärgården. Information om de befintliga avloppssystemen är insamlade genom enkäter till de boende och genom fältinventeringar (Olsson, 2003). Data för avstånden inom området och kommunen är antagna av miljökontoret, Värmdö kommun (Elfström, M. pers, 2006).

Områdesspecifik data från Lillängsdal

Avloppsmängderna baseras på antalet fastigheter som ingår i området. I studerat scenario antas alla fastigheter vara permanent bebodda.

De rörlängder som används i lokala avloppssystem baseras på avstånden mellan fastigheterna fram till en avsedd plats för gemensamhetsanläggning. I systemet för centralt ARV ansluts hela kommunen till kommunalt system, ledningslängden antas därför täcka hela kommunen och fördelas följaktligen per invånare i kommunen (65 000 personer). Det kommuntäckande huvudledningsnätet ansluts till områdets ledningsnät i en gemensam punkt.

Transporterna för de olika systemen baseras på avstånden inom området, avståndet mellan området och centralt ARV, avståndet från området till jordbruk samt mellan centralt ARV och jordbruk. I Värmdö kommun finns skralt med avsättningsmöjligheter för avloppsprodukter. Avloppsprodukterna som ämnas återföras till jordbruk transporteras därför till någon av de närliggande kommunerna, Sigtuna, Norrtälje, Södertälje eller Botkyrka som enligt Weiss (2006) har potential att ta emot produkterna. Jordtillverkningen ligger i Norrköping. I Tabell 19 redovisas områdesspecifik data för Lillängsdal.

Tabell 19. Specifik områdesdata för beräkningar av mängder, rörlängder och avstånd

		Lillängsdal	Enhet
Mängder	Antal fastigheter	126	st
Rörlängd	Mellan fastigheter inom området till gemensam anläggning	4800	m
	Sammanlagd ledningslängd i kommunalt huvudledningsnät	300	km
	Markledning i huvudledningsnätet	50	%
	Sjöledning i huvudledningsnätet	50	%
Transport	Mellan fastigheter inom området till gemensam punkt	4,8	km
	Från gemensam punkt i området till jordbruk	50	km
	Från gemensam punkt i området till jordtillverkning	180	km
	Från gemensam punkt i området till mottagningsstation	23	km
	Från Käppala till jordbruk	50	km

Befintliga avloppslösningar i Lillängsdal

I resultaten jämförs utsläppsmängderna från de sex studerade avloppssystemen med en ungefärlig bedömning av utsläppen från dagens avloppslösningar. Utsläppsmängderna från de befintliga avloppslösningarna bygger på antalet fastigheter i området och fastigheternas typ av avloppslösningar. Utsläppsberäkningarna, både för de sex studerade avloppsalternativen och för uppskattningen av dagens avloppssystem, baseras på att alla hushåll är permanent bebodda.

Det är svårt att uppskatta reningsgraden i de befintliga avloppslösningarna. Avloppslösningarna är individuella för varje fastighet och reningsgraden lika så. Därför har godtyckliga antaganden gjorts utifrån områdesinventeringen. I inventeringen delas fastigheternas avloppsstandarder upp mellan WC, övrig toalettlösning och fastigheter utan WC och BDT-vatten (Tabell 20). Reningen av avloppsvattnet från fastigheterna som har WC preciseras sedan i Tabell 21 och reningen av BDT-vatten för fastigheterna med övrig toalettlösning preciseras i Tabell 22. Fastigheter som inte har WC eller BDT är i regel obebyggda tomter. Vid beräkning av medelutsläpp per boende och år exkluderas de obebyggda tomterna, beräkningar för befintliga system presenteras i bilaga 9.

Tabell 20. Fastigheternas VA-standarder (%) i Lillängsdal (Olsson, 2003)

VA-standard	%
WC	55
Övrig toalettlösning	34
Fastighet utan WC och BDT	11

Med "övrig toalettlösning" menas; förmultningstolett, urinsorterande förmultningstolett och torrtoalett. De kan även innefatta latrin, vilket innebär regelbunden latrinhämtning och transport till ARV. Latrinhämtning har dock genom höjda avgifter blivit allt mera ovanligt. Urinen från de urinsorterande förmultningstoletterna sprids på egen tomt. Om "de övriga toalettlösningarna" sköts ordentligt genom kompostering och därefter återförsel till egen trädgård kan man förvänta ett minimalt läckage till recipient. Troligt är dock att många hushåll lägger fraktionen på hög utan någon tillförlitlig återföring till egen trädgård. Detta kan speciellt i kustnära områden medföra näringsläckage till recipient. Då det är omöjligt att göra en rimlig bedömning av det eventuella näringsläckaget från de "övriga toalettlösningarna" antas att inget läckage förekommer.

I Tabell 21 redovisas fördelningen av befintliga anläggningar för WC och BDT-vatten i Lillängsdal. I tabellen visas även den antagna reningen. Förklaringar till befintliga anläggningar och till antaganden kring uppskattad reningsgrad följer vidare i texten.

Tabell 21. Befintliga anläggningar för WC och BDT-vatten (%) i Lillängsdal (Olsson, 2003) samt antagen reduktion

WC-anläggning	%	Antagen reduktion
Godkänd sluten tank	77	100 % urin + fek till centralt reningsverk
Ej godkänd sluten tank	3	100 % urin + fek till centralt reningsverk
Godkänd slamavskiljare + markbädd	7	"Markbäddsystemet"
Undermålig slamavskiljare eller markbädd	13	"Slamavskiljare" × 0.5

I Tabell 22 redovisas fördelningen av befintliga anläggningar för BDT-vattenrening. Tabellen visar även antagen reduktion. Förklaringar till befintliga anläggningar och till antaganden kring uppskattad reningsgrad följer vidare i texten.

Tabell 22. Befintliga anläggningar för endast BDT-vatten (%) i Lillängsdal (Olsson, 2003) samt antagen reduktion

BDT-anläggning	%	Antagen reduktion
Godkänd anläggning ¹⁾	45	"Markbäddsystemet"
Undermålig slamavskiljare eller MB	19	"Slamavskiljare" × 0.5
Stenkista	36	Ingen rening

1) Två- eller trekammarbrunn med efterföljande infiltration eller markbädd

Slutna tankar för fekalievatten ska tömmas kontinuerligt, varefter fekalievattnet förs till reningsverk. För att en sluten tank ska vara godkänd krävs att tanken är typgodkänd, rätt installerad och att tillstånd för sluten tank finns. De i Tabell 21 ej godkända slutna tankarna saknar oftast tillstånd eller är ej typgodkända. Här antas att 100 % av fekalievattnet från både godkända och ej godkända tankar förs till ARV, antagandet är sannolikt mer positivt än verkligheten, eftersom både godkända och ej godkända tankar kan vara skadade och läcka.

Rening av fekalievatten och/eller BDT i godkänd slamavskiljare och efterföljande rening i markbädd eller infiltration antas ha samma rening som i "Markbäddssystemet".

Kategorin undermålig slamavskiljare/efterföljande rening varierar sannolikt också mycket. Till kategorin hör gamla system med tveksam funktion och eventuellt utebliven tömning av slamavskiljaren. Det kan även röra sig om en- eller tvåkammarbrunnar. För fekalievatten krävs trekammarbrunn och för BDT krävs tvåkammarbrunn, båda med efterföljande rening. En genomsnittlig reningsgrad för undermåliga slamavskiljare/efterföljande rening antas vara 50 % av "Systemkomponenten slamavskiljare".

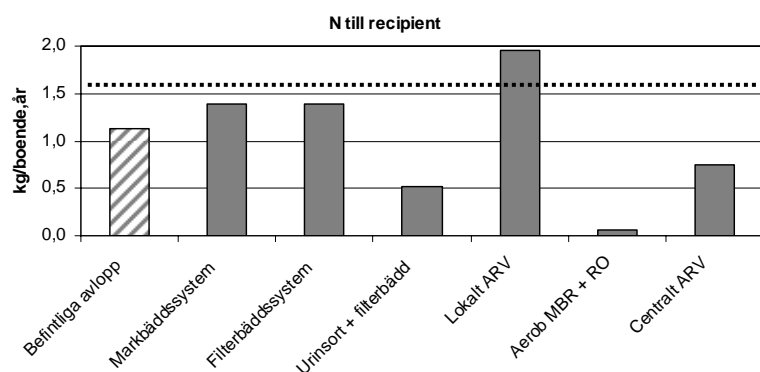
En stenkista antas fungera som ett dräneringssystem och förväntas därmed inte medföra någon rening.

UTVÄRDERING AV DE SEX AVLOPPSSYSTEMEN I LILLÄNGSDAL

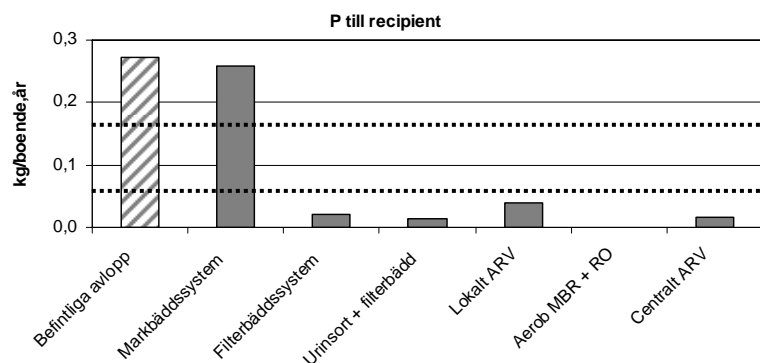
Nedan följer resultat från beräkningar av Utsläpp av N, P, BOD₇ och Cd till vatten; Tillförsel av N, P och Cd till åker; Dricksvattenanvändning samt Energianvändning för framställning/tillverkning, anläggning och drift av de studerade avloppssystemen. I bilaga 3-9 preciseras beräkningarna för de sex studerade systemen och de befintliga systemen, i bilaga 10 jämförs avloppssystemen.

Utsläpp till vatten

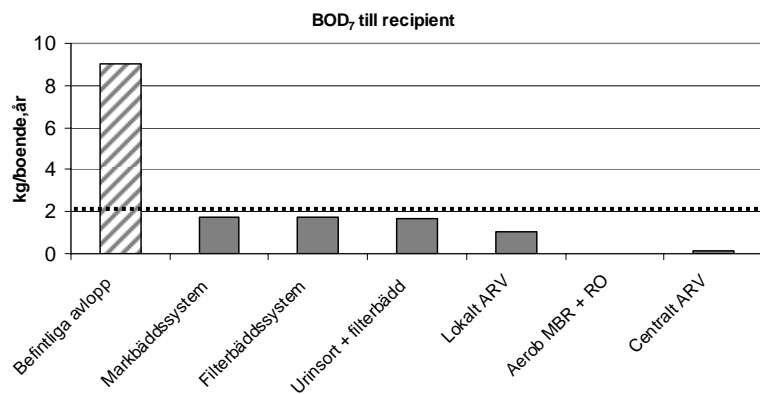
Figur 8-11. visar utsläppen av kväve, fosfor, BOD₇ och kadmium till vatten från de sex studerade avloppssystemen samt uppskattat utsläpp från dagens avloppslösningar. Naturvårdsverkets Allmänna råd för små avloppsanordningar (NFS 2006:7) beskriver hur mycket kväve, fosfor och BOD₇ små avloppsanläggningar (upp till 25 pers) bör rena. I diagrammen redovisas med streckade linjer de reningsnivåer som rekommenderas vid hög och låg skyddsnivå. För områden med låg skyddsnivå rekommenderas 70 % fosforreduktion och 90 % BOD₇ reduktion. För känsliga områden som kräver hög skyddsnivå rekommenderas dessutom 90 % fosforreduktion och 50 % kvävereduktion. Då Lillängsdal är ett kustområde räknas det sannolikt till känsliga områden, vilket gör att de hårdaste kraven kan förväntas. Större reningsverk har ofta individuella reningskrav. För de lokala reningsverken som släpper ut sitt reade vatten i områdets recipient torde man kräva minst lika god rening som för små avloppsanordningar.



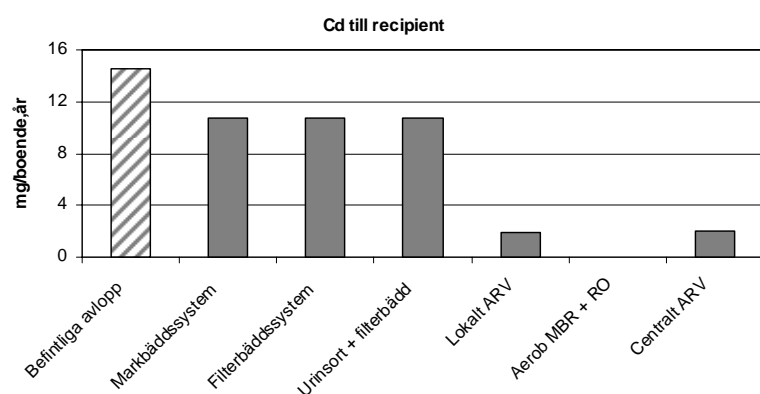
Figur 8. Kväveutsläpp till recipient (kg/boende,år).



Figur 9. Fosforutsläpp till recipient (kg/boende,år).



Figur 10. BOD₇-utsläpp till recipient (kg/boende,år).



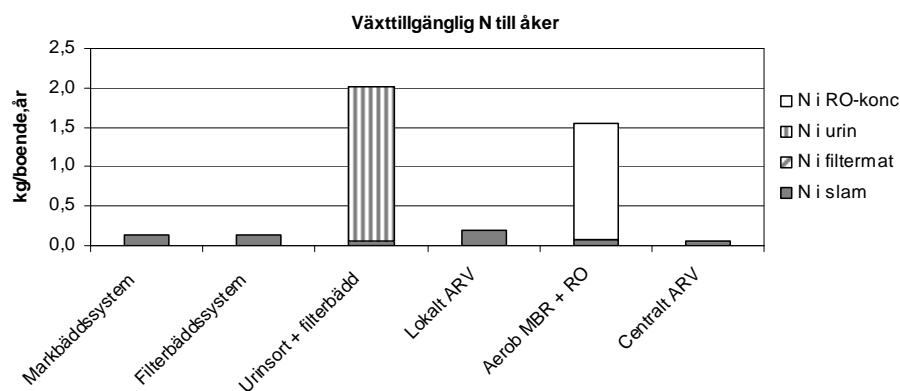
Figur 11. Kadmiumutsläpp till recipient (mg/boende,år).

De ”befintliga avloppslösningarna” uppnår inte Naturvårdsverkets allmänna råd, varken de generella kraven eller kraven för känsliga områden. De befintliga avloppssystemen skulle i gällande scenario släppa ut ungefär sex gånger så mycket fosfor och fyra gånger så mycket BOD₇ som enligt Naturvårdsverket är godkänt. Det lokala reningsverket faller inte under Naturvårdsverkets allmänna råd för små avlopp, men vid jämförelse åskådliggörs att det studerade verket släpper ut mer kväve än vad som är acceptabelt för de enskilda avloppen. I reningsverk har man möjligheten att förändra kväverensningsgraden genom höjd syresättning. Reduktionsgraden styrs ofta av gällande regler för utsläppskrav. Detta innebär att ”Lokalt ARV” kan klara kvävekravet, men med ökad i energianvändning för drift.

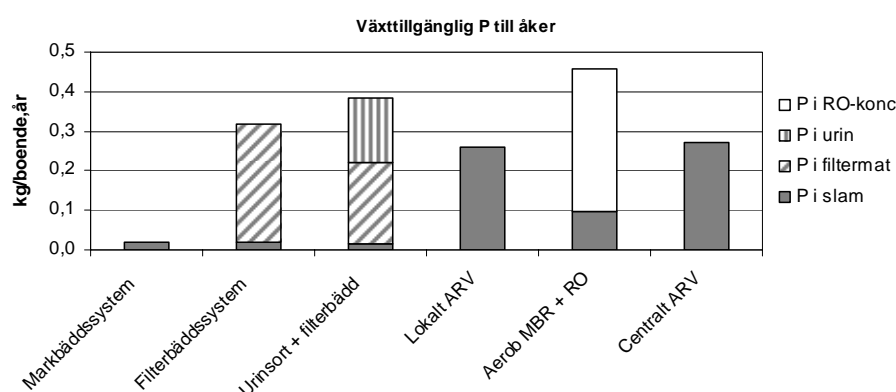
Det finns inget specifikt mål för hur mycket kadmium som får släppas ut till recipient. Figur 11 visar att de enskilda systemen släpper ut mera kadmium till recipient än de gemensamma verken.

Kväve, fosfor och kadmium till åker

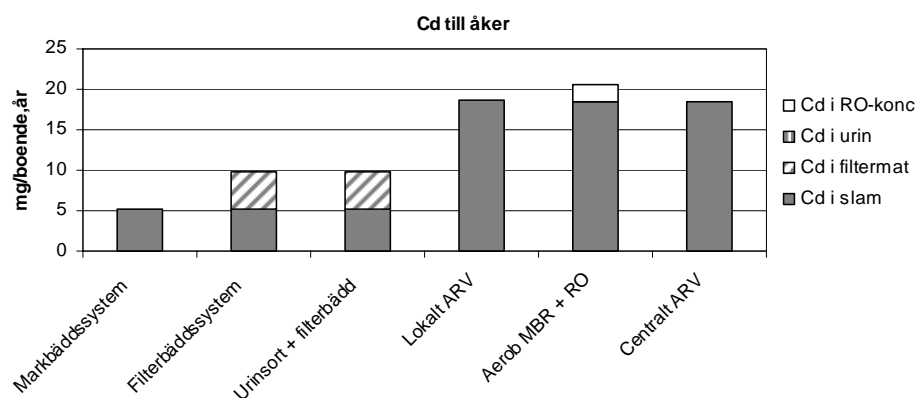
Figur 12 och 13 visar hur mycket växttillgängliga näringsämnen respektive avloppssystem kan återföra till åkermark, genom systemens summerade avloppsprodukter. Endast urinsorteringen och aerob MBR + RO medför någon nämnvärd kväveåterförsl. Fosforåterföringen är mera jämn mellan systemen. Aerob MBR + RO och urinsortering med filterbädd är de två mest fosforåterförande systemen och markbäddssystemet är det i särklass minst fosforåterförande systemet.



Figur 12. Återföring av växttillgängligt kväve till åker (kg/boende,år).



Figur 13. Återföring av växttillgänglig fosfor till åker (kg/boende,år).



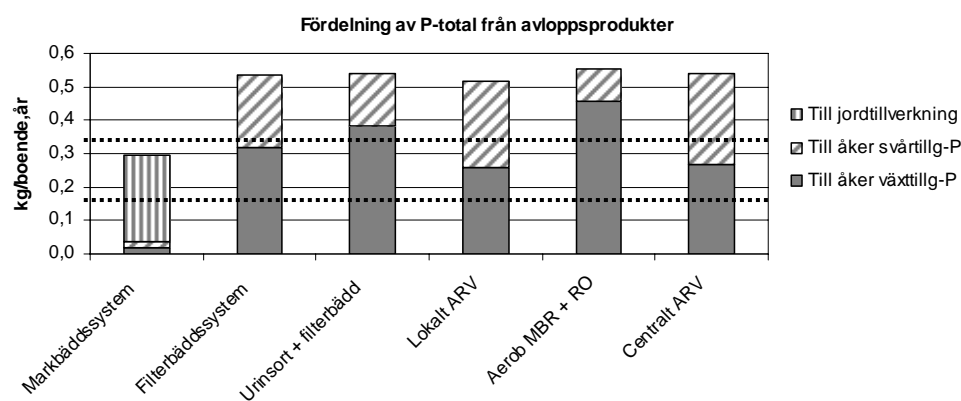
Figur 14. Tillförsel av Cd till åker (mg/boende,år).

I Figur 14 redovisas hur mycket kadmium som respektive avloppssystem för till jordbruksmark, genom summerade avloppsprodukter. De system som innebär minst kadmiumtillförsel är de enskilda systemen, vilka släpper ut större del kadmium till recipienten. Figuren visar att aerob MBR + RO medför mest kadmium till åker. Det ger en orättvis bild av verkligheten eftersom den huvudsakliga avloppsprodukten, RO-koncentrat, innehåller mycket lite kadmium. Avloppsprodukten som bidrar till den höga kadmiumtillförseln är hightech-slammet. Hightech-slammet är relativt näringsfattigt och innehåller mycket kadmium. Slammet är i själva verket tänkt att efter rötning och avvattning

föras till jordtillverkning för t ex täckning av deponier. Detta skulle kräva att en separat rötningsanläggning med biogasproduktion och en avvattningsanläggning för alternativet ”aerob MBR + RO”, vilket är en alltför kostnadskrävande investering för ett litet verk och inte realistiskt i verkligheten. För att göra hightech-alternativet mera verklighetsanpassat till Värmdö kommun förs hightech-slammet därför till centralt ARV.

Tabell 15 visas att hightechslammet i kadmium/fosfor-innehåll är bättre än slamavskiljarslammet, vilket också förs till centralt reningsverk. Alla avloppsprodukter som i studien avses att föras till åker (Tabell 15) är enligt Naturvårdsverkets ”Haltgränsvärden för kadmium till åkermark” godkända att återföra vid den mängd som i studien avses. De hårdare krav som träder i kraft 2015 kommer ARV-slam inte att klara utifrån önskad giva.

I Figur 15 redovisas hur mycket fosfor som totalt återförs till jordbruk (växttillgänglig + svårtillgänglig) samt hur mycket fosfor som förs till jordtillverkning från de olika avloppssystemen, uttryckt i kg per boende och år.

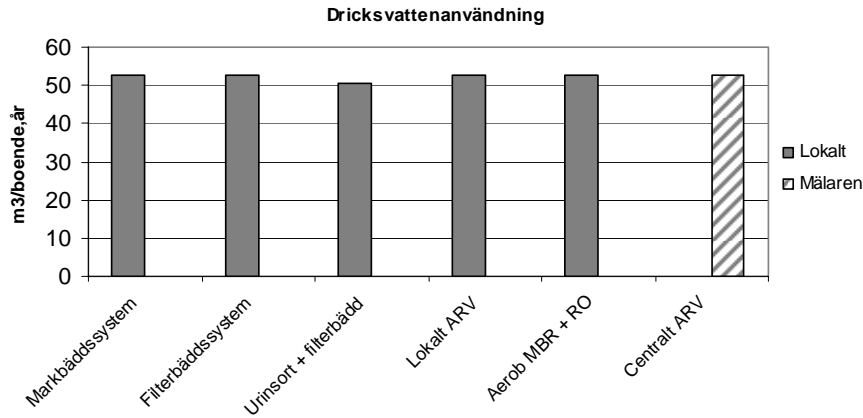


Figur 15. Fosfor från avloppssystemens produkter till jordbruk, fördelat på växttillgänglig och svårtillgänglig fosfor samt totalfosfor till jordtillverkning.

I riksdagens proposition (2000/01:130) påyrkas att 60 % av fosfor från avlopp skall återföras till produktiv mark, varav 30 % till jordbruksmark före år 2015. Det är ett generellt mål och inget krav som varje avlopp måste uppfylla, dock bör man beakta målet vid projektering av avlopp för omvandlingsområden. De båda streckade linjerna i Figur 15 beskriver Naturvårdsverkets mål om fosforåterföring. Den undre linjen innebär återföringsmålet till jordbruksmark och den övre linjen återföringsmålet till produktiv mark. Målet beskriver totalfosforåterföring, vilket innefattar både växttillgänglig och svårtillgänglig fosfor. Enligt Figur 15 är det endast ”Markbäddssystemet” som inte klarar återföringsmålet. De andra systemen klarar målet med god marginal.

Dricksvattenanvändning

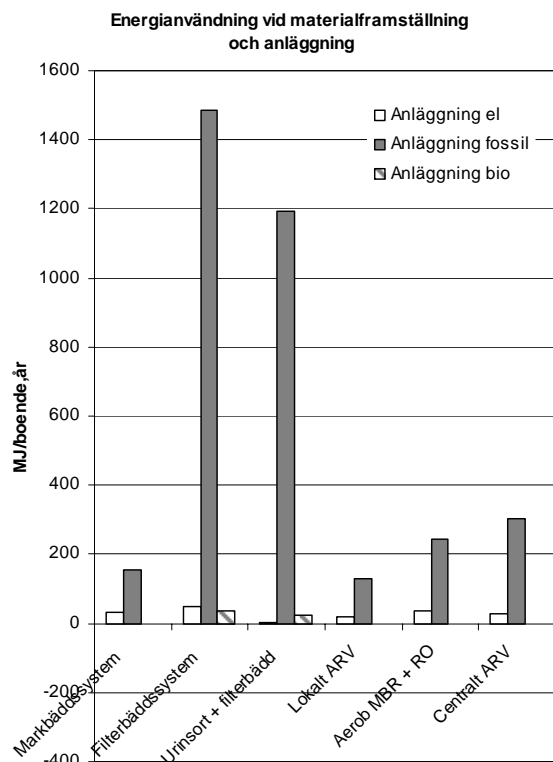
Vattenanvändningen (Figur 16.) visar på att sorterande avloppssystem bidrar till en synnerligen liten minskning av vattenanvändningen i stort, vilket beror på att den största mängden vatten som används i hushållen är BDT-vatten. En central VA-anslutning skulle innebära en avlastning på den lokala vattenanvändningen. Dock bör omnämnas att dricksvattenledningen i kommunal anslutning inte är inräknad i anläggning/tillverkningsenergin.



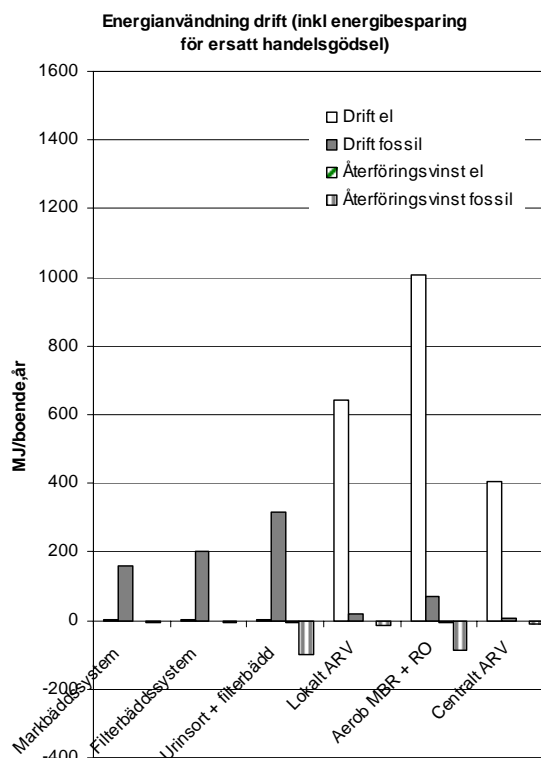
Figur 16. Dricksvattenanvändning (m³/boende,år).

Energianvändning för materialframställning, anläggning och drift

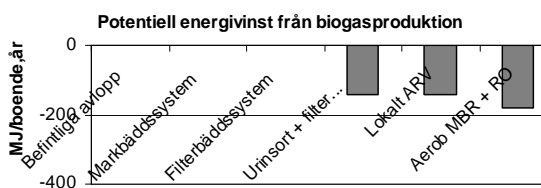
I och figur 17 och 18 jämförs energianvändningen vid anläggning och framställning/tillverkning av ingående komponenter kontra energianvändningen vid drift av systemen. Båda diagrammen baseras på energianvändningen utslagen per boende och år. Jämförelsen visar att energianvändningen varierar mycket mellan systemen.



Figur 17. Energianvändning för materialframställning och anläggning i el och fossila bränslen (MJ/boende,år).



Figur 18. Energianvändning för drift i el och fossila bränslen samt energibesparing vid ersättning av handelsgödsel (MJ/boende,år).



Figur 19. Potentiell energi från biogasproduktion (MJ/boende,år)

Energianvändning vid tillverkning av systemkomponenter och anläggning av system

Materialframställningen står generellt för en betydligt större del av energianvändningen, jämfört med själva anläggningen. I Figur 17 redovisas de sex avloppssystemens energianvändning vid anläggning och tillverkning av respektive komponenter. I markbäddsalternativet är det främst tillverkning av plastprodukter och betong som bidrar till energianvändningen. I Filterbäddsalternativet beror den höga energianvändningen på filterbäddsmaterialen; filtralite P, filtralite 2-4 mm, geomenbranet, skyddande leca och infiltrationsdömer. I alternativet för urinsortering + filterbädd är det ingående

filterbäddskomponenter samt lagringsbrunnen för urin som bidrar till den höga energianvändningen. Vid urinsortering krävs en mindre filterbädd vilket gör energianvändningen lägre i alternativ 3 än i alternativ 2. I lokalt ARV-alternativet är det främst avloppsledningarna som är energikrävande. För hightechalternativet baseras energianvändningen främst på ledningar och plastprodukter i verket. I alternativet för Centralt ARV är det framför allt ledningarna som bidrar till energianvändningen, men även betong och armering i verket.

Energianvändning vid drift

I alternativet för markbädd är det i stort sett endast transportererna med slamsugbil som påverkar driftsenergin. I filterbäddsalternativet tillkommer även transport och spridning av filtermaterial. För urinsortering + filterbädd är det transportererna med slamsugbil och hantering av urinen och filterbäddsmaterialet som bidrar till driftsenergin. För lokalt ARV är det driften av verket, kemikalietillverkningen och slamtransporten till central ARV-anslutning som bidrar till driftsenergin. I Aerob MBR + RO står den omvända osmosen för ca 65 % av energianvändningen vid drift, resterande del kommer mestadels från det övriga komponenterna i verket. I centralt ARV baseras energianvändningen framför allt på driften av verket samt ledningstransport.

För de enskilda systemen är det avstånden till jordbruk och till anslutning till reningsverk som påverkar driftsenergin mest.

I Figur 18 visas även vinsten av näringsämnesåterföring i form av utebliven handelsgödselproduktion. Vid framställning av handelsgödsel är det framförallt nitratkväve som är energikrävande att producera. Det är bara urinsorteringen och aerob MBR + RO som bidrar till någon nämnvärd kväveåterföring och därmed endast i alternativ 3 och 5 som ger någon nämnvärd energibesparing.

Potentiell biogasproduktion

Vid rötningen i centralt verk bildas biogas. Slammet från slamavskiljare, i de enskilda systemen, som lagras och utlakas under en lång tid antas inte bidra till någon nämnvärd biogasproduktion. Slammet från de gemensamma verken antas däremot bilda biogas. En relativt stor mängd energi kan vid framställning av fordonsgas produceras, i studien ingår inte komponenterna för fordonsgas, därför inräknas inte biogasenergin i systemens driftseenergi. Dock redovisas i figur 19 den potentiella biogasenergin som genom de studerade systemen kan produceras.

Energin från den producerade biogasen antas vara 180 MJ per boende och år för central anslutning (Löfkvist, 2006). För de två andra gemensamhetssystemen antas endast 80 % av den antagna energin produceras, med tanke på slammets färdväg till centralt ARV och de lagrings- och urlagningsförluster vägen förmodas innebära.

Känslighetsanalys drift och anläggning

Drift- och anläggningsenergin styrs utifrån områdets transportavstånd och ledningslängder. Simuleringar med ändrade avstånd i VeVa-verktyget visar att förändringar i avstånd verkligen påverkar drifts- och anläggningsenergin för de olika avloppssystemen, se bilaga 11.

En avståndsförändring inom området påverkar framför allt gemensamhetssystemen, genom förändrad ledningslängd. En viss förändring syns även på de enskilda systemen pga ökade transporter vid insamling av avloppsprodukter. Vid ett dubbelt så långt avstånd inom Lillängsdal (10 km i stället för ~5 km) ökar anläggningsenergin för gemensamhetssystemen med 58 MJ fossil energi och med 8 MJ elenergi. För de enskilda systemen medför avståndsökningen mellan 30 och 40 MJ extra fossilenergi för ökade transporter.

En förändring av avstånd mellan område och jordbruk påverkar transportenergin för de enskilda systemen som har stora mängder avloppsprodukter. Ett dubbelt så långt avstånd mellan Lillängsdal och jordbruk (100 km i stället för 50 km) innebär en ökning av fossil energi för transport med 138 MJ för alternativet Urinsortering + filterbädd, 33 MJ för Filterbäddsalternativet och 23 MJ för Aerob MBR + RO-alternativet.

Normalisering

För att bedöma om påverkan av avloppshanteringen i de olika avloppssystemen är liten eller stor i ett nationellt perspektiv görs en normalisering. En normalisering innebär här att beräkna hur stor del av utsläppet från avloppssystemen utgör i relation till medelutsläppet i Sverige per person och år.

I Tabell 23 redovisas utsläpp till recipient, användning av handelsgödsel och energianvändning per person och år i Sverige. Där redovisas även den procentuella påverkan av de studerade avloppssystemen för utsläpp till recipient, potential till återföring av växttillgängliga näringsämnen och energianvändning vid drift och anläggning.

Tabell 23. Avloppssystemens procentuella påverkan på nationella utsläpp, ersättning av handelsgödsel och energianvändning (% per boende,år). Nationell data för Cd till recipient från Kärrman, (2000), övrig nationell data från Tidåker m fl, (2005)

	Per invånare	Befintliga system	Markbädd	Filterbädd	U-sort + FB	Lokalt ARV	MBR + RO	Centralt ARV
N till recipient	12,6 kg	15,0	11,0	11,0	4,1	15,5	0,4	6,2
P till recipient	0,35 kg	103,4	73,9	5,9	4,1	11,1	0,01	4,8
Cd till recipient	200 mg	7,6	5,4	7,7	7,7	1,0	0,02	1,0
Cd till åker	118 mg	-	4,4	4,4	4,4	15,7	17,4	15,7
N-handelsgödsel	18,9 kg	-	0,7	0,7	10,5	1,0	7,8	0,3
P-handelsgödsel	1,56 kg	-	1,2	20,3	24,5	16,6	26,3	17,3
El	59600 MJ	-	0,1	0,1	0,01	0,1	1,7	0,7
Fossila bränslen	104404 MJ	-	0,3	1,6	1,5	0,1	0,3	0,4

Energianvändningen (el och fossila bränslen) för de sex avloppssystemen baseras på sammanlagd energianvändning för komponenttillverkning, anläggning och drift.

Det årliga kväveutsläppet till recipient i Sverige, angett i enheten kg per invånare och år är 12,6 kg. De studerade avloppssystemen beräknas bidra med ett kväveutsläpp till recipient på mellan noll och två kg kväve per boende och år. Det innebär att avloppsvattenutsläpp från de boende i området bidrar till mellan 0-16 % av det nationella kväveutsläppet per invånare (Tabell 23). De enskilda systemen har i regel en lägre kväveringsgrad än de gemensamma med undantaget lokalt ARV.

Tabell 23 visar även att fosforutsläppen från de studerade avloppssystemen skiljer sig markant åt. De befintliga avloppslösningarna släpper ut mer fosfor per boende och år (0,36 kg), än nationellt medelfosforutsläpp per invånare och år (0,35 kg), vilket motsvarar 103 %. För markbäddssystemet innebär fosforutsläppet, per boende, 74 % av nationellt fosforutsläpp per invånare, medan fosforutsläppen från övriga system, per boende, endast bidrar med 0-11 % av nationellt invånarutsläpp.

Kadmiumutsläppet till recipient från respektive system, per boende, varierar mellan 0 och 8 % av nationellt kadmiumutsläppet per invånare. Generellt gäller att enskilda avloppssystem släpper ut mera kadmium till recipient än gemensamma system.

Avloppsprodukternas potential att ersätta dagens förbrukning av handelsgödsel (kväve och fosfor) redovisas också i Tabell 23. I Sverige används, uttryckt i kg per invånare och år, 18,9 kg kvävehandelsgödsel och 1,56 kg fosforhandelsgödsel. Boende i Lillängsdal kan genom återförsel av sina avloppsprodukter till åker ersätta mellan 0-11 % av den invånarbaserade årliga givan av kväve-handelsgödselmedel. Det urinsorterande systemet och aerob MBR + RO är de två system som har potential att återföra kväve.

Avloppsprodukterna från de sex avloppssystemen bidrar vid återföring till jordbruk med mellan 0,01 kg och 0,4 kg fosfor per boende och år. Det innebär att de boende kan ersätta mellan 1 och 26 % av "sin egen" förbrukning av fosforhandelsgödsel. Markbäddssystemet är i återföringssynpunkt sämst medan de övriga är mera jämnbra.

Vid återföringen av avloppsprodukter till jordbruksmark tillförs även kadmium. De gemensamma systemen bidrar till, per boende, mellan 15 och 18 % av kadmiummängderna som, per svensk invånare, årligen förs till åker genom handelsgödselanvändning. De enskilda systemen bidrar, per boende, med 4 % av den nationella kadmiumtillförseln från handelsgödselanvändning, per invånare.

Energianvändningen för avloppsvattenhantering är enligt tabellen endast en liten del av den energi som förbrukas i Sverige. Noll till två procent el och noll till två procent fossila bränslen används årligen, per boende, för att driva avloppssystemen, utifrån den energimängd som varje svensk i genomsnitt konsumerar per år. Mest energi kräver Aereob MBR + RO och filterbäddssystemen.

DISKUSSION

Bäst ur miljösynpunkt?

Utsläpp till recipient

I studien utvärderas avloppsreningen i de studerade systemen utifrån Naturvårdsverkets Allmänna råd för små avloppsanordningar. Råden gäller bara avloppssystem för < 25 personer. Större reningsverk har individuella reningskrav, dessa krav torde dock vara minst lika höga som de för enskilda system, därför jämförs reningen för alla systemen rakt av.

I jämförelse mellan de sex studerade avloppssystemen, visas att alla system förutom Markbäddssystemet kan klara utsläppskraven (vid både låg och hög skydds nivå). De fem resterande systemen klarar alla BOD₇ och fosforkraven i stort sätt lika bra. Systemet med Aerob MBR + RO och systemet med Urinsortering + filterbädd renar kväve bättre än övriga system.

Resursanvändning

Dricksvattenanvändningen påverkas marginellt av valet av avloppssystem. Den absolut största delen av vattenanvändningen är BDT-vatten, den påverkas inte i valet av avloppssystem.

Brytning av jungfruliga fosforresurser kan reduceras genom återföring av avloppsprodukter till åker. Återföring av fosfor till jordbruk och därmed ersättning av fosforhandelsgödsel värderas utifrån hur systemen klarar riksdagens miljömål om fosforåterföring. Alla studerade avloppssystem förutom markbäddssystemet har potential att ersätta en relativt stor mängd fosforhandelsgödsel och klarar återföringsmålet med bravur. Aerob MBR + RO och Urinsortering + filterbädd är de två system som kan återföra mest fosfor.

Vid återföring av avloppsprodukter till åkermark tillförs åkern även kadmium. Studien visar att enskilda system släpper ut största delen av avloppsvattnets kadmiuminnehåll till recipient, medan gemensamhetssystemen fördelar största delen av avloppsvattnets kadmiuminnehåll till avloppsprodukterna. Önskvärt vore att inte sprida kadmium varken till recipient eller åker, vilket framför allt bör uppnås genom minskad kadmiumanvändning i samhället. Utifrån innehållet i det förekommande avloppsvattnet uppmärksammas dock framför allt kadmiumtillförseln till åkermark. I regeringens mål om fosforåterföring från avloppsprodukter beskrivs därför krav på hur höga halter kadmium som får tillföras åkermark. Samtliga avloppsprodukter som i studien avses spridas på åker klarar (utifrån ämnen giva) kadmiumkraven.

Ett intressant resultat i denna studie är att anläggnings- och tillverkningsenergin för vissa av de studerade systemen är större än deras driftsenergi. Detta visar på vikten av att i miljösystemanalyser studera både drift, anläggning och tillverkning. Det visar också på betydelsen av materialvalet i systemkomponenterna. Leca och plastprodukter är mycket energikrävande att framställa, varför man bör överväga andra material om möjlighet finns.

Av de sex studerade systemen sticker de två filterbäddssystemen och aerob MBR + RO ut. Filterbäddssystemen medför en avsevärt mycket högre fossil energianvändning än de övriga systemen, aerob MBR + RO innebär betydligt mycket högre elenergianvändning än övriga system.

Jämförelse av energi- och resursaspekter

Hur jämför man naturresurserna olja, uran, fosfor, rent vatten och giftfri miljö? Olja, uran och brytbar fosfor är alla tre ändliga resurser. I viss mån står avloppssystemens reningsförmåga och de producerade avloppsprodukternas närings- och kadmiuminnehåll i relation till

energianvändningen för de studerade systemen. De mest energikrävande systemen har enligt studien en något bättre återföringsprodukt. Genom att återföra avloppsprodukter till åker kan vi minska brytningen av fosfor, på köpet får vi ett gödselmedel med något högre kadmiuminnehåll än den handelsgödsel som idag nyttjas i Sverige. För energiproduktion krävs ändliga resurser i form av olja, kol eller uran, alternativt ökad exploatering av vattendrag för vattenkraft, hav för att ge vågkraft eller vindkraft och odlingsmark eller skogsmark för att ge bioenergi. Det är oerhört komplext att bedöma hur mycket energi det är värt att använda för avloppshantering. Normaliseringen i studien visar att störst nationell påverkan från avloppsvattenhanteringen avser eutrofiering- och återföring. Utifrån dessa resultat skulle det kanske vara rätt att använda mer energi för att få en bättre rening och en bättre återföringsprodukt. Systemens reningsgrad och produkternas närings- och kadmiuminnehåll bör hur som helst sättas i relation till hur mycket energi som används.

Minst energi används i Markbäddssystemet, men det renar heller inte acceptabelt och återför endast lite näring till åker. Mest energi används för de båda ”filterbäddssystemen”. De renar avloppsvattnet bra och kan återföra en stor mängd fosfor med relativt lågt kadmiuminnehåll till åkermark, men det är mycket tveksamt om det står i proportion till den stora energimängd som åtgår för tillverkning av filterbädden. Däremellan finns resterande tre studerade avloppssystem. Lokalt ARV och Centralt ARV kan ge relativt god rening till relativt låg energianvändning, avloppsprodukten som produceras innehåller dock ganska mycket kadmium. Aerob MBR + RO har en påtagligt mycket högre energianvändning men producerar i gengäld två produkter, en näringsrik med lågt kadmiuminnehåll som kan återföras till åker och en med högt kadmiuminnehåll och endast lågt näringsinnehåll som kan användas till jordtillverkning eller tätskikt på deponier.

Enskilt, lokalt- eller centralt system

Studien avser att jämföra enskilda system, lokala gemensamhetssystem och central anslutning, utifrån studerade miljö- och resursaspekter, i ett specifikt område.

Utifrån de sex studerade alternativen tycks central anslutning och lokal gemensamhetsanläggning vara av fördel i utsläpps- och energisynpunkt. Kadmiuminnehållet i avloppsprodukterna är dock inte ultimata med dessa system.

Andra aspekter att väga in

I val av avloppssystem för ett område krävs mera information än endast miljö- och resursanvändning. Andra aspekter man bör väga in är ekonomi, systemens robusthet, användarvänlighet, pedagogiskt perspektiv och organisation.

Ekonomi är ofrånkomligen en viktig aspekt för den som väljer avloppssystem, inga antaganden om ekonomi kan utifrån denna studie göras.

Alla de sex studerade systemen finns beprövade i den aktuella skalan. Aerob MBR + RO är dock i ett utvecklingsstadium. För enskilda system kan reningsgraden vara svår att styra och kontrollera. Mellan likadana enskilda system varierar troligen reningsgraden mycket, t ex beroende på mark- och filterbäddarnas konstruktion och byggnation. Gemensamhetssystem är lättare att styra och kontrollera.

Användarvänligheten i de studerade systemen skiljer sig kanske mest mellan det urinsorterande systemet och de övriga. Urinsorterande toaletter kräver ofta mera rengöring

och skötsel. En annan aspekt är att de tre enskilda systemen kräver uppgrävning och nyanläggning vart femtonde år.

Med pedagogiskt perspektiv menas här huruvida avloppshanteringen kan bidra till insikt och förståelse för kretslopp och resursanvändning. Ju större system, desto mer avlägsen blir avloppshanteringen och förståelsen minskar. Sorterande system är bra i återkopplingssynpunkt, då de visar fördelen av att inte blanda ihop fraktioner och på nyttan av att snåla med spolvatten för att slippa utspädningseffekt.

Ansvarstagande och organisation skiljer sig mellan de olika systemen. Enskilda system innebär ansvar för den enskilde, gemensamhetssystem kan drivas kommunalt eller i samfällighet och central anslutning drivs kommunalt eller regionalt. Olika avloppsprodukter produceras i de olika systemen. Kommunen ansvarar för hushållsavfall, vilket torde inkludera avloppsprodukter. För att de studerade systemen ska vara gångbara måste därför Kommunen finna avsättning för de producerade avloppsprodukterna. I rapporten antas att alla avloppsprodukter är av intresse för lantbrukaren, vilket inte alls är dagens verklighet. Livsmedelsindustrin hyser ett stort motstånd till råvaror som gödslats med avloppsprodukter, därför vill heller inte alla lantbrukare ta emot avloppsprodukter.

Osäkerhet i resultaten

Det har varit omöjligt att göra en helt rättvis bedömning av system. Bakgrundsdatan som funnits tillgänglig varierar mellan systemen. Viss information är detaljerad och färsk medan andra data är äldre och mer osäker. Som exempel på osäkerhet kan markbäddars fosforreducerande förmåga ges. Endast få studier är gjorda och reduktionen redovisas i dessa studier i breda intervall.

Ett annat exempel på osäkerhet är beräknad energianvändning för tillverkning/anläggning av olika avloppssystem. Komponenterna i markbäddssystemet är väldetaljerade medan komponenterna i centralt ARV baseras på grova antaganden.

Förslag till fortsatta studier

För att göra VeVa-verktyget mera användbart vid val av avloppssystem i omvandlingsområden vore det intressant att utöka med en ekonomidel. Ekonomin är många gånger avgörande vid stora investeringar och är relativt komplex att beräkna.

Det finns dessutom ett flertal avloppssystem och tillägg till avloppssystem som skulle vara av intresse att studera i en utökning av verktyget.

- Med urinsortering och/eller kemfällning i slamavskiljare kan markbäddssystemet klara reningskraven bättre och dessutom bidra med bättre återföringsprodukter.
- Filterbäddar överdimensioneras ofta, spännande vore att se hur pass mycket material man kan reducera till samma funktion. Det finns även andra filterbäddar än just "Filtralite" på marknaden som kanske är mera energisnåla.
- Ett klosettsorterande system utvärderas just nu i Hammarbysjöstad, det skulle vara betydelsefullt att se hur ett sådant system klarar VeVa-utvärderingen.

SLUTSATSER

- Alla studerade system förutom Markbäddssystemet klarar målet om fosfor och BOD₇-reduktion från Naturvårdsverkets Allmänna råd för små avloppsanordningar, vid låg skyddsnivå. Reduktionsmålet för hög skyddsnivå (därtill kvävereduktion och högre fosforreduktion) klaras av alla system förutom Markbäddssystemet och Lokalt ARV, med ökad energianvändning kan också Lokalt ARV klara kravet.
- Alla studerade system förutom Markbädd har potential att uppnå regeringens mål om återföring av fosfor ur avloppsprodukter till produktiv mark och till åker.
- Dricksvattenanvändningen är så gott som lika stor för alla systemen.
- Energireultatet visar att energianvändningen för drift och anläggning/tillverkning varierar mycket mellan de studerade systemen. Det visar även på att energin för anläggning/tillverkning är av betydelse för alla studerade system och därför bör ingå i systemanalyser.

REFERENSER

Tryckta referenser

- Andersson R. (1992) *Slam från enskilda avlopp – Hot eller resurs för ekologiskt lantbruk?* Examensarbete 887. Institutionen för växtodlingslära, SLU. Uppsala.
- AGF, Västerås (2000) Dataunderlag om jordtillverkning (ej publicerad)
- Balmér, P. och Mattsson, B. (1993) *Kostnader för drift av avloppsreningsverk*. VA-Forsk rapport 1003-15, VAV.
- Balmér, P. Book, K. Hultman, B. Jönsson, H. Kärrman, E. Levlin, B. Palm, O. Schönning, C. Seger, A. Stark, K. Söderberg, H. Tideström, H. och Åberg, H. (2002) *System för återanvändning av fosfor ur avlopp*. Naturvårdsverket Rapport 5214, Stockholm.
- Baumann, H och Tillman, A-M (2004) *The Hitch hiker's guide to LCA*, Studentlitteratur, Lund.
- Bengtsson, M. Lundin, M. och Molander, S. (1997) *Life cycle assessment of wastewater systems. Case studies of conventional treatment, urine sorting and liquide composting in three Swedish municipalities*, Rapport 1997:9, Teknisk miljöplanering, Chalmers tekniska universitet.
- Boustead, I. (1993) *Eco-profiles of European plastic industry Report 3: Polyetylen och polypropylene PWMI*, Bryssel, Belgien
- Davis J. och Haglund C. (1999) *Life cycle inventory (LCI) of fertiliser production. Fertilicer products used in Sweden och Western Europe. SIK-rapport nr 654 1999*. Institutionen för kemisk miljövetenskap, Chalmers tekniska universitet
- Frohagen, J (1997) *Livscykelanalys på tre järnbaserade fällningskemikalier*. Rapport 1997:10 Chalmers Tekniska Universitet.
- Jenssen, P. Maelhlum, T. Krogstad, T & Vråle, L. (2005) *High performance constructed wetlands for cold climate*. Journal of Environmental Science and Health.
- Jeppsson, U. Baky, A. Hellström, D. Jönsson, H. och Kärrman, E. (2005) *The URWARE Wastewater Treatment Plant models*. Urban Water Report 2005:5. Chalmers Tekniska Universitet, Göteborg.
- Jordbruksverket, (2002). *Riktlinjer för gödsling och kalkning 2003*. Rapport 2002:11.
- Jönsson, H. Baky, A. Jeppsson, U. Hellström, D och Kärrman, E. (2005) *Composition of urine, faeces greywater and bio-waste for utilisation in the URWARE model*. Urban Water report.
- Karlsson, P. (2005) *Kretsloppsanpassade filterbäddar – En miljösystemanalys av småskaliga avlopp i Stockholms län* Institutionen för teknik, Högskolan i Kalmar
- Klaassen, C. D. (2001) *Casarett & Dull's Toxicology: The basic science of poisons, 6th edition*, McGraw-Hill Companies, Inc.
- Kvarnström, E. (2001) *Plant-Availability of Phosphorus Removed from wastewater by different processes*. Doctoral Theses 2001:18. Department of Environmental Engineering. Luleå Tekniska Universitet.
- Käppala miljörapport (2004) *Miljörapport enligt miljöbalken 2004*, Käppala förbundet, Lidingö

- Kärrman, E. (1995). Rapport 1995:1 Ledningsteknik, *Utvärdering av olika avloppssystem, metoder och fallstudier*, Chalmers Tekniska Högskola – institutionen för VA-teknik.
- Kärrman, E. (2000) *Environmental systems analysis of wastewater management*, Chalmers tekniska högskola.
- Lindgren, M. Pettersson, O. Hansson P-A. Norén, O. (2002) *Jordbruks- och anläggningsmaskinernas motorbelastning och avgasemissioner – samt metoder att minska bränsleförbrukning och avgasemissioner*. Rapport 308, JTI.
- Löfqvist H. (2006) *Environmental systems analysis of new developing wastewater treatment. Local solutions in transition areas* Projektpublikation nr 32, Stockholm vatten/Umeå universitet.
- Naturvårdsverket (1985) *Avloppsvatten – infiltration. Förutsättningar, funktion, miljökonsekvenser*. Nordisk samproduktion, Naturvårdsverket/Nordiska ministerrådet
- Naturvårdsverket (1990). Allmänna råd 87:6. *Små avloppsanläggningar*
- Nilsson P. Nyberg F. och Karlsson M. (1998) *Markbäddars funktion – kontroll och utvärdering av markbäddar* Rapport 4895, Naturvårdsverket
- NFS 2006:7. *Naturvårdsverkets Allmänna råd om små avloppsanordningar för hushållspillvatten*
- Nyholm, A-M. m fl (2005). *Wastewater treatment in filter beds: reuse of filter material*, MTT Agrifood Research Finland.
- Olsson, S. (2003). *Inventering av enskilda VA-anläggningar i Lillängsdal*. Miljö och byggförvaltningen, Värmdö kommun.
- Palm O. Malmén L. Jönsson H. (2002) *Robusta, uthålliga små avlopp. En kunskapssammanställning*. Rapport 5224, Naturvårdsverket
- Proposition (2000/01:130). *Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier*
- RTK (2003). *Vatten och avlopp I omvandlingsområden – rapport från en intervjuundersökning*
- SFS 2004:660 *Förordningen om förvaltningen av kvaliteten på vattenmiljön*
- Sjöberg C. (2003) *Lokalt omhändertagande av restprodukter från enskilda avlopp i Oxundaåns avrinningsområde* Examensarbete 2003:1, Institutionen för lantbruksteknik, SLU
- Sonesson U. (1996) *Modelling of compost an transport process in ORWARE simulation model* Rapport 214, Institutionen för lantbruksteknik, SLU
- Tillman, A-M. Lundström, H. Svingby, M. (1996) *Livscykelanalys av alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgersund. Delrapport från ECOGUIDE-projektet*. Avdelning för teknisk miljöplanering, rapport 1996:1b, Göteborg
- Tidåker P. Kärrman E. Baky A. Jönsson H. (2005) *Wastewater management integrated with farming. An environmental systems analysis of the model city Surahammar*. Rapport – miljö, teknik och lantbruk 2005:5. Institutionen för biometri och teknik, SLU.
- Tidåker P. Sjoberg C. Jönsson H. (2006) *Local recycling of plant nutrients from small-scale wastewater systems to farmland – a Swedish scenario study*. Institutionen för biometri och teknik, SLU.

Weiss (2006) *Fosforbindande enskilda avloppsanläggningar i Stockholms län – En miljösystemanalys med metodik från livscykelanalys* Examensarbete, Miljö- och vattenteknik, Uppsala Universitet

Wennhage (2003) *Effektiva tågssystem för godstransporter, underlagsdata, Lätta konstruktioner för högre nyttolast* Rapport 0506D Avdelningen för lätta konstruktioner, Järnvägsgruppen, KTH

Wittgren, H-B. Baky, A. Palm, O. (2003) *Environmental systems analysis of small-scale sanitation solutions*. JTI, Uppsala

Internetreferenser

Grus och Betong i Norrland AB, 2007-03
www.grusochbetong.se

Hydrotech, high performance filter systems, 2006-10, *Trumfilter*
<http://www.hydrotech.se/productdetails.asp?id=2>

Maxit Group, 2006-05, *Dimensionering filterbäddar*
http://www.filtralite.com/arch/_img/177293.pdf

Naturvårdsverket, [www¹](http://www.miljomal.nu), 2006-10-19. *Miljömålsportalen*,
www.miljomal.nu, Miljömålsrådets kansli på Naturvårdsverket

Naturvårdsverket, [www²](http://www.naturvardsverket.se/dokument/teknik/kemikalie/pdf/kemi.pdf), 2006-10-19. *Miljömålet "Giftfri miljö"*,
www.naturvardsverket.se/dokument/teknik/kemikalie/pdf/kemi.pdf, Miljömålsrådets kansli på Naturvårdsverket

Nyströms cement, 2006-08 *Urintank*
<http://www.nystromscement.se/produkter.php?show=12>

SwedEnviro Consulting Group, [www](http://www.avloppsguiden.se/avloppsteknik/markbadd.htm), 2006-05. *Slamavskiljare och markbäddar*
www.avloppsguiden.se/avloppsteknik/markbadd.htm

Personliga meddelanden

Björlenius, B. Stockholm Vatten 06-10

Elfström, M. Värmdö kommun 06-09-31

Follesdal, M. Maxit Group, 2004-12

Gadd, T. Abetong 06-06-17

Hellström, D. Stockholm Vatten 06-12

Johansson, H. Uponor 06-10-06

Lindblom, M. Uponor 06-05-03

Lund, T. ENWA Water Treatment, 06-10-23

Nyman, J. Tranås cementvarufabrik AB, 06-05-15

Ridderstolpe, P. WRS 06-06-27

Ridderstolpe, P. och Stråe, D. WRS, 04-11

Ruud, J-E. Vestfoldplast 06-05-15

Tidåker, P. SLU 06-06

Thysell, F, Hydrotech, 06-10-20

BILAGOR

Bilaga 1. Indata för drift av Centralt ARV (Löfqvist, 2006)

URWERE-kod	Drift Centralt ARV	Värde	Enhet	Referens	
zenEliTotPreSSp	2 Mixing Scrapers and Pumping in Pre Settler	1,8	MJ/boende,år	1226	MJ/år
zenEliTotASAnoxSp	2 Mixing Pumping and Aeration in Anox AS	8,6	MJ/boende,år	6014	MJ/år
zenEliTotASAerobSp	2 Mixing Pumping and Aeration in Aerob AS	255,3	MJ/boende,år	178733	MJ/år
zenEliTotASIdealSSp	2 Scrapers and Pumping in Ideal Settler	26,2	MJ/boende,år	18348	MJ/år
zenEliTotSandFSp	2 Mixing Scrapers Pumping and Filter in Sand Filter	4,8	MJ/boende,år	3389	MJ/år
zenEliThickSp	2 Overall in Thickener	0,3	MJ/boende,år	192	MJ/år
zenEliTotAdSp	2 Mixing Pumping and Heat exchanger in Anaerobic Digester	24,5	MJ/boende,år	17153	MJ/år
zenEliDewSp	2 Overall in Dewatering	11,5	MJ/boende,år	8073	MJ/år
	Fällningskem FeCl3	5,03	kg/boende,år	5,03	kg/boende,år
	kolkälla CH3OH	2,03	kg/boende,år	2,03	kg/boende,år
	Transport ledningar	0,8	MJ/m3	0,8	MJ/m3
	Biogasproduktion	4,46	m3/boende,år	4,46	m3/boende,år

Bilaga 2. Beräkningar för energianvändning för återföring av avloppsprodukter

Beräkningarna baseras på att energiinnehållet i diesel är 43,2 MJ per kg och att densiteten för diesel är 840 kg per m³.

Lastning av fastgödselspridare kräver 3,8 kg diesel per h (Lindgren m fl, 2002), hastigheten att lasta spridaren med traktor och skopa tar 0,6 m³ per min (Tidåker m fl, 2005). Det vill säga 4,56 MJ per m³. Varje spridarlass rymmer 7,5 ton (Lindgren m fl, 2002).

Påfyllning av flytgödselspridare kräver 0,045 dm³ diesel per timma (Sjöberg, 2003), hastigheten för påfyllnaden uppskattas till 3min per 20 m³ (Tidåker, pers, 2006). Densiteten för diesel är 840 kg per m³, vilket innebär 0,0001 MJ per m³. Flytgödselspridaren rymmer 15 m³ (Sjöberg, 2003).

Transport av fastgödselspridare från gård till fält, tur och retur, kräver 6,4 kg diesel per h (Lindgren m fl, 2002), transporthastigheten uppskattas vara i snitt 10 km per h (Sjöberg, 2003). Detta innebär 27,65 MJ per lass och km = 3,69 MJ per m³ och km = 3,69 MJ per ton och km. Här antas avståndet mellan gård och fält vara 1 km (tur och retur).

Transport av flytgödselspridaren från gård till fält med traktor och tankvagn beräknas vara i genomsnitt 12 dm³/h och hastigheten 10 km/h (Sjöberg, 2003). Detta ger 43,6 MJ per lass och km och således 2,91 MJ per m³ och km = 2,91 MJ per ton och km.

Spridningen av fastgödsel kräver 4,4 kg diesel per ha (Lindgren m fl, 2002). Detta ger energianvändningen 190 MJ per ha. För att det praktiskt ska vara möjligt att sprida fastgödsel rekommenderas en giva på minst 5 ton per ha (Malgerud m fl, 2002).

Spridning av flytgödsel kräver 36 kWh per ha (Sjöberg, 2003) = 130 MJ per ha.

Käppala-slam

”Käppala-slam” innefattar alla olika slam som processats i centralt ARV; ”slam från slamavskiljare” (med och utan urinsortering), ”slam från lokalt ARV” och ”slam från centralt ARV”.

Innehållet i ”Käppala-slam”, det slam som antas spridas på åkermark, baseras på analyser av slammet från Käppalaverket.

För att beräkna hur mycket energi som åtgår vid återföring (lastning, transport och spridning) av avloppsprodukterna som processas i centralt ARV omräknas energianvändningen för lastning, transport och spridning till MJ per kg växttillgängligt fosfor. Vid spridning av 20 kg växttillgänglig P per ha blir mängden ”Käppala-slam” 5,3 m³ per ha.

$$\text{Lastning} = 4,56 \text{ MJ/m}^3 / 3,8 \text{ kg P}_{\text{växt}}/\text{m}^3 = 1,2 \text{ MJ/ kg P}_{\text{växt}}$$

$$\text{Transport} = 3,69 \text{ MJ/m}^3, \text{km} / 3,8 \text{ kg P}_{\text{växt}}/\text{m}^3, 1\text{km} = 0,97 \text{ MJ/ kg P}_{\text{växt}}$$

$$\text{Spridning} = 190 \text{ MJ/ha} / 20 \text{ kg P}_{\text{växt}}/\text{ha} = 9,5 \text{ MJ/ kg P}_{\text{växt}}$$

Beräkningar för lastning, transport och spridning av avloppsprodukterna som produceras i de studerade systemen

Urin till åker

$$\text{Lastning} = 0,0001 \text{ MJ/m}^3 * 0,85 \text{ m}^3 = 0 \text{ MJ/boende,år}$$

$$\text{Transport} = 2,91 \text{ MJ/m}^3, \text{km} * 0,85 \text{ m}^3 * 1\text{km} = 2,47 \text{ MJ/boende,år}$$

Spridning = För att sprida 90 kg $N_{\text{växt}}$ /ha och samtidigt även 5,32 kg $P_{\text{växt}}$ /ha behövs 28 m³ urin/ha, vilket innebär 4,64 MJ/m³ = 3,94 MJ/boende,år.

Slamavskiljare alt 1 och 2

Lastning = 1,2 MJ/kg $P_{\text{växt}}$ * 0,02 kg $P_{\text{växt}}$ = 0,024 MJ/boende,år

Transport = 0,97 MJ/kg $P_{\text{växt}}$ * 0,02 kg $P_{\text{växt}}$ = 0,02 MJ/boende,år

Spridning = 9,5 MJ/kg $P_{\text{växt}}$ * 0,02 kg $P_{\text{växt}}$ = 0,19 MJ/boende,år

Slamavskiljare alt 3

Lastning = 1,2 MJ/kg $P_{\text{växt}}$ * 0,01 kg $P_{\text{växt}}$ = 0,012 MJ/boende,år

Transport = 0,97 MJ/kg $P_{\text{växt}}$ * 0,01 kg $P_{\text{växt}}$ = 0,01 MJ/boende,år

Spridning = 9,5 MJ/kg $P_{\text{växt}}$ * 0,01 kg $P_{\text{växt}}$ = 0,095 MJ/boende,år

Slam från Lokalt ARV

Lastning = 1,2 MJ/kg $P_{\text{växt}}$ * 0,26 kg $P_{\text{växt}}$ = 0,31 MJ/boende,år

Transport = 0,97 MJ/kg $P_{\text{växt}}$ * 0,26 kg $P_{\text{växt}}$ = 0,25 MJ/boende,år

Spridning = 9,5 MJ/kg $P_{\text{växt}}$ * 0,26 kg $P_{\text{växt}}$ = 2,47 MJ/boende,år

Filterbäddsmaterial (ej urinsortering)

Lastning = 4,56 MJ/m³ * 1,2 m³/pe,år = 5,47 MJ/boende,år

Transport = 3,69 MJ/ton,km * 0,72 ton * 1 km = 2,66 MJ/boende,år

Spridning = För att sprida 20 kg $P_{\text{växt}}$ /ha krävs 49 m³ filtermaterial/ha. Vilket innebär 190 MJ/ha / 49 m³/ha = 3,9 MJ/m³ = 4,7 MJ/boende,år

Filterbäddsmaterial (med urinsortering)

Lastning = 4,56 MJ/m³ * 0,85 m³/pe,år = 3,88 MJ/boende,år

Transport = 3,69 MJ/ton,km * 0,53 ton * 1 km = 1,96 MJ/boende,år

Spridning = För att sprida 20 kg $P_{\text{växt}}$ /ha krävs 77 m³ filtermaterial/ha. Vilket innebär 190 MJ/ha / 77 m³/ha = 2,47 MJ/m³ = 2,1 MJ/boende,år

RO-koncentrat

Lastning = 0,0001 MJ/m³ * 0,69 m³ = 0 MJ/boende,år

Transport = 2,91 MJ/m³,km * 0,69 m³ * 1 km = 2,0 MJ/boende,år

Spridning = För att sprida 90 kg $N_{\text{växt}}$ /ha och samtidigt även 17,8 kg $P_{\text{växt}}$ /ha behövs 34,2 m³ RO-koncentrat/ha, vilket innebär 3,8 MJ/m³ = 2,62 MJ/boende,år.

Slam från centralt ARV

Lastning = 1,2 MJ/kg $P_{\text{växt}}$ * 0,27 kg $P_{\text{växt}}$ = 0,324 MJ/boende,år

Transport = 0,97 MJ/ kg $P_{\text{växt}}$ * 0,27 kg $P_{\text{växt}}$ = 0,26 MJ/boende,år

Spridning = 9,5 MJ/ kg $P_{\text{växt}}$ * 0,27 kg $P_{\text{växt}}$ = 2,57 MJ/boende,år

Bilaga 3. Beräkningar för Markbäddssystemet

Substansflöde, avloppsvatten per boende och år	Enhet	Från hushåll	Från slam- avskiljare	Från markbädd till recipient	Från mark- bädd till luft	Till jordförbättring
N	kg/boende,år	3,26	2,77	1,39	1,39	0,00
P	kg/boende,år	0,56	0,52	0,26		0,26
BOD7	kg/boende,år	20,40	17,34	1,73		15,61
Cd	mg/boende,år	20,55	15,41	10,79		4,62
Mängd	kg/boende,år	52618				1613

	Enhet	Slamavskij- slam till centralt verk	Slam från centralt verk	Återföring slam	Växttill- gänglig näring	Svårtill- gänglig näring
N	kg/boende,år	0,49	0,49	0,49	0,13	0,36
P	kg/boende,år	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02
BOD7	kg/boende,år	3,06	3,06	3,06		
Cd	mg/boende,år	5,14	5,14	5,14	5,14	
Mängd	kg/boende,år	667	50	50	50	

Drift	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll,år	MJ/ komponent,år	MJ/ boende,år
Pump	El	MJ		2,2	0,7
Slamsugbil	Fossil	MJ	57445,9	455,9	152,0
Ledningstransport från mottagnings- station till centralt verk	El	MJ			Bortses
Spridning slam	Fossil	MJ			0,2
Uppgrävning markbädd	Fossil	MJ		6,1	2,0
Transport markbäddsmaterial	Fossil	MJ		4,1	1,4
Jordtillverkning lastning markbäddsmaterial	Fossil	MJ		10,0	3,3
Jordmaskin markbäddsmaterial	Fossil	MJ		6,8	2,3

Energivinst	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll,år	MJ/ komponent,år	MJ/ boende,år
<i>Minskad handels gödselprod uktion</i>					
N	El	MJ			0,2
	Fossil	MJ			6,4
P	El	MJ			0,2
	Fossil	MJ			0,5

Anläggning	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll	MJ/hushåll	MJ/boende, år
Grävmaskin	Fossil	MJ		91,7	2,0
Vältare/jordpackning	Fossil	MJ		17,5	0,4

Produktion system-komponenter		Enhet	MJ/komponent	MJ/komponent,hus	MJ/boende,år
Rör (från toalett ->markbädd)					
PVC-inne diameter 110	El	MJ	133,6		1,5
	Fossil	MJ	1053,9		11,7
PVC-ute diameter 110	El	MJ	189,2		1,3
	Fossil	MJ	1493,0		10,0
Slamavskiljare					
Betong	El	MJ	190,3		2,1
	Fossil	MJ	1961,6		21,8
Stålfiber	El	MJ	511,2		5,7
	Fossil	MJ	1122,5		12,5
Armering	Fossil	MJ	218,5		2,4
Markbädd					
Macadam	El	MJ	317,8		7,1
	Fossil	MJ	255,1		5,7
Grus och sand	El	MJ	15,7		0,3
	Fossil	MJ	5,9		0,1
Geotextil	El	MJ	0,6		0,0
	Fossil	MJ	0,2		0,0
PVC-rör (i markbädd)	El	MJ	264,9		5,9
	Fossil	MJ	2090,2		46,4
Fördelningsbrunn					
Polyeten	El	MJ	97,4		1,1
	Fossil	MJ	962,6		10,7
Utloppsbrunn					
PVC	El	MJ	178,1		2,0
	Fossil	MJ	1405,2		15,6
Pump					
Stål	El	MJ	147,5		4,9
	Fossil	MJ	323,8		10,8
Plast (PVC)	El	MJ	17,8		0,6
	Fossil	MJ	140,5		4,7

Bilaga 4. Beräkningar för Filterbäddssystemet

Substansflöde, avloppsvatten per boende och år	Enhet	Från hushåll	Från slam- avskiljare	Från filter- bädd till recipient	Från filterbädd till luft	Återföring filtermat	Växttill- gänglig filtermat	Svårtill- gänglig filtermat
N	kg/boende,år	3,26	2,77	1,39	1,39	0,00	0,00	0,00
P	kg/boende,år	0,56	0,52	0,02		0,50	0,30	0,20
BOD7	kg/boende,år	20,40	17,34	1,73		15,61		
Cd	mg/boende,år	20,55	15,41	10,79		4,62	4,62	
Mängd	kg/boende,år	52618				724		

	Enhet	Slamavskil slam till centr verk	Slam från centralt verk	Återföring slam	Växttill- gänglig slam	Svårtill- gänglig slam
N	kg/boende,år	0,49	0,49	0,49	0,13	0,36
P	kg/boende,år	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02
BOD7	kg/boende,år	3,06	3,06	3,06		
Cd	mg/boende,år	5,14	5,14	5,14	5,14	
Mängd	kg/boende,år	667	50	50		

Drift	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll,år	MJ/ komp,år	MJ/ boende,år
Pump	El	MJ		2,2	0,7
Tömning slamavskiljare Ledningstransport från mottagningsstation	Fossil	MJ	57445,9	455,9	152,0
Spridning slam	Fossil				Bortses 0,2
Uppgrävning filterbädd	Fossil	MJ		10,0	3,3
Transport filterbäddsmaterial	Fossil	MJ		97,7	32,6
Spridning filterbäddsmaterial	Fossil				12,8

Energivinst	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll,år	MJ/ komp,år	MJ/ boende,år
Minskad handels- gödselproduktion					
N	El	MJ			0,2
	Fossil	MJ			6,4
P	El	MJ			0,2
	Fossil	MJ			0,5

Anläggning	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll	MJ/hushåll	MJ/ boende,år
Grävmaskin	Fossil	MJ		141,8	3,2
Vältare/jordpack- ning	Fossil	MJ		27,0	0,6

Produktion system-komponenter		Enhet	MJ/ komponent	MJ/ komponent, hushåll	MJ/ boende,år
<i>Rör (från toalett ->filterbädd)</i>					
<i>PVC-inne</i>					
diameter 110	El	MJ	133,6		1,5
	Fossil	MJ	1053,9		11,7
<i>PVC-ute</i>					
diameter 110	El	MJ	189,2		1,3
	Fossil	MJ	1493,0		10,0
<i>Slamavskiljare</i>					
<i>Betong</i>					
	El	MJ	190,3		2,1
	Fossil	MJ	1961,6		21,8
<i>Stålfiber</i>					
	El	MJ	511,2		5,7
	Fossil	MJ	1122,5		12,5
<i>Armering</i>					
	Fossil	MJ	218,5		2,4
<i>Filterbädd</i>					
<i>Geomembran</i>					
	El	MJ	378,7		8,4
	Fossil	MJ	13667,5		303,7
	Värme	MJ	19,6		0,4
<i>Geotextil</i>					
	El	MJ	133,0		3,0
	Fossil	MJ	30,1		0,7
<i>Filtralite (2-4mm)</i>					
	Fossil	MJ	10109,0		224,6
<i>Filtralite P</i>					
	Fossil	MJ	29816,0		662,6
<i>Leca (10-20mm)</i>					
	El	MJ	358,1		8,0
	Fossil	MJ	1319,9		29,3
	Biobränsle	MJ	1593,6		35,4
<i>Grus</i>					
	El	MJ	3,5		0,1
	Fossil	MJ	1,3		0,0
<i>PVC-rör (i filterbädd)</i>					
	El	MJ	82,0		1,8
	Fossil	MJ	647,0		14,4
<i>Infiltrations domer</i>					
	El	MJ	669,6		7,4
	Fossil	MJ	13068,0		145,2
<i>Fördelningsbrunn</i>					
<i>Polyeten</i>					
	El	MJ	97,4		1,1
	Fossil	MJ	962,6		10,7
<i>Utloppsbrunn</i>					
<i>PVC</i>					
	El	MJ	178,1		2,0
	Fossil	MJ	1405,2		15,6
<i>Pump</i>					
<i>Stål</i>					
	El	MJ	147,5		4,9
	Fossil	MJ	323,8		10,8
<i>Plast (PVC)</i>					
	El	MJ	17,8		0,6
	Fossil	MJ	140,5		4,7

Bilaga 5. Beräkningar Urinsortering + filterbädd

Substansflöde, avloppsvatten per boende och år	Enhet	Från hushåll	Återföring urin	Växttill- gänglig urin	Svårtill gänglig urin
N	kg/ boende,år	3,26	2,04	1,97	0,07
P	kg/ boende,år	0,56	0,17	0,16	0,01
BOD7	kg/ boende,år	20,40	1,02		
Cd	mg/boende,år	20,55	0,09	0,09	
Mängd	kg/ boende,år	50318	632		

	Enhet	Från slam- avskiljare	Från filter- bädd till recipient	Från filter-bädd till luft	Återför- ing filter- bädd	Växttill gänglig Filterbädd	Svårtill gänglig Filterbädd
N	kg/ boende,år	1,04	0,52	0,52	0,00		
P	kg/ boende,år	0,36	0,01		0,35	0,21	0,14
BOD7	kg/ boende,år	16,47	1,65		14,83		
Cd	mg/boende,år	15,34	10,74		4,60	4,60	
Mängd	kg/ boende,år				526		

	Enhet	Slamavsk- lam till centr verk	Slam från centralt ARV	Återföring slam	Växttill- gänglig slam	Svårtill- gänglig slam
N	kg/ boende,år	0,18	0,18	0,18	0,05	0,13
P	kg/ boende,år	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01
BOD7	kg/ boende,år	2,91	2,91	2,91		
Cd	mg/boende,år	5,11	5,11	5,11	5,11	
Mängd	kg/ boende,år	667	50	50		

Drift	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll,år	MJ/komp- onent,år	MJ/ boende,år
Pump	El	MJ		2,2	0,7
Tömning slamavskiljare	Fossil	MJ	57445,9	455,9	152,0
Ledningstransport till mottagningsstation					Bortses
Spridning slam	Fossil	MJ			0,1
Tömning urintank	Fossil	MJ	15721,4		124,8
Spridning urin	Fossil	MJ			6,4
Uppgrävning filterbädd	Fossil	MJ		6,6	2,2
Transport filterbädd	Fossil	MJ		71,1	23,7
Spridning filterbäddsmaterial	Fossil	MJ			7,9

Energivinst	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll,år	MJ/komponent,år	MJ/boende,år
Minskad handelsgödselproduktion					
N	El	MJ			3,4
	Fossil				97,0
P	El				3,4
	Fossil				0,3

Anläggning	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll	MJ/hushåll	MJ/boende,år
Grävmaskin	Fossil	MJ		98,4	2,2
Vältare/jordpackning	Fossil	MJ		18,8	0,4

Produktion systemkomponenter		Enhet	MJ/komponent	MJ/komponent, hushåll	MJ/boende,år
<i>Rör (från toalett-> filterbädd)</i>					
<i>PVC-inne</i>					
diameter 110	El	MJ	133,6		1,5
	Fossil	MJ	1053,9		11,7
<i>PVC-ute diameter 110</i>					
	El	MJ	189,2		1,3
	Fossil	MJ	1493,0		10,0
<i>Slamavskiljare</i>					
<i>Betong</i>					
	El	MJ	190,3		2,1
	Fossil	MJ	1961,6		21,8
<i>Stålfiber</i>					
	El	MJ	511,2		5,7
	Fossil	MJ	1122,5		12,5
<i>Armering</i>					
	Fossil	MJ	218,5		2,4
<i>Filterbädd</i>					
<i>Geomembran</i>					
	El	MJ	265,1		5,9
	Fossil	MJ	9567,3		212,6
	Värme	MJ	13,7		0,3
<i>Geotextil</i>					
	El	MJ	93,1		2,1
	Fossil	MJ	21,1		0,5
<i>Filtralite (2-4mm)</i>					
	Fossil	MJ	9373,8		208,3
<i>Filtralite P</i>					
	Fossil	MJ	18784,1		417,4
<i>Leca (10-20mm)</i>					
	El	MJ	235,3		5,2
	Fossil	MJ	867,3		19,3
	Biobränsle	MJ	1047,2		23,3
<i>Grus</i>					
	El	MJ	3,2		0,1
	Fossil	MJ	1,2		0,0
<i>PVC-rör (i filterbädd)</i>					
	El	MJ	58,0		1,3
	Fossil	MJ	457,9		10,2
<i>Infiltrations domer</i>					
	El	MJ	669,6		7,4
	Fossil	MJ	13068,0		145,2
<i>Fördelningsbrunn</i>					
<i>Polyeten</i>					
	El	MJ	97,4		1,1
	Fossil	MJ	962,6		10,7

<i>Utløpsbrunn</i>				
PVC	El	MJ	178,1	2,0
	Fossil	MJ	1405,2	15,6
<i>Pump</i>				
Stål	El	MJ	147,5	4,9
	Fossil	MJ	323,8	10,8
Plast (PVC)	El	MJ	17,8	0,6
	Fossil	MJ	140,5	4,7
<i>Rør från toalett till urintank</i>				
PVC-ute diameter 110	El	MJ	189,2	1,3
	Fossil	MJ	1493,0	10,0
<i>Urintank</i>				
Betong	El	MJ	72,9	0,8
	Fossil	MJ	750,9	8,3
Armering	Fossil	MJ	422,5	4,7
<i>Urinbrunn för lagring (500 pe)</i>				
Betong	El	MJ	8243,0	91,6
	Fossil	MJ	84954,2	7,5
Armering	Fossil	MJ	47801,6	4,2

Bilaga 6. Beräkningar för Lokalt ARV

Substansflöde, avloppsvatten per boende och år	Enhet	Från hushåll	Slam från lokalt ARV	Avgång till luft	Från lokalt ARV till recipient
N	kg/ boende,år	3,26	1,30	0,60	1,96
P	kg/ boende,år	0,56	0,52		0,04
BOD7	kg/ boende,år	20,40	19,38	12,98	1,02
Cd	mg/ boende,år	20,55	18,70		1,85
Mängd	kg/ boende,år	52618	500		

	Enhet	Slamavskilj- slam till centralt verk	Återföring slam	Växttillgänglig slam	Svårtillgänglig slam
N	kg/ boende,år	0,70	0,70	0,19	0,51
P	kg/ boende,år	0,52	0,52	0,26	0,26
BOD7	kg/ boende,år	6,40	6,40		
Cd	mg/ boende,år	18,70	18,70	18,70	
Mängd	kg/ boende,år	75	75		

Drift	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll,år	MJ/ komponent,år	MJ/ boende,år
Pumpstation	El	MJ			3,6
Drift luftning lokalt ARV	El	MJ			576,0
Kemikalietillverkning	El	MJ			17,4
	Fossil	MJ			9,9
Transport till mottagningsstation	Fossil	MJ			1,6
Ledningstransp. från mottagningsstation till centralt verk	El	MJ			Bortses
Drift centralt ARV (biogas, förtjockning, avvattning)	El	MJ			36,3
Förädling fordonsgas	El				8,5
Transport slam från centralt verk till jordbruk	Fossil	MJ			3,4
Spridning slam	Fossil	MJ			3,0

Energivinst

Minskad handelsgödsel- produktion					
N	El	MJ			0,3
	Fossil	MJ			9,2
P	El	MJ			2,3
	Fossil	MJ			6,0

Anläggning	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll	MJ/hushåll	MJ/boende,år
Grävmaskin	Fossil	MJ	194,6	1,5	0,0
Vältare/jordpackning	Fossil	MJ	37,1	0,3	0,0
Ledningsdragnig	El	MJ	384,0	3,0	0,0
	Fossil	MJ	23424,0	185,9	2,1

Produktion systemkomponenter		Enhet	MJ/ komponent	MJ/komp, hushåll	MJ/boende,år
<i>Rör (från toalett-> tomtgräns)</i>					
PVC-inne diameter 110	El	MJ	133,6		1,5
	Fossil	MJ	1053,9		11,7
PVC-ute diameter 110	El	MJ	189,2		1,3
	Fossil	MJ	1493,0		10,0
<i>Rör (från hus-> lokaltARV)</i>					
PVC-ute diameter 160	El	MJ	124656,0	989,3	6,6
	Fossil	MJ	983640,0	7806,7	52,0
<i>Pumpstationer</i>					
Armerad betong, byggnad	El	MJ	1764,9	14,0	0,2
	Fossil	MJ	18189,0	144,4	1,6
Rostfritt stål, pump	El	MJ	921,6	7,3	0,2
	Fossil	MJ	2023,8	16,1	0,4
<i>Lokalt ARV-verk</i>					
Armerad betong, mottagningsstank	El	MJ	1553,1	12,3	0,1
	Fossil	MJ	16006,3	127,0	1,4
Armerad betong, behandlingstank	El	MJ	3106,1	24,7	0,3
	Fossil	MJ	32012,6	254,1	2,8
Slamtank, armerad betong	El	MJ	923,0	7,3	0,1
	Fossil	MJ	9512,8	75,5	0,8
Pumpar, gjutjärn	El	MJ	210,0	1,7	0,0
	Fossil	MJ	2240,4	17,8	0,4
Luftare, polypropylen	El	MJ	822,0	6,5	0,1
	Fossil	MJ	8781,6	69,7	1,5
Ventil, Polyeten	El	MJ	78,9	0,6	0,0
	Fossil	MJ	779,4	6,2	0,1
Ledning, HDPE	El	MJ	1273,8	10,1	0,1
	Fossil	MJ	16541,8	131,3	1,5
<i>Byggnad</i>					
Betong, hus	El	MJ	2102,8	16,7	0,2
	Fossil	MJ	21672,0	172,0	1,9
Stål, tak	El	MJ	41932,8	332,8	3,7
	Fossil	MJ	92082,9	730,8	8,1

Bilaga 7. Beräkningar Aerob membranbioreaktor + omvänd osmos

Substansflöde, avloppsvatten per boende och år	Enhet	Från hushåll	Från trumfilter till MBR	Slam från Trumfilter	Från MBR till RO	Slam från aerob MBR
N	kg/boende,år	3,26	3,24	0,02	2,72	0,52
P	kg/boende,år	0,56	0,45	0,11	0,36	0,09
BOD7	kg/boende,år	20,40	10,20	10,20	0,00	10,20
Cd	mg/boende,år	20,55	13,36	7,19	2,14	11,22
Mängd	kg/boende,år	52618	52002	616	51066	936

	Enhet	Till luft från MBRmm	Till slam- förtjockare	Slam till centralt ARV	Växttillgängligt "hightechslam"	Svårtillgäng "high- techslam"
N	kg/boende,år	0,24		0,30	0,08	0,22
P	kg/boende,år			0,20	0,10	0,10
BOD7	kg/boende,år	6,83		13,57		
Cd	mg/boende,år			18,41	18,41	
Mängd	kg/boende,år		1552	621		

	Enhet	Från MBR till RO	Från RO till recipient	Koncentrat från RO	Växttillgänglig RO-koncentrat	Svårtillgäng RO- koncentrat
N	kg/boende,år	2,72	0,05	2,67	1,47	1,20
P	kg/boende,år	0,36	0,00	0,36	0,36	0,00
BOD7	kg/boende,år	0,00	0,00	0,00		
Cd	mg/boende,år	2,14	0,04	2,09	2,09	
Mängd	kg/boende,år	51066	50556	511		

Drift	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll,år	MJ/ komponent,år	MJ/boende,år
Pumpstation	El	MJ			3,6
Drift trumfilter	El	MJ			4,8
Drift aerob-MBR	El	MJ			295,0
Drift RO	El	MJ			657,6
Transport slam mottagningsstation	Fossil	MJ			12,8
Ledningstransport från mottagningsstation till centralt verk					Bortses
Drift Centralt ARV (biogas, förtjockn, avvattning)	El	MJ			36,3
Förädling fordonsgas	El	MJ			8,5
Transport slam från centralt verk till jordbruk	Fossil	MJ			27,9
Spridning slam	Fossil	MJ			1,8

Transport koncentrat från området till jordbruk	Fossil	MJ	23,0
Spridning koncentrat	Fossil	MJ	4,6

Energivinst			MJ/boende,år
Minskad handelsgödselproduktion			
N	El	MJ	2,6
	Fossil	MJ	74,4
P	El	MJ	4,0
	Fossil	MJ	10,6

Anläggning	Energi	Enhet	MJ/alla		
			hushåll	MJ/hushåll	MJ/boende,år
Grävmaskin	Fossil	MJ	194,6	1,5	0,0
Vältare/jordpackning	Fossil	MJ	37,1	0,3	0,0
Ledningsdragnings	El	MJ	384,0	3,0	0,0
	Fossil	MJ	23424,0	185,9	1,2

Produktion systemkomponenter		Enhet	MJ/komponent	MJ/komponent, hushåll	MJ/boende,år
<i>Rör (från toalett-> tomtgräns)</i>					
PVC-inne diameter					
110	El	MJ	133,6		1,5
	Fossil	MJ	1053,9		11,7
PVC-ute diameter					
110	El	MJ	189,2		1,3
	Fossil	MJ	1493,0		10,0
<i>Rör (inom området)</i>					
PVC-rör diameter					
160	El	MJ	124656,0	989,3	6,6
	Fossil	MJ	983640,0	7806,7	52,0
<i>Trumfilter</i>					
Rostfritt stål					
	El	MJ	1920,0		0,2
	Fossil	MJ	4216,3		0,4
PE					
	El	MJ	197,3		0,1
	Fossil	MJ	1948,5		0,5
Pump (Gjutjärn)					
	El	MJ	26,3		0,0
	Fossil	MJ	280,1		0,0
<i>Aerob MBR</i>					
Bassäng (Betong)					
	El	MJ	1727,3		0,2
	Fossil	MJ	17802,0		1,6
Membran (ABS el PE-plast)					
	El	MJ	11046,0		7,3
	Fossil	MJ	109116,0		72,2
Rostfritt stål					
	El	MJ	10752,0		7,1
	Fossil	MJ	23611,0		15,6

PVC-plast	El	MJ	742,0	0,5
	Fossil	MJ	5855,0	3,9
<i>RO-reaktor</i>				
Membran (ABS el PE-plast)	El	MJ	520,7	0,3
	Fossil	MJ	5144,0	3,4
Pump (Rostfritt stål)	El	MJ	1459,2	0,3
	Fossil	MJ	3204,4	0,6
<i>Lagrings tankar</i>				
Betong	El	MJ	16486,0	1,5
	Fossil	MJ	169908,5	15,0
Armering	Fossil	MJ	95603,2	8,4
<i>Byggnad</i>				
Betong	El	MJ	2102,8	0,2
	Fossil	MJ	21672,0	1,9
Stål	El	MJ	41932,8	3,7
	Fossil	MJ	92082,9	8,1

Bilaga 8. Beräkningar Centralt ARV

Substansflöde, avloppsvatten per boende och år	Enhet	Från hushåll	Slam från centralt ARV	Avgång till luft	Från centralt ARV till recipient
N	kg/boende,år	3,26	2,51	2,28	0,75
P	kg/boende,år	0,56	0,54		0,02
BOD7	kg/boende,år	20,40	20,24	20,07	0,16
Cd	mg/boende,år	20,55	18,49		2,05
Mängd	kg/boende,år	52618			

	Enhet	Återföring slam	Växttillgänglig slam	Svårtillgänglig slam
N	kg/boende,år	0,23	0,06	0,16
P	kg/boende,år	0,54	0,27	0,27
BOD7	kg/boende,år	0,16	0,16	
Cd	mg/boende,år	18,49	18,49	
Mängd	kg/boende,år			

Drift	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll,år	MJ/ komponent,år	MJ/boende,år
Pumpstation, området	El	MJ			3,6
Pumpstation, mellan området och ARV	El	MJ			48,0
Drift centralt ARV	El	MJ			333,0
Kemikalietillverkning	El	MJ			8,5
	Fossil	MJ			4,9
Förädling fordonsgas	El	MJ			10,7
Spridning slam	Fossil	MJ			0,8

Energivinst	Energi	Enhet	MJ/alla hushåll,år	MJ/ komponent,år	MJ/boende,år
Minskad handelsgödselproduktion					
N	El	MJ			0,1
	Fossil	MJ			2,9
P	El	MJ			2,4
	Fossil	MJ			6,3

Anläggning	Energi	Enhet	MJ/ alla hushåll	MJ/hushåll	MJ/boende,år
Grävmaskin	Fossil	MJ			Bortses
Vältare/jordpackning	Fossil	MJ			Bortses
Ledningsdragnig, lokalt	El	MJ		384,0	0,0
	Fossil	MJ		23424,0	1,2
Ledningsdragnig kommunalt	El	MJ		30000,0	0,0
	Fossil	MJ		1659000,0	0,5

Produktion systemkomponenter		Enhet	MJ/ komponent	MJ/komp, hushåll	MJ/boende,år
<i>Rör (från toalett-> tomtgräns)</i>					
PVC-inne diameter 110	El	MJ		133,6	1,5
	Fossil	MJ		1053,9	11,7
PVC-ute diameter 110	El	MJ		189,2	1,3
	Fossil	MJ		1493,0	10,0
<i>Rör (inom området)</i>					
HDPE diameter 160	El	MJ	124656,0		6,6
	Fossil	MJ	983640,0		52,0
<i>Rör (huvudledning i kommunen)</i>					
HDPE diameter 300	El	MJ	19975500,0		6,1
	Fossil	MJ	259405500,0		79,8
<i>Verket</i>					
Betong	El	MJ	7525320,4		4,6
	Fossil	MJ	77557896,0		47,0
Armeringsjärn	Fossil	MJ	83226000,0		50,4
PVC	El	MJ	114268,0		0,1
	Fossil	MJ	901670,0		0,5
PE	El	MJ	201984,0		0,1
	Fossil	MJ	1995264,0		1,2
Glasfiber	El	MJ	40300,0		0,0
	Fossil	MJ	786500,0		0,5
<i>Maskinell utrustning</i>					
Gjutjärn	El	MJ	833000,0		1,0
	Fossil	MJ	8886920,0		10,8
Rostfritt stål	El	MJ	1320960,0		1,6
	Fossil	MJ	2900780,0		3,5

Bilaga 9. Beräkningar Befintliga avloppslösningar

Substansflöden urin och fekalier från hushållen i området	Enhet	Producerad urin och fekalier (per boende och år)	Urin och fekalier från samtliga hushåll	Till recipient från "Övrig toalösning"	Till recipient från "Godkänd sluten tank"
N	kg/område,år	3	908	154	0
P	kg/område,år	0	103	18	0
BOD7	kg/område,år	8	2826	480	0
Cd	mg/område,år	2	774	132	0

	Enhet	Till recipient från "Ej godkänd sluten tank"	Till recipient från "Godkänd slamavsk & markbädd"	Till recipient från "Slamavsk el markbädd utan tillstånd"	Till recipient från "Under- målig slam- avskilj el MB"
N	kg/område,år	136	149	0	60
P	kg/område,år	15	18	0	7
BOD7	kg/område,år	424	92	0	187
Cd	mg/område,år	116	156	0	48

Substansflöden BDT från hushållen i området	Enhet	Producerad BDT (per boende,år)	BDT från samtliga hushåll	Till recipient från "Godkänd anläggning"
N	kg/boende,år	1	212	40
P	kg/boende,år	0	95	20
BOD7	kg/boende,år	12	4536	174
Cd	mg/boende,år	18	6899	1630

	Enhet	Till recipient från "Slamavsk & markbädd utan tillstånd"	Till recipient från "Undermålig slamavskiljare/MB"	Till Recipient från "Stenkista"
N	kg/boende,år	0	37	76
P	kg/boende,år	0	17	34
BOD7	kg/boende,år	0	797	1633
Cd	mg/boende,år	0	1147	2483

Bilaga 10. Sammanställning av beräkningarna för avloppssystemen

		Enhet	Befintliga avlopp	Mark-bädd	Filter-bädd	Urinsort +filter-bädd	Lokalt ARV	Aerob MBR+ omvänd osmos	Centralt ARV
Utsläpp recipient	N	kg/ boende,år	1,89	1,39	1,39	0,52	1,96	0,05	0,75
	P	kg/ boende,år	0,36	0,26	0,02	0,01	0,04	0,00	0,02
	BOD7	kg/ boende,år	10,41	1,73	1,73	1,65	1,02	0,00	0,16
	Cd	mg/ boende,år	15,26	10,79	10,79	10,74	1,85	0,04	2,05
Till luft	N	kg/ boende,år		1,39	1,39	0,52	0,60	0,24	2,28
	BOD7	kg/ boende,år					12,98	6,83	20,07
Växttillgänglig näring samt kadmium till åker	N	Slam	kg/ boende,år	0,13	0,13	0,05	0,19	0,08	0,06
	N	Filtermat			0,00	0,00			
	N	Urin				1,97			
	N	RO-konc						1,47	
	N	Summa N		0,13	0,13	2,02	0,19	1,55	0,06
	P	Slam	kg/ boende,år	0,02	0,02	0,01	0,26	0,10	0,27
	P	Filtermat			0,30	0,21			
	P	Urin				0,16			
	P	RO-konc						0,36	
	P	Summa P		0,02	0,32	0,38	0,26	0,46	0,27
	Cd	Slam	mg/ boende,år	5,14	5,14	5,11	18,70	18,41	18,49
	Cd	Filtermat.			4,62	4,60			
	Cd	Urin				0,09			
	Cd	RO-konc						2,09	
Svårtillgänglig näring till åker	N	kg/ boende,år	0,36	0,36	0,20	0,51	1,42	0,16	
	P	kg/ boende,år	0,02	0,22	0,16	0,26	0,10	0,27	
Till jordförbättr	N	kg/ boende,år	0,00						
	P	kg/ boende,år	0,26						
	BOD7	kg/ boende,år	15,61						
	Cd	mg/ boende,år	4,62						

		Enhet	Befintliga avlopp	Mark- bädd	Filter- bädd	Urinsort +filter- bädd	Lokalt ARV	Aerob MBR+ omvänd osmos	Centralt ARV
Dricks- vatten- använd- ning	Lokalt	dm ³ / boende,år		52618	52618	0318	52618	52618	
	Mälare n	dm ³ / boende,år		0	0				52618
Energi tillverkn av komp. samt anläggning	El	MJ/ boende,år		32,4	47,8	2,6	15,7	30,6	22,9
	Fossil	MJ/ boende,år		154,8	1484,4	1191,5	96,4	206,5	269,2
	Bio- energi	MJ/ boende,år			35,4	23,3			
Energi för drift	El	MJ/ boende,år		0,7	0,7	0,7	641,8	1005,8	403,8
	Fossil	MJ/ boende,år		161,2	200,9	317,1	17,9	70,1	5,7
"Energi- vinst" Ersättn handels- gödsel	El	MJ/ boende,år		-0,4	-0,4	-6,8	-2,6	-6,6	-2,5
	Fossil	MJ/ boende,år		-6,8	-6,8	-97,3	-15,2	-85,0	-9,2
Potentiell "energi- vinst" Biogas- prod	Fossil	MJ/ boende,år		0,0	0,0	0,0	-144,0	-144,0	-180,0

Bilaga 11. Beräkningar känslighetsanalys

Dubblerat avstånd inom området (från 4,8 km till 10 km)

		Enhet	Befintliga avlopp	Mark- bädd	Filter- bädd	Urinsort+ filter- bädd	Lokalt ARV	Aerob MBR+ omvänd osmos	Centralt ARV
Energi för tillverkning av komponenter samt anläggning	El	MJ/ boende,år		32,4	47,8	2,6	22,9	37,8	30,1
	Fossil	MJ/ boende,år		154,8	1484,4	1191,5	155,0	264,3	327,0
	Bio- energi	MJ/ boende,år			35,4	23,3			
Energi för drift	El	MJ/ boende,år		0,7	0,7	0,7	641,8	1005,8	403,8
	Fossil	MJ/ boende,år		189,6	229,4	357,4	17,9	70,1	5,7

Dubblerat avstånd mellan området till jordbruk (från 50 km till 100 km)

		Enhet	Befintliga avlopp	Mark- bädd	Filter- bädd	Urinsort+ filter- bädd	Lokalt ARV	Aerob MBR+ omvänd osmos	Centralt ARV
Energi för tillverkning av komponenter samt anläggning	El	MJ/ boende,år		32,4	47,8	2,6	15,7	30,6	22,9
	Fossil	MJ/ boende,år		154,8	1484,4	1191,5	96,4	206,5	269,2
	Bio- energi	MJ/ boende,år			35,4	23,3			
Energi för drift	El	MJ/ boende,år		0,7	0,7	0,7	641,8	1005,8	403,8
	Fossil	MJ/ boende,år		161,2	233,5	454,6	17,9	93,1	5,7

TIDIGARE PUBLIKATIONER

Examensarbeten

- 2007:01 Giers, H. Kvalitetssäkring av hushållsnära avloppsfraktioner. Vad kräver livsmedelsbranschen?
- 2006:01 Bengtsson, L. & Paradis, H. Miljöeffekter av alternativa system för behandling av hushållsavfall i Santiago, Chile – en jämförelse mellan deponering och förbränning med energiutvinning.
- 2005:01 Hårsmar, D. Bättre enskilda avlopp i Sigtuna kommun – möjligheter för bebyggelse i Odensala socken.
- 2005:02 Svensson, M. Desalination and the environment: Options and considerations for brine disposal in inland and coastal locations.
- 2005:03 Jakobsson, D. Retention av tungmetaller i en anlagd våtmark: studier av Vattenparken i Enköpings kommun.
- 2005:04 Leonardsson, J. & Östensson, E. Inverkan av torrsbstanshalt och temperatur på kompostens syrabildning.
- 2005:05 Ulff, D. Miljöpåverkansbedömning vid tillverkning av etanol från cellulosa-baserade råvaror: ekologisk gård självförsörjande med drivmedel.
- 2004:01 Ericsson, N. Uthållig sanitet i Peru – En förstudie i staden Picota.
- 2004:02 Ekvall, C. LCA av dricksvattendesinfektion – en jämförelse av klor och UV-ljus.
- 2004:03 Wertsberg, K. Behandling av lakvatten med kemiska oxidationsmedel för att delvis bryta ned oönskade organiska föreningar – En studie utförd vid Hovgårdens avfallsanläggning i Uppsala.
- 2004:04 Degaart, S. Humanurin till åkermark och grönytor: avsättning och organisation i Göteborgsområdet.
- 2004:05 Westlin, H. Utvärdering av ett silotorksystem för spannmål utrustat med omrörare.

Rapport – miljö, teknik och lantbruk

- 2007:01 Lindgren, M. A methodology for estimating annual fuel consumption and emissions from non-road mobile machinery – Annual emissions from the non-road mobile machinery sector in Sweden for year 2006.
- 2007:02 Lindgren, M., Hansson, P-A. & Wetterberg, C. Arbetsmaskiners bidrag till luftföroreningar i tätorter.
- 2007:03 Wetterberg, C., Magnusson, R., Lindgren, M. & Åström, S. Utsläpp från större dieseldrivna arbetsmaskiner – Inventering, kunskapsuppbyggnad och studier om åtgärder och styrmedel.
- 2006:01 Kjellin, J. Low-velocity flows in constructed wetlands: Physico-mathematical model and computer codes in Matlab environment.

- 2006:02 Ottosson, J., Nordin, A. & Vinnerås, B. Hygienisering av gödsel med urea och ammoniak.
- 2005:01 Jönsson, H., Vinnerås, B. & Ericsson, N. Källsorterande toaletter. Brukarnas erfarenheter, problem och lösningar.
- 2005:02 Gebresenbet, G. Effect of transporttime on cattle welfare and meat quality.
- 2005:03 de Toro, A. & Rosenqvist, H. Maskinsamverkan – tre fallstudier.
- 2005:04 Vinnerås, B. Hygienisering av klosettvattnen för säker växtnäringåterförsel till livsmedelsproduktionen.
- 2005:05 Tidåker, P. Wastewater management integrated with farming. An environmental systems analysis of the model city Surahammar.
- 2005:06 Sundberg, C. Increased aeration for improved large-scale composting of low-pH biowaste.
- 2005:07 Bernesson, S. Halm som energikälla.
- 2004:01 Bernesson, S. Life cycle assessment of rapeseed oil, rape methyl ester and ethanol as fuels – A comparison between large- and smallscale production.
- 2004:02 Elmquist, H. Decision-Making and Environmental Impacts.

Rapport – biometri

- 2004:01 Gustafsson, L. Tools for Statistical Handling of Poisson Simulation: Documentation of StocRes and ParmEst

Licentiatavhandling

- 03 Forkman, J. 2005. Coefficients of variation: an approximate F-test.
- 04 Lindholm, E-L. 2006. Energy use in Swedish forestry and its environmental impact.

Kompendium

- 2006:01 Lövgren, M. Publicering 2001-2005.
- 2005:01 Lövgren, M. Publicering 2000-2004.

Denna meddelandeserie som utges av Institutionen för biometri och teknik, SLU, innehåller, examensarbeten samt övriga uppsatser som anses lämpliga att publicera i denna form. Tidigare nummer redovisas på de sista sidorna och kan i mån av tillgång anskaffas från institutionen.

This series is published by the Department of Biometry and Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. It contains master thesis as well as other reports or papers considered suitable for publication in this form. Earlier issues are listed on the last pages and can be obtained - if still available - upon application to the department.

DISTRIBUTION:

SLU

Institutionen för biometri och teknik

Box 7032

750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 10 00

pdf.fil: www.bt.slu.se

SLU

Department of Biometry and Engineering

Box 7032

S-750 07 UPPSALA

SWEDEN

Phone +46 18 671000
