

Halter av 60 spår- element relaterat till fosfor i klosettvatten – huvudstudie

Sven-Erik Svensson

Jan Erik Mattsson

Jan-Eric Englund

Christina Johansson



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Rönnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Agneta Granberg (m), Ordförande	Göteborg
Daniel Hellström, Utvecklingsledare	Svenskt Vatten
Henrik Aspegren	VA SYD
Per Ericsson	Norrvatten
Tove Göthner	Sveriges Kommuner och Landsting
Per Johansson (s)	Gävle kommun
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Annika Malm	Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
Lisa Osterman	Örebro kommun
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Carl-Olof Zetterman	SYVAB

Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan återopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Halter av 60 spårelement relaterat till fosfor i klosettatten – huvudstudie
Title of the report:	Concentrations of 60 Trace Elements in relation to Phosphorus in Blackwater – Main Study
Författare:	Sven-Erik Svensson, Jan Erik Mattsson, Jan-Eric Englund, Institutionen för biosystem och teknologi, SLU Alnarp; Christina Johansson, Christina Johansson Utredningar & Dokumentation
Rapportnummer:	2015-10
Antal sidor:	50
Sammandrag:	Sju klosettattenprov samt tre prov på trekammarbrunnsslam från Lund analyserades för att beskriva sammansättning och halter av spårelement i relation till fosfor. Resultaten diskuteras i relation till föreslagna gränsvärden för avloppsfraktioner, provens ursprung, provtagning och jämförelsebas.
Abstract:	Seven blackwater samples and three three-chamber septic tank sludge samples from Lund were analysed for composition and concentrations of trace elements in relation to phosphorus. The results are discussed in relation to proposed limits for waste water fractions, sample origin, sampling method and a comparative basis.
Sökord:	Klosettatten, spårelement, klosettattenkvalitet, fosfor, växtnäring, avloppsslam, trekammarbrunnsslam
Keywords:	Blackwater, trace element, blackwater quality, phosphorus, plant nutrients, sewage sludge, three-chamber septic tank sludge
Målgrupper:	REVAQ, forskare och myndigheter inom avlopps- och miljöområdet
Omslagsbild:	Slamsugningsbil vid Källby reningsverk, Lund. Foto: Jan Erik Mattsson, SLU Alnarp
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2015
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	12-126
Projektets namn:	Halter av 60 spårelement i klosettatten för fastställande av klosettattenkvalitet – huvudstudie
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, REVAQ, Lunds Renhållningsverk, VA SYD

Förord

Kunskap om kvaliteten hos källsorterat klosettvattnen är grundläggande för att kunna ställa långsiktiga mål och krav på kvalitet hos avloppsslam för användning som gödselmedel på åkermark. I dagsläget saknas en fullödig kunskap om klosettvattnens kvalitet, eftersom dagens kvalitetsbegrepp endast baseras på ett fåtal av de 60 spårelement som är aktuella.

Klosettvattnens kvalitet är ett vedertaget begrepp inom certifieringssystemet REVAQ för avloppsslam vid Svenskt Vatten. Det långsiktiga målet för kvaliteten på avloppsslam är att det ska motsvara kvaliteten hos klosettvattnen. Styrgruppen för REVAQ har fastlagt att *”med klosettvattnens kvalitet avses kvaliteten på det källsorterade toalettvattnen som samlas upp i en sluten avloppstank, till vilken enbart en eller ett fåtal toaletter är anslutna”*.

Forskargruppen vid SLU har tidigare undersökt klosettvattnens kvalitet vad gäller de reglerade metallerna i avloppsslam: bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink. I viss utsträckning har även silver, tenn, växtnäring och organiska ämnen undersökts. Resultaten visar att klosettvattnen har en relativt bra kvalitet ur växtnärings- och föroreningsynpunkt och kan jämföras med nötflytgödsel. Dock saknas analyser över flertalet spårelement för att kunna fastställa vad som är klosettvattnens kvalitet i ett vidare perspektiv.

I denna huvudstudie analyseras klosettvattnens kvaliteten hos sju prov från Lunds kommun med syfte att noggrannare fastställa kvaliteten med avseende på spårelement i relation till växtnäring (fosfor). Målet är att beskriva vad som är ”klosettvattnens kvalitet” baserat på fler prov än endast det som analyserats i förstudien.

Huvudstudien har finansierats av Svenskt Vatten Utveckling (SVU projekt nr 12-126), REVAQ, Lunds Renhållningsverk samt VA SYD och genomförts vid SLU Alnarp av Christina Johansson, Christina Johansson Utredningar & Dokumentation, Jan Erik Mattsson, Jan-Eric Englund och Sven-Erik Svensson, Institutionen för biosystem och teknologi.

Vi vill speciellt tacka professor Håkan Jönsson, SLU Uppsala, för värdefulla synpunkter vid rapportens färdigställande.

Vår förhoppning är att resultatet från denna studie kan öka kunskapen om klosettvattnens kvalitet och vara till nytta vid certifiering av avloppsslam inom REVAQ samt för forskare, myndigheter etc. inom avlopps- och miljöområdet.

Alnarp, mars 2015

Sven-Erik Svensson
Projektledare
Inst. för biosystem och teknologi
SLU Alnarp

Linda Tufvesson
Prefekt
Inst. för biosystem och teknologi
SLU Alnarp

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
Exekutiv sammanfattning	8
1 Inledning	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Syfte och mål	15
2 Genomförande	17
2.1 Prov och provtagningsmetod.....	17
2.2 Analyser och metoder	19
2.3 Utvärdering.....	20
3 Resultat och diskussion	23
3.1 Klosettattenkvalitet – analysresultat	23
3.2 LOD och LOQ.....	23
3.3 Klosettattenkvalitet – för nio metaller.....	24
3.4 Jämförelse mellan klosettattenprov från olika ursprung	26
3.5 Skillnader inom en leverans – manuell provtagning från slamsugningsbil	26
3.6 Skillnader mellan de olika avloppsfraktionerna klosettatten, avloppsslam och trekammarbrunnsslam.....	28
3.7 Jämförelsebas, fosfor eller något annat ämne?.....	29
4 Sammanfattande diskussion	32
5 Slutsatser	36
Referenser	37
Bilagor	39
Bilaga 1. 60 spårelement enligt REVAQ:s certifiering.....	39
Bilaga 2. Kvalitet på klosettatten.....	41

Sammanfattning

Det långsiktiga målet inom certifieringssystemet Revaq är att avloppsslamets kvalitet ska motsvara kvaliteten på klosettatten. Klosettattenkvalitet definieras inom Revaq som ”kvaliteten på det källsorterade toalettatten som samlas upp i en sluten avloppstank, till vilken enbart en eller ett fåtal toaletter är anslutna”. Syftet med projektet var att ta reda på mer om kvaliteten hos källsorterat klosettatten. I dag baseras begreppet klosettattenkvalitet på bara ett fåtal av de 60 spårelement som är aktuella. Resultatet från studien kan vara till nytta vid certifiering av avloppsslam inom Revaq samt för forskare och myndigheter inom avlopps- och miljöområdet.

En forskargrupp på SLU i Alnarp har tidigare undersökt klosettatten när det gäller de reglerade metallerna i avloppsslam: bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink. Resultaten visar att klosettatten har relativt bra kvalitet ur växtnärings- och föroreningsynpunkt och kan jämföras med nötflytgödsel. Nu har de i samarbete med Revaq, Lunds Renhållningsverk och VA Syd genomfört en studie som noggrannare beskriver halter av spårelement i förhållande till fosfor i klosettatten. Studien beskriver också skillnader mellan olika avloppsfraktioner som klosettatten, avloppsslam och trekammarbrunnsslam. I studien ingår sju klosettattenprov, där fyra kommer från enskilda avlopp vid permanentbostäder på landsbygden i Lunds kommun och tre från kolonistugeområden i Lund.

Resultat från studien visar att förhållandet mellan halterna av tungmetaller och fosfor (mg per kg fosfor) med god marginal ligger under de gränsvärden för avloppsfraktioner som Naturvårdsverket föreslog i rapporten *Hållbar återföring av fosfor* (2013). Resultaten från den här begränsade studien indikerar att föreslagna gränsvärden ligger högt för alla ämnen utom för zink. Utifrån den här studien innebär det att de föreslagna gränsvärdena borde kunna sänkas rejält för bly, koppar och krom samt reduceras något för kvicksilver, nickel och silver.

Klosettattenkvalitet kan också beskrivas som mängden tillförda spårelement till åkermark med klosettattent vid tillförsel av 22 kg fosfor per hektar. Mängden spårelement uttrycks då i gram per hektar. Med de gränsvärden som föreslås gälla från 2015 klarar klosettattenproven i studien gränsvärdena med god marginal när man använder ett värde som 75 procent av provena ligger under. Enskilda observationer på kadmium och zink riskerar dock att hamna över gränsvärdet. När klosettattenproven jämförs med föreslagna skärpta gränsvärden från år 2023 respektive 2030 visar det sig att från år 2030 är sannolikheten stor att enskilda klosettattenprov kommer att hamna ovanför föreslaget gränsvärde för kadmium, och att flera andra metaller hamnar nära sina gränsvärden. Det är speciellt allvarligt att kadmium riskerar att hamna över gränsvärdet med tanke på att analyserna baseras på källsorterat klosettatten.

Summary

This study aimed to describe in detail the composition and concentrations of trace elements in relation to phosphorus in blackwater; to identify possible quality differences in blackwater depending on origin and sampling method; and to examine differences between various waste water fractions such as blackwater, sewage sludge and three-chamber septic tank sludge.

By collecting blackwater separately from greywater, most plant nutrients in household wastewater can be captured and recycled to agricultural soil, with a minimum of pollutants. Previous studies have shown that blackwater is of high quality from a nutrient and pollutant perspective, and in some respects is comparable in quality terms to liquid cattle manure.

Knowledge on the quality of source-separated blackwater is critical when establishing long-term objectives and requirements on the quality of sewage sludge intended for use as a fertiliser in agriculture. Thorough knowledge of blackwater quality is currently lacking among practitioners and researchers, since today's quality assessment is based on only a few of the 60 trace elements present in blackwater. As in the Swedish Environmental Protection Agency (SEPA) report *Hållbar återföring av fosfor* (in English: Sustainable Recycling of Phosphorus) (2013), blackwater quality was defined here as “concentrations of trace elements in relation to concentration of phosphorus (mg/kg P)”.

Seven blackwater samples were analysed, four from individual blackwater systems at permanent rural homes in Lund municipality and three from different allotment areas in Lund. In addition, three samples of three-chamber septic tank sludge were analysed.

The results showed that the relationship between heavy metal and phosphorus concentrations was far below the proposed limit for wastewater fractions suggested by SEPA for future applications. However, individual measurements occasionally revealed greatly elevated concentrations of some metals, e.g. silver and zinc, relative to the phosphorus concentration.

If use of blackwater quality is to be considered the norm for future threshold values for dewatered sewage sludge, then the results of this small-scale study indicate that the proposed limits (mg/kg P) are too high for all elements except zinc.

According to SEPA, blackwater quality can also be described as amount of trace elements returned to agricultural soil with wastewater fractions supplying 22 kg P/ha. SEPA suggests that the limits in this approach should be applied to several wastewater fractions in the future and should be tightened in 2023 and 2030. With the limits proposed from 2015 onwards, blackwater would pass with a good margin according to our results, using the 75th percentile as the boundary. However, with the proposed stricter limits for metal recycling to agricultural soil from 2023 and 2030, some individual measurements for several metals in our blackwater samples exceeded the limits.

Exekutiv sammanfattning

Huvuddelen av växtnäringsämnen i hushållsavloppsvatten kan fångas upp och återföras till åkermark, med ett minimum av föroreningar, via klosett-vattensystem. I sådana system hanteras toalettavfallet skilt från BDT-vatt-net. I *blandande klosett-vattensystem* samlas urin och fekalier upp tillsammans medan BDT-vattnet hanteras för sig och leds till en separat behandlingsan-läggning. Klosett-vattensystem ger även stora möjligheter att kraftigt minska belastningen på reningsverk och recipienter.

Forskargruppen vid Institutionen för biosystem och teknologi, SLU Alnarp, har tidigare undersökt kvaliteten på klosett-vatten, främst med inriktning på de sju hittills reglerade metallerna i avloppsslam: bly, kad-mium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink, men i viss uträkning har även silver och tenn undersökts. I dessa studier har också klosett-vatten undersökts med avseende på andra ämnen som växtnäring och organiska föroreningar, vilket har visat att klosett-vatten har en bra kvalitet ur växtnä-rings- och föroreningssynpunkt och kan i viss mån kvalitetsmässigt jämföras med nötflytgödsel. Under 2011 genomfördes en förstudie för att visa hur man bäst kvantifierar så många som möjligt av de 60 spårelement som är aktuella för en mer fullständig beskrivning av klosett-vattenkvalitet enligt REVAQ. En metod för uppslutning och analys av det utspädda klosettvat-tnet föreslogs, men också en metod för representativ provtagning av klosett-vatten från en slamsugningsbil.

Kunskap om kvaliteten hos källsorterat klosett-vatten är grundläggande för att kunna ställa långsiktiga mål och krav på kvalitet hos avloppsslam, när slam används som gödselmedel på åkermark. I dagsläget saknas en full-lödlig kunskap hos praktiker och forskare om vad som är klosett-vattenkvali-tet, eftersom dagens kvalitetsbegrepp för klosett-vatten endast baseras på ett fåtal av de 60 spårelementen. Vår förhoppning är att resultatet från denna huvudstudie kan öka kunskapen om klosett-vattenkvalitet och vara till nytta vid certifiering av avloppsslam inom REVAQ vid Svenskt Vatten, men även vara av intresse för andra forskare inom avloppsområdet samt för myndig-heter etc. inom avlopps- och miljöområdet.

Målet med denna studie har varit att noggrannare beskriva sammansätt-ning och halter av spårelement i relation till fosfor i klosett-vatten, men även att identifiera eventuella kvalitetsskillnader hos klosett-vatten beroende på ursprung och provtagningsmetod. Vi har med hjälp av principalkompo-nentanalys (PCA) försökt fånga upp skillnader mellan olika klosett-vatten-prov, skillnader inom ett samlingsprov i form av dubbelprov till laborato-riet, skillnader inom en leverans (en tömning av slamsugningsbilen), samt skillnader mellan olika avloppsfraktioner som klosett-vatten, avloppsslam och trekammarbrunnsslam.

Denna studie av klosett-vattenkvalitet baseras på prov som förvarats ner-frusna vid SLU sedan 2011, samt ett nytaget prov på Källby Reningsverk i Lund 2013. De prov som ingår är sju klosett-vattenprov, där fyra av dem kommer från enskilda avlopp vid permanentbostäder och tre från koloni-

stugeområden i Lund. Utöver proven på klosettvattnen så har även tre prov tagits på trekammarbrunnsslam.

Med PCA-metoden har vi kunnat se en viss kvalitetsskillnad mellan klosettvattnen från permanentboende och kolonistugeområden. Analysresultaten visade också att det kan vara relativt stora skillnader i kvalitet mellan dubbelprov från samma samlingsprov och detta ger vissa svårigheter att dra långtgående slutsatser ur detta datamaterial. Variationen beror troligen på att det vid låga halter av spår-element kan finnas ett enskilt prov som av en slump kan innehålla en punktkälla av ämnet t.ex. en enstaka fast partikel som innehåller en hög halt av ämnet i fråga. Prover som tas ut ur slamsugningsbilen är till synes heterogena, men vid en kvalitetsanalys av prov tagna vid olika tillfällen under tömningsförloppet visade det sig att kvalitetsskillnaderna inom samma tömning är relativt små. Detta resultat är dock endast baserat på analys av en leverans. Däremot har vi kunnat konstatera att det förekommer skillnader mellan ett prov och dess bottensats när provet tillåtits sedimentera i provburken. Det är därför viktigt med ett genomtänkt förfarande då prov tas ur slamsugningsbilen inför provberedning och analys. Undvik framförallt den betydligt tjockare fraktionen som levereras från slamsugningsbilen i slutet av tömningsfasen.

Prover av klosettvattnen, som är en flytande fraktion med lågt ts-innehåll, kan inte beredas och analyseras med samma metod som avvattnat avloppsslam med betydligt högre ts-innehåll. Att torka och analysera ett klosettvattnenprov på samma sätt som avvattnat avloppsslam innebär en alltför hög risk att provet förändras innehållsmässigt eller kontamineras under provberedningen.

I denna studie har klosettvattnenkvalitet definierats som *"halter av spår-element i relation till halt av fosfor (mg/kg P)"* på samma sätt som i Naturvårdsverkets rapport *Hållbar återföring av fosfor* (2013). Relationen mellan halterna av metaller och fosfor ligger generellt i denna studie med mycket god marginal under de föreslagna gränsvärden för avloppsfraktioner som föreslås gälla framöver. Vi har dock sett att enskilda observationer kan visa på kraftigt förhöjda metallhalter t.ex. silver och zink, jämfört med halten av fosfor.

Om man överväger möjligheten att använda klosettvattnenkvalitet, som norm för framtida gränsvärden för avvattnat avloppsslam, då indikerar denna begränsade studie att de av Naturvårdsverket föreslagna gränsvärden (mg/kg P) ligger högt för alla ämnen utom zink. Utgår vi från resultatet av de enskilda spår-elementen i klosettvattnet i denna studie, så innebär det att de föreslagna gränsvärdena för avloppsfraktioner borde kunna sänkas rejält för bly, koppar och krom samt reduceras något för kvicksilver, nickel och silver.

Klosettvattnenkvalitet kan även beskrivas som mängden tillförda spår-element (g/ha) till åkermark med klosettvattnet, vid en tillförsel av 22 kg P per ha. Naturvårdsverket föreslår sådana gränsvärden för avloppsfraktioner framöver, med skärpningar av gränsvärdena 2023 och 2030. Med de gränsvärden som föreslås gälla från 2015 klarar klosettvattnenproven i denna begränsade studie gränsvärdena med god marginal, när vi använder 75 %-percentilen som gräns.

Enskilda observationer på kadmium och zink hamnar dock över gränsvärdet (g/ha), vid en normaliserad tillförsel av 22 kg P per ha. När klosettvattnen från denna studie jämförs med föreslagna gränsvärden för tillförsel av metall till åkermark 2023 och 2030, visar det sig att enskilda observationer för flera metaller hamnar över gränsvärdet.

En förutsättning för att använda fosfor som jämförelsebas vid kvalitetsstudier av avloppsfraktioner i större avloppssystem är att innehållet av fosfor inte förändras av yttre faktorer. Som en del i denna diskussion har vi gjort en korrelationsanalys som visar att bor, strontium och magnesium verkar följa fosfor väl genom alla klosettvattnenprov. Fler studier behöver dock göras för att undersöka om dessa eller andra ämnen kan användas som jämförelsebas parallellt med fosfor för kvalitetsundersökningar av avloppsfraktioner i olika typer av avloppssystem.

Denna studie har visat på stora skillnader i sammansättning och kvalitet mellan klosettvattnen, avlopps- och trekammarbrunnsslam. Tillgången till analysresultat för de olika avloppsfraktionerna har varit begränsad och det vore intressant att göra ytterligare analyser på fler avlopps- och trekammarbrunnsslamprov från fler platser för att säkrare kunna beskriva klosettvattnens kvalitet.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Genom att samla upp klosettvattnet skiljt från BDT-vattnet kan huvuddelen av växtnäringsämnena i hushållsavloppsvattnet samlas upp och recirkuleras till åker, med ett minimum av föroreningar. I klosettvattnensystem samlas urin och fekalier upp, medan BDT-vattnet hanteras separat och leds till en egen behandlingsanläggning. Klosettvattnensystem ger stora möjligheter att öka återföringen av växtnäringsämnen till åker och samtidigt kraftigt minska belastningen på reningsverk och recipienter. Vidare är innehållet av metaller relativt lågt i klosettvattnet (Emilsson et al. 2006, Almqvist et al. 2007, Johansson & Svensson 2012a).

I *blandande system* blandas urin och fekalier i toalettstolen och klosettvattnet leds bort med självfall eller med vakuumpump, normalt till en sluten tank. Spolvatten används för att transportera urin, fekalier och toalettpapper. Detta gör att ett blandande klosettvattnensystem inte skiljer sig så mycket från ett konventionellt toalettsystem. Inblandningen av spolvatten gör dock att mängderna som ska behandlas och transporteras till åker ökar och att behandlingen blir mer energikrävande (Emilsson et al. 2006).

Enligt Emilsson et al. (2006) kommer den största delen av de växtnäringsämnena som finns i hushållsavlopp från klosettvattnet: 90 % av kvävet (N), 74 % av fosfor (P) och 79 % av kaliumet (K). För metaller gäller det omvända – den absolut största andelen metaller finns i BDT-vattnet.

Almqvist et al. (2007) har noggrant undersökt sammansättning, ett flertal spårelement samt flöde för olika avfallsfraktioner från lägenhetshushåll: BDT-vatten, urin och fekalier samt fast organiskt avfall. Studien utfördes genom att flöde och sammansättning för de fyra avfallsfraktionerna mättes från 32 lägenheter med 81 boende under tre tidsperioder med vardera en veckas längd. Studien som genomfördes i *sorterande system* i bostadsrättsföreningen Gebers i Skarpnäck, Stockholm, visade bland annat att drygt 70 % av kvävet återfanns i urinblandningen och resten av kvävet fördelades ungefär lika mellan de övriga tre fraktionerna (cirka 10 % vardera).

En tredjedel av all fosfor fanns i fekalierna och ytterligare en tredjedel fanns i urinen och resten i BDT-vattnet (28 %) och i det fasta organiska avfallet (7 %). Vidare visade det sig att hälften av allt kalium fanns i urinfraktionen. Ett annat intressant resultat från mätningarna i Gebers var att om urin och fekalier samlas upp separat, så blir ”flödet av metaller per fosforenhet i urin + fekalier mindre jämfört med flödet av metaller per fosforenhet i urin + fekalier + BDT-vatten om de samlas upp tillsammans med BDT-vattnet” (Almqvist et al. 2007).

Halterna av tungmetaller i klosettvattnet avspeglar normalt innehållet i maten, eftersom det mesta av det som vi äter passerar rakt genom kroppen. Kadmium (Cd) är ett exempel där klosettvattnet visar på låga halter i förhållande till innehållet av fosfor (P). Klosettvattnet ligger på 11–19 mg Cd/kg P, vilket kan jämföras med drygt 30 mg Cd/kg P i medelhalt för avloppsslam (Hjelmqvist et al. 2012).

Emilsson et al. (2006) anger dock att det går att uppnå en ännu lägre kvot: 7 mg Cd/kg P för klosettvattnen (se Tabell 1.1). Dessa schablonvärden är beräknade för blandande klosettvattnensystem och bygger på Naturvårdsverket (1995) samt har omarbetats av Vinnerås (2002). Detta värde borde ligga runt 11 mg Cd per kg P, med de data som föreligger från Gebers, enligt Jönsson (pers. medd. 2014). Detta anges i Tabell 1.1, tillsammans med beräknade värden för fler tungmetaller relaterade till fosfor i klosettvattnen.

Enligt Hjelmqvist et al. (2012) är kravet för att tillåta spridning av REVAQ-certifierat avloppsslam på åkermark max 33 mg Cd/kg P. Nivån föreslås att sänkas till 17 mg Cd/kg P till år 2025. För rötresten och stallgödsel är Cd/P-kvoterna jämförbara med klosettvattnen. Se vidare Kemikalieinspektionen (2011) för ytterligare uppgifter och jämförelser rörande kadmium i olika gödselprodukter.

Enligt Emilsson et al. (2006), som inventerat flera klosettvattnensystem i Norden, föreslår man framtagning av en gemensam metodik som kan tillämpas vid provtagning av klosettvattnenprodukter. Detta föreslås efter att ett antal klosettvattnenanläggningar undersökts och analyserna visar att metallhalten kan variera mycket mellan olika anläggningar och även vid olika provtagningstillfällen. Förklaringen till dessa variationer kan vara att det inte finns någon standardiserad metod för hur provtagning ska ske, samt att klosettvattnet har ett lågt ts-innehåll och inte är homogent.

I en förstudie, som genomfördes vid SLU Alnarp under 2011 med finansiering från Svenskt Vatten Utveckling och REVAQ, togs ett antal klosettvattnenprov från slutna avloppstankar, både vid kolonistugeområden och vid fastigheter med permanentboende i Lunds kommun. Kvaliteten med avseende på innehåll av 60 spårelement och växtnäringsinnehåll har bestämts i förstudien på ett av dessa klosettvattnenprov. Detta klosettvattnenprov, ett samlingsprov från 12 fastigheter för permanentboende, har utvärderats via en *provtagningsmetod* som utvecklats vid SLU Alnarp och en *analysmetod* som utvecklats av ALS Scandinavia i samarbete med SLU Alnarp (Johansson & Svensson 2012a och 2012b).

Det finns flera skäl till att studera innehållet av föroreningar och växtnäring i klosettvattnen från små avlopp. Sveriges riksdag har satt upp 16 miljökvalitetsmål för att minska negativa effekter på människors hälsa och vår omgivande miljö. Av dessa 16 mål beräknas endast två vara uppfyllda vid slutdatum 2020. Ett av de mål som inte kommer att vara uppfyllt är ”Ingen övergödning”. Små avlopp tillsammans med kommunala reningsverk är de största punktkällorna till utsläpp av fosfor. Det behövs därför åtgärder för att minska dessa utsläpp, exempelvis genom att tillvarata näringsämnen i hushållens avlopp och sluta kretsloppen genom att återföra näringsämnen till jordbruket.

Den totala mängden avloppsslam från Sveriges reningsverk innehåller ungefär 5 800 ton fosfor varje år, varav cirka 25 %, d.v.s. 1 340 ton, återförs till åkermark. Återföring av fosfor från källsorterande avloppssystem skulle kunna öka om fler sådana system infördes vid enskilda avlopp som idag inte uppfyller lagkraven på rening. Denna potential har beräknats till cirka 90 ton fosfor per år (Naturvårdsverket 2013).

I avlopps- och avfallsfraktioner finns inte bara nyttigheter utan även ämnen som kan orsaka problem för hälsa och miljö. Många metaller och

organiska ämnen som finns i samhället hamnar i avloppsslammet. Den långsiktiga trenden för innehåll av metaller i slam är dock minskande halter, med undantag av koppar och zink. Under de senaste åren har minskningen av metaller i avloppsvatten till reningsverken planat ut något (Naturvårdsverket 2013).

Naturvårdsverket (2013) föreslår en ny förordning som begränsar tillförseln av oönskade ämnen till åkermark och annan mark vid återföring av olika avlopps- och avfallsfraktioner. Detta för att skapa ett långsiktigt hållbart och resurseffektivt kretslopp för fosfor. Målet är att halten föroreningar i fraktionerna ska bli så låg att fosfor kan återföras till mark, där den behövs, utan risk för människors hälsa eller miljön.

Förslaget reglerar för avloppsfraktioner:

1. högsta tillåtna halt av åtta metaller i mark där avloppsfraktioner ska användas,
2. högsta tillåtna halt för dessa åtta metaller och fem organiska ämnen i avloppsfraktioner,
3. högsta tillåtna mängd, av de åtta metallerna, som får tillföras marken.

Dessa gränsvärden är strängare jämfört med dagens lagstiftning. För att underlätta för verksamhetsutövare att genomföra de åtgärder som krävs för att leva upp till reglerna föreslås en stegvis skärpning för innehåll av såväl metaller som organiska ämnen. Begränsningarna föreslås börja gälla 2015 och därefter skärpas i två steg, år 2023 och 2030.

Det finns värdefulla näringsämnen i olika avloppsfraktioner, där fosfor är särskilt intressant att recirkulera, eftersom det är en ändlig resurs (Linderholm & Mattsson 2013). Hur användbar avloppsfraktionen är beror på hur den behandlats. I en korttidsstudie vid SLU testades fosforgödslingsverkan hos 15 olika restprodukter varav tre av dem var avloppsslam med olika fällningskemikalier. Det visade sig att kalkfällt slam i de flesta fall hade god fosforverkan, med undantag av en produkt som knappt gav någon verkan alls. Avloppsslam kan ha ganska olika fosforverkan beroende på vilken fällningskemikalie som reningsverket använt och i vilken mängd den använts. Resultatet över hela försöksperioden, i korttidsstudien, visade inte på någon större skillnad i fosforeffekt mellan avloppsslam, stallgödsel, rötrest, askor eller kött- och benmjöl. I jämförelse med mineralgödsel kan fosforeffekten variera mellan 40 % och 70 %, beroende på vilken restprodukt som använts (Delin et al. 2014).

I detta projekt har kvaliteten på klosettwater från slutna avloppstankar studerats och då främst halten av spårelement. Mycket av fosfor från hushållen hamnar i toalettavfallet och sedan i avloppsslammet på reningsverket. Inom forskningen har man pekat på att även andra ämnen i avloppsslam är intressanta att ta tillvara t.ex. kväve, kalium, svavel och mullbildande ämnen (Havs- och vattenmyndigheten 2013b). För att kunna återföra avloppsslam eller klosettwater till jordbruket krävs det att kvaliteten är god, d.v.s. att innehållet av föroreningar och smittämnen är lågt i förhållande till innehållet av växtnäringsämnen (Havs- och vattenmyndigheten 2013a).

Ett flertal kommuner arbetar aktivt för att återcirkulera näringsämnen även från små avlopp och några har kommit långt, exempelvis Södertälje kommun där man har en kretsloppspolicy för små avloppsanläggningar. I

Sverige finns det i dagsläget cirka 130 000 avloppsanläggningar med slutna tankar, inklusive urinsorterande, enligt Havs- och vattenmyndigheten (2013a, 2013b).

I *blandande* klosettavloppssystem samlas toalettavloppet i en separat tank där det lagras. Tanken töms efter behov med t.ex. slamsugningsbil. Det är bara klosettavloppet som tas tillvara i tanken och avloppsavloppet från bad, disk och tvätt (BDT-avloppet) leds till reningsverk eller till en slamavskiljare och sedan vidare till en infiltrationsanläggning eller en markbädd om det rör sig om små enskilda avloppssystem. Genom att avskilja klosettavloppet kan reningsgrader på 90–95 % uppnås för både fosfor och kväve. Risken för smittspridning minskar också. Huvuddelen av smittämnen avskiljs med klosettavloppet. För att kunna återföra klosettavloppet till jordbruket krävs en hygienisering t.ex. genom termofil rötning, våtkompostering eller lagring med ureatillsats (Havs- och vattenmyndigheten 2013a).

Klosettavloppet består i princip enbart av spolvatten, urin, fekalier och toalettpapper. Det kan dock vara förorenat av exempelvis skurvatten, cigarettfimpar, snus eller annat som kastas i toaletten, men även av föroreningar som lakats ut från rörledningar och annan utrustning.

Avloppsslam är den avvattade restprodukt som erhålls efter rötningssprocessen i reningsverket. Det pågår idag ett aktivt kvalitetsarbete i Sverige för att erhålla ett avloppsslam som är så rent att det kan återföras till produktiv åkermark, bland annat finns certifieringssystemet REVAQ för att säkra kvaliteten (REVAQ 2014).

I dagens lagstiftning finns det restriktioner för sju metaller i avloppsslam vid återföring till åkermark: bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink. Naturvårdsverket (2013) har föreslagit att även silver ska bli en reglerad metall framöver, se Tabell 1.1. Behovet av reglering av fler än sju metaller i avloppsslam, bland annat tenn, har diskuterats tidigare (Naturvårdsverket 2010).

Tabell 1.1 Halt av metaller i klosettavloppet från några olika referenser, samt förslag till gränsvärden framöver (enhet mg/kg fosfor)

Spårelement	Data från Naturvårdsverket (2013). Tabell 5, s. 55.	Data från Johansson & Svensson (2012a). Ett prov analyserat med olika metoder.	Data från Emilsson et al. (2005). Tabell 5, s. 37.	Beräknade data från Jönsson et al. (2005). Tabell 10, s. 30.	Förslag till gränsvärden enligt Naturvårdsverket (2013). Tabell 10, s. 75.
Bly	29–519	18–50	15	37	1 600
Kadmium	7,7–27	7,7–40	7	11 ¹	40
Koppar	2 500–6 860	726–2 600	800	857	21 400
Krom	38–2 200	38–82	20	100	2 100
Kvicksilver	1,3–16	1,3–1,8	7	7	40
Nickel	135–378	76–200	54	144	1 400
Silver	1,2–139	1,2–3,8	-	-	180
Zink	9 600–27 800	4 355–9 615	7 100	7 857 ²	28 600
Tenn ³	192–680	71–192	-	-	(1 200)

¹ Värdet för kadmium bör vara 11 och inte 7 mg/kg P som beräkningar utifrån den skriftliga referensen anger (Jönsson pers. medd. 2014).

² Värdet för zink är förhöjt p.g.a. korroderande utrustning vid mätningarna (Jönsson pers. medd. 2014).

³ Tidigare föreslogs även tenn vara en reglerad metall, men tenn har strukits i förslaget till förordning (Naturvårdsverket 2013).

SLU Alnarp har under en längre tid undersökt klosett-vattenkvalitet. Tidigare analyser av klosett-vatten har visat att innehållet av de för slam reglerade metallerna är lågt och växt-näringsinnehållet är bra både i halt och sammansättning (Johansson & Svensson 2012a).

Nu är det intressant att studera klosett-vatten med avseende på de ämnen som analyseras i slam vid REVAQ-certifiering, ett sextiototal spårelement och växt-näring. SLU Alnarp genomförde 2011 en förstudie med målet att undersöka lämpliga metoder för att analysera ett sextiototal spårelement i klosett-vatten (Johansson & Svensson 2012a och 2012b).

Förstudien av Johansson & Svensson (2012a) hade som utgångspunkt förslaget från Eriksson (2001) om analysmetoder för avvattnat avloppsslam vid analys av spårelement, vilka tillämpas vid REVAQ-certifiering. Förstudien inriktades huvudsakligen på *analysmetoder* och visade på hur man bäst, till ett rimligt pris, kvantifierar så många som möjligt av de 60 spårelement som undersökts i denna kraftigt utspädda avloppsfraktion, klosett-vatten.

Det föreslogs en *metod för uppslutning* och analys av proverna, men också ett sätt att ta ut *prov vid tömning* av slamsugningsbilen. Under förstudien observerades visuellt att proverna var mycket inhomogena och misstanken fanns därför att provtagningsmetoden har ett stort inflytande på analysresultaten. I förslaget till provtagningsmetod minimerades eventuella kvalitetsskillnader beroende på materialets heterogenitet, bland annat genom att ta ut samlingsprov, som består av flera delprov, under tiden som tömning av slamsugningsbilen sker. Flera delprov tas ut till ett samlingsprov under tiden som slamsugningsbilen töms d.v.s. vid en och samma leverans.

1.2 Syfte och mål

Syftet med denna studie är att öka kunskapen om klosett-vattenkvalitet och att resultatet från studien kan vara en del i ett underlag vid certifiering av avloppsslam inom REVAQ vid Svenskt Vatten.

I denna studie är målet att mer detaljerat undersöka ett antal klosett-vattenprov för att ta reda på om det finns några skillnader i klosett-vattenkvalitet mellan prover med olika ursprung (tre prover från kolonistugeområden och fyra prover från permanentboende i villafastigheter), översiktligt undersöka innehållet av spårelement och växt-näring (fosfor) i jämförelse med tre-kammarbrunnsslam och avvattnat avloppsslam, samt undersöka eventuella kvalitetsskillnader inom en och samma leverans från en slamsugningsbil, för att verifiera tillförlitligheten i använd manuell metodik för provtagning av klosett-vatten från slamsugningsbil, d.v.s. den metodik som utvecklades i förstudien.

Målet med denna studie är mer preciserat att:

- Noggrannare fastställa klosett-vattenkvalitet, d.v.s. sammansättning och halter av spårelement (föroreningar) i relation till växt-näring (fosfor) i klosett-vatten (mg/kg fosfor), baserat på fler prov än det enda prov som analyserats i projektets förstudie.
- Studera om det finns några skillnader i klosett-vattenkvalitet mellan prov med olika ursprung (kolonistugeområden samt permanentboende i villafastigheter).

- Undersöka det manuella provtagningsförfarandets inverkan på analysresultatet vid provtagning av klosettavattenprov som tas från slamsugningsbil, eftersom klosettavattnet inte är speciellt homogent när det lämnar slamsugningsbilen. Eventuella kvalitetskillnader inom en och samma leverans från slamsugningsbilen undersöks, för att verifiera provtagningsmetodiken.
- Översiktligt undersöka innehållet av spårelement och växtnäring i klosettavatten jämfört med trekammarbrunnsslam och avvattnat avloppsslam.
- Översiktligt undersöka om något ämne parallellt med fosfor kan användas som jämförelsebas vid bestämning av avloppsfraktioners växtnäringskvalitet i olika avloppssystem, d.v.s. halter av spårelement i relation till något ämne som normalt korrelerar starkt till fosfor i klosettavatten.
- Sprida kunskap om klosettavattenkvalitet till forskare, myndigheter etc. inom avlopps- och miljöområdet.

2 Genomförande

2.1 Prov och provtagningsmetod

SLU Alnarp genomförde 2011 en förstudie där prover på klosettavatten från slutna tankar i Lunds kommun togs ut. Sedan dess har klosettavattenproven varit nerfrysta och sex av dessa används i denna studie. Proven har tinats upp, delats i två dubbelprov och skickats till ALS Scandinavia i Luleå för analys. Laboratoriet har sedan tagit ut, förbehandlat och analyserat dubbelprov på varje insänt prov, vilket innebär att vi har fyra mätvärden för varje uttaget prov (t.ex. P1(1)⁽¹⁾, P1(1)⁽²⁾, P1(2)⁽¹⁾, P1(2)⁽²⁾ för det första provet P1 från permanentboende).

När vi tog ut proverna under 2011 valde vi att ta ut ett samlingsprov per leverans från slamsugningsbilen. Varje delprov till samlingsprovet togs ut i samband med tömningen av slamsugningsbilen. Klosettavatten tappades av i en hink och fördelades i tre stycken 2-liters burkar. Varje burk fylldes till cirka 40 % i början av tömningen, ytterligare cirka 40 % mitt i tömningen och resterande 20 % i slutet av tömningen. Bedömningen var att inte ta mer än 20 % från slutet av tömningen då klosettavattnet i slutet av tömningen hade betydligt högre ts-halt. På detta sätt ansåg vi, vid det tillfället, att vi skulle få ett samlingsprov om cirka 6 liter som var representativt för innehållet i hela slamsugningsbilens *leverans* (tömning).

Vid provtagningen 2013 togs tre enskilda prov på en *leverans* av klosettavatten från slutna tankar vid permanentbostäder i Lunds kommun. Tre dunkar à 5 liter tappades av vid tömningen av slamsugningsbilen, i början, mitten och slutet av tömningen, se Figur 2.1.

I denna studie har de tre proven från tömningen analyserats var för sig för att vi ska kunna identifiera eventuella kvalitetsskillnader inom en och samma *leverans* (tömning). Ett medelvärde av resultaten från de tre enskilda



Figur 2.1 Klosettavattenprovtagning vid Källby reningsverk i Lund.
Foto: Jan Erik Mattsson

proven skulle därmed beskriva kvaliteten på hela mängden klosettatten i denna leverans.

Från varje dunk tappades en tredjedel av till ett samlingsprov, som skakades om och som sedan fick sedimentera i ungefär en timme. Cirka hälften av detta samlingsprov, det övre skiktet, dekanterades av. Bottensatsen skickades in till laboratoriet för analys. Detta gjordes för att undersöka kvaliteten hos bottensatsen och visa på eventuella skillnader i resultat av ett omrört respektive icke omrört prov. Klosettatten hade en tydlig tendens att skikta sig både i provburkarna och i slamsugningsbilen.

Totalt skickades 19 prov till ALS Scandinavia för analys. Det var 16 prov på klosettatten, i form av dubbelprov på sex gamla klosettattenprov samt tre enskilda prov vid en tömning av slamsugningsbilen och ett ”sedimenterat” prov i en dunk från denna tömning. Dessutom togs tre prov på trekammarbrunnsslam som levererades till Källby i Lund respektive till Ellinge i Eslöv, se Tabell 2.1.

Tabell 2.1 Provförteckning

Beteckning på de fyra proven	Intern provbeteckning	Ursprung	Beskrivning
P1(1) ⁽¹⁾ , P1(1) ⁽²⁾ , P1(2) ⁽¹⁾ , P1(2) ⁽²⁾	11, 12 ¹	Klosettatten från tre fastigheter i Vomb.	Total volym i leveransen/bilen var cirka 12 m ³ . Prov togs ut 2011-04-20.
P2(1) ⁽¹⁾ , P2(1) ⁽²⁾ , P2(2) ⁽¹⁾ , P2(2) ⁽²⁾	21, 22 ¹	Klosettatten från fem fastigheter i Vomb.	Total volym i leveransen/bilen var cirka 12 m ³ . Prov togs ut 2011-04-20.
P3(1) ⁽¹⁾ , P3(1) ⁽²⁾ , P3(2) ⁽¹⁾ , P3(2) ⁽²⁾	31, 32 ¹	Klosettatten från fyra fastigheter, två i Vomb och två i Östra Tvet.	Total volym i leveransen/bilen var cirka 12 m ³ . Prov togs ut 2011-04-27.
K1(1) ⁽¹⁾ , K1(1) ⁽²⁾ , K1(2) ⁽¹⁾ , K1(2) ⁽²⁾	51, 52 ¹	Klosettatten från två kolonistugeområden, Gläntan och S:t Hans.	Total volym levererat klosettatten var cirka 10 m ³ . Prov togs ut 2011-05-19.
K2(1) ⁽¹⁾ , K2(1) ⁽²⁾ , K2(2) ⁽¹⁾ , K2(2) ⁽²⁾	61, 62 ¹	Klosettatten från två kolonistugeområden, Täppan och Solhällan.	Total volym levererat klosettatten var cirka 9 m ³ . Prov togs ut 2011-05-19.
K3(1) ⁽¹⁾ , K3(1) ⁽²⁾ , K3(2) ⁽¹⁾ , K3(2) ⁽²⁾	71, 72 ¹	Klosettatten från två kolonistugeområden, Öster 2 och Täppan.	Total volym levererat klosettatten var cirka 9 m ³ . Prov togs ut 2011-06-09
PT1 ⁽¹⁾ , PT1 ⁽²⁾	K1 ²	Klosettatten från fem tankar av permanentboende.	Total volym levererat klosettatten var cirka 12 m ³ . Prov togs ut 2013-10-02. Början av tömningen.
PT2 ⁽¹⁾ , PT2 ⁽²⁾	K2 ²	Klosettatten från fem tankar av permanentboende.	Total volym levererat klosettatten var cirka 12 m ³ . Prov togs ut 2013-10-02. Mitten av tömningen.
PT3 ⁽¹⁾ , PT3 ⁽²⁾	K3 ²	Klosettatten från fem tankar av permanentboende.	Total volym levererat klosettatten var cirka 12 m ³ . Prov togs ut 2013-10-02. Slutet av tömningen.
PTsed ⁽¹⁾ , PTsed ⁽²⁾	Ksed ²	Bottensatsen av lika delar PT1, PT2 och PT3.	
PT123		Beräknat samlingsprov med lika delar av PT1, PT2 och PT3.	
T1 ⁽¹⁾ , T1 ⁽²⁾	TK ²	Trekammarbrunnsslam, Källby reningsverk i Lund.	
T2 ⁽¹⁾ , T2 ⁽²⁾ , T3 ⁽¹⁾ , T3 ⁽²⁾	TE1 ² TE2 ²	Trekammarbrunnsslam, Ellinge reningsverk i Eslöv.	
Slam ³		Årsmedelvärde för avloppsslam från Källby reningsverk år 2012.	

¹ Dubbelprov till lab.

² Enkelprov till lab.

³ Data erhållen från VA SYD.

2.2 Analyser och metoder

Klosettatten- och trekammarbrunnnsproverna har bland annat analyserats med avseende på pH, ts, växtnäring i form av totalkväve, ammoniumkväve, totalfosfor och kalium, de sju hitintills reglerade metallerna i avloppsslam samt silver och tenn, se Tabell 2.2.

Tabell 2.2 Delmängd av de ämnen som analyserats i denna studie

Parameter	Förkortning
pH	pH
Torrsubstans	ts
Kväve tot	N-tot
Ammoniumkväve	NH ₄ -N
Fosfor tot	P-tot
Kalium	K
Bly	Pb
Kadmium	Cd
Koppar	Cu
Krom	Cr
Kvicksilver	Hg
Nickel	Ni
Zink	Zn
Silver	Ag
Tenn	Sn

Utöver de nio spårelementen i Tabell 2.2, så analyserades ytterligare 50 andra spårelement, i enlighet med REVAQ-certifiering av avloppsslam (REVAQ 2014). I Bilaga 1 (Tabell 1a), visas den kompletta listan över de 59 spårelement som analyserats inom detta projekt. Ur denna lista framgår också att spårelementet indium (In), som ingår i REVAQ:s certifiering av avloppsslam, inte kunnat analyseras i klosettatten med de metoder som ALS Scandinavia speciellt utvecklat för analys av klosettatten.

I Bilaga 1 (Tabell 1b) redovisas att även aluminium, kalcium, järn, magnesium, natrium, svavel samt kisel analyserats för avloppsfraktionerna i enlighet med REVAQ:s certifiering av avloppsslam.

Klosettatten är en flytande avloppsfraktion med låg ts-halt, kring 1 %, medan avloppsslam är den avvattade rötresten från behandlingen i avloppsreningsverket. Avloppsslam, som vi talar om här, är en fast produkt med ts-halter mellan 20 % och 35 %. Vid analys av dessa båda produkter vid kommersiella laboratorier tillämpas normalt olika metoder för dessa avloppsfraktioner.

Enligt Eriksson (2001) bör olika metoder användas för att på bästa sätt kvantifiera olika ämnen. På ALS Scandinavia tillämpar man en kombination av olika förfaranden för att kunna analysera olika spårelement i avloppsslam. För att erhålla en tillräcklig mängd torrt prov av avloppsslam att väga in, krävs det enligt Omberg (pers. medd. 2013) en minsta ts-halt hos provet på cirka 10 % när 1 liter prov torkas. Vid analys av de flytande avloppsfraktionerna klosettatten och trekammarbrunnsslam, som också är en avloppsfraktion med låg ts-halt, görs uppslutningen direkt på en del av det flytande provet.

Fördelen med att göra analys direkt på klosettvattnet och trekammarbrunnsslammet är att man minimerar risken för kontaminering vid torkning, vilken är betydande enligt Omberg (pers. medd. 2013). Den metod som använts vid analys av klosettvattnet i projektets förstudie och i denna huvudstudie är inte en rutinanalys vid ALS Scandinavia utan är framtagen för att till ett rimligt pris kunna erbjuda lägsta möjliga rapporteringsgränser (LOQ) för ett så stort antal spårelement som möjligt.

Spårelementen har därför bestämts med den metod som föreslogs i förstudien (Johansson & Svensson 2012a), d.v.s. syrauppslutning i HNO_3 + HF och analys med ICP SMS. För att erhålla mätvärden även för ädelmetaller och sällsynta jordartsmetaller har vi låtit göra en matrisseparering med två olika kolonner före ICP-analysen. Det finns i dagsläget ingen ackreditering i Sverige för spårelementanalys av klosettvattnet, varken för ICP SMS eller för matrissepareringen.

Analysmetoder som använts i detta projekt och som ALS Scandinavia är ackrediterade för:

- pH: Analys enligt SS-EN ISO 10523:2012 tidskritisk analys.
- ts: Analys enligt SS 02 81 13-1.
- N-tot: Analys enligt DIN EN ISO 11905-1 (H36).
- $\text{NH}_4\text{-N}$: Analys enligt DIN EN ISO 11732-E23.

Laboratoriet har för varje insänt prov P1(1), P1(2), P2(1), P2(2) etc. gjort två parallella analyser d.v.s. tagit ut två mindre prov och gjort uppslutning och analys på dessa. Detta innebär att resultaten från varje klosettvattneprover (P1, P2, P3, K1, K2, K3) baseras på fyra mätvärden.

Proverna som tagits speciellt för att utvärdera det manuella provtagningsförfarandets inverkan på analysresultatet inom en och samma leverans, PT1, PT2, PT3, samt det sedimenterade provet PTsed har skickats in som enkelprov till laboratoriet. Enkelproven har analyserats på samma sätt som dubbelproven, med parallella analyser, och varje provresultat i denna delutvärdering baseras därmed på två mätvärden.

2.3 Utvärdering

2.3.1 Klosettvattnets kvalitet

Resultaten från analys av spårelement och växtnäring i klosettvattneproven angavs i ppb, d.v.s. som en koncentration i provet. För att kunna beskriva kvaliteten och kunna jämföra de olika klosettvattneproven med varandra, räknades spårelementhalten om till mg per kg fosfor i provet. Detta betyder även att vissa av spårelementen direkt kan jämföras med det förslag till gränsvärden för metaller i avloppsfraktioner som föreslås gälla framöver enligt Naturvårdsverket (2013), se Tabell 1.1.

2.3.2 PCA (Principalkomponentanalys)

Med PCA i programpaketet Minitab (version 16) har vi sett hur spårelementen är korrelerade till varandra i klosettvattnet, men också eventuella skillnader i sammansättningen av spårelement i olika prov. Vi har med hjälp av PCA försökt fånga upp skillnader mellan olika klosettvattneprover, skillna-

der inom ett samlingsprov via dubbelprov till laboratoriet, skillnader inom en leverans (tömning), samt skillnader mellan olika avloppsfraktioner som klosettatten, trekammarbrunnsslam och avloppsslam.

2.3.2 Jämförelsebas

Vid analys av klosettatten med avseende på spårelement och växtnäring erhålls mätdata från ALS i enheten ppb. När kvaliteten ska bestämmas kan den inte beskrivas som koncentrationen av de olika ämnernas massa per volymenhet eller totalvikt (inklusive vatten), eftersom koncentrationen helt beror på hur mycket vätska som fekalier, urin och papper är utspätt med. Mängderna spårelement och växtnäring i proven måste därför relateras till något konservativt ämne som överförs helt och hållet från klosettattnet till slammet vid reningsverket.

Genom att relatera spårelementinnehållet till fosforinnehållet får vi ett mått på föroreningsinnehållet i relation till ett viktigt näringsämne, d.v.s. det positiva i avloppsfraktionen. Fosfor kan dock tillföras avloppsslammet från andra källor än klosettatten t.ex. BDT-vatten från hushållen. Av den anledningen kan avvattnat slam ha en annan kvalitet än klosettatten med avseende på spårelement om spårelementinnehållet relateras till fosforinnehållet. Vi söker därför ett eller flera ämnen som korrelerar till fosfor i klosettattnet.

2.3.3 Jämförelse med andra avloppsfraktioner

Vi har fått ta del av resultaten från årsprov på slam, enligt REVAQ, från Källby reningsverk och analys av motsvarande spårelement 2012. Genom medfinansiering från Lunds renhållningsverk och VA SYD har vi haft möjligheten att ta prov även på trekammarbrunnsslam, se Figur 2.2. Vi har därför tagit ut prov från tre leveranser av trekammarbrunnsslam, ett i Lund



Figur 2.2 Provtagning av trekammarbrunnsslam vid leverans till Ellinge reningsverk i Eslöv. Foto: Jan Erik Mattsson

vid Källby reningsverk (T1) och två i Eslöv vid Ellinge reningsverk (T2 och T3). Proven (T1–T3) har tagits ut som samlingsprov av tre delprov från varje leverans, början, mitten och slutet av tömningen. Dessa prov togs ut och analyserades på samma sätt som klosettwaterproven, p.g.a. dess låga ts-innehåll. Trekammarbrunnspöven skickades till laboratoriet som enkelprov och analyserades via parallella prov på laboratoriet, på samma sätt som klosettwaterproven.

3 Resultat och diskussion

3.1 Klosettvattnets kvalitet – analysresultat

Utöver analysen av 59 spårämnen, pH, ts och växtnäringsämnen, som vi beställde från laboratoriet, ALS Scandinavia, så erhöles även analysresultat på ytterligare fyra ämnen: jod, svavel, brom och osmium. Resultaten från analysen av spårämnen och växtnäringsämnen i de uttagna proven är omräknade till mg/kg P och finns sammanställda i Bilaga 2.

Klosettvattnet från provtagningen 2013, som benämns PT123 i Tabell 3.1 och Bilaga 2, är ett beräknat samlingsprov av lika delar PT1, PT2 och PT3.

3.2 LOD och LOQ

Vissa spårämnen förekommer i så små mängder i proverna att de inte är kvantifierbara. Vid en första utvärderingsomgång tog vi bort de ämnen som låg under detektionsgränsen (LOD), eftersom det är högst osäkert om spårämnena verkligen finns i provet. I ett andra steg gick vi igenom de ämnen vars resultat vid något tillfälle understeg kvantifieringsgränsen (rapporteringsgränsen) (LOQ). Spårämnen vars halter ligger under denna gräns kan inte kvantifieras med tillfredställande säkerhet.

ALS Scandinavia har sin rapporteringsgräns lika med kvantifieringsgränsen, vilket innebär att alla de resultat som underskrider kvantifieringsgränsen redovisas som <LOQ vid rutinanalyser (ALS 2013). I detta projekt har vi dock haft tillgång till dessa mätvärden. I det andra steget sorterade vi bort ämnen som i de flesta fall låg under LOQ.

Efter denna sortering beslöt vi att arbeta vidare med följande ämnen, inklusive fosfor, som har acceptabelt många värden över LOQ och inget värde under LOD: silver (Ag), aluminium (Al), arsenik (As), guld (Au), bor (B), barium (Ba), vismut (Bi), brom (Br), kadmium (Cd), kalcium (Ca), cerium (Ce), kobolt (Co), krom (Cr), cesium (Cs), koppar (Cu), dysporium (Dy), erbium (Er), järn (Fe), gallium (Ga), gadolinium (Gd), hafnium (Hf), kvicksilver (Hg), holmium (Ho), kalium (K), lantan (La), litium (Li), lutetium (Lu), magnesium (Mg), mangan (Mn), molybden (Mo), natrium (Na), niob (Nb), neodym (Nd), nickel (Ni), fosfor (P), bly (Pb), praseodym (Pr), rubidium (Rb), rhenium (Re), svavel (S), antimon (Sb), skandium (Sc), selen (Se), kisel (Si), samarium (Sm), tenn (Sn), strontium (Sr), tantal (Ta), terbium (Tb), torium (Th), titan (Ti), tallium (Tl), uran (U), vanadin (V), volfram (W), yttrium (Y), ytterbium (Yb), zink (Zn) och zirkonium (Zr).

Vi har alltså ansett att följande ämnen inte är kvantifierbara med den metod vi använt för klosettvattnet: beryllium (Be), europium (Eu), germanium (Ge), jod (I), iridium (Ir), osmium (Os), palladium (Pd), platina (Pt), rodium (Rh), rutenium (Ru), tellur (Te) och tulium (Tm).

Analysresultaten för avvattnat avloppsslam från Källby visade att samtliga analyserade ämnen översteg rapporteringsgränsen utom lutetium, rhenium och selen. Analysresultat för brom saknades helt och hållet. Vi valde därför att ta bort resultaten från dessa fyra ämnen vid jämförelsen mellan klosettvattnen, trekammarbrunnsslam och avloppsslam, vilket medförde att 54 ämnen och fosfor var kvantifierade för de tre olika avloppsfraktionerna.

3.3 Klosettvattnets kvalitet – för nio metaller

Innehållet av nio metaller i klosettvattnenproverna har jämförts med de föreslagna gränsvärdena (mg/kg fosfor) för avloppsfraktioner. Resultaten i Tabell 3.1 är medelvärden för de sju proven P1-P3, K1-K3 samt PT123. Det senare är ett samlingsprov som räknats fram ur PT1, PT2 och PT3.

Analysresultaten för de nio metallerna ligger med god marginal under föreslaget gränsvärde, se Figur 3.1. Högst ligger zink med ett medianvärde på cirka 50 % av föreslaget gränsvärde, följt av nickel och kadmium på cirka 35 % och kvicksilver på drygt 20 %.

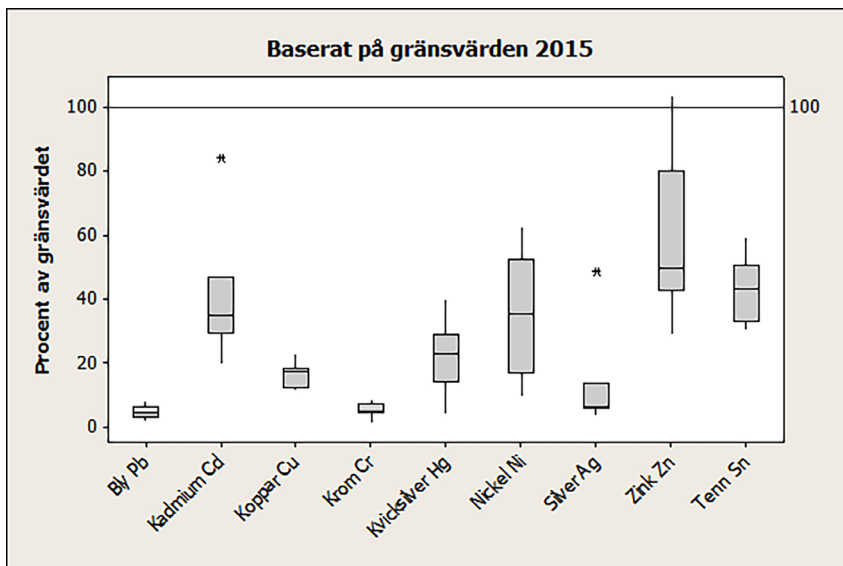
Tabell 3.1 Halter i klosettvattnen (mg/kg fosfor), för nio metaller med förslag på reglering från 2015. P1, P2, P3 är enskilda avlopp, slutna tankar, vid permanentbostäder och K1, K2, K3 är slutna tankar vid kolonistugeområden

Ämne/Halt (mg/kg P)	P1	P2	P3	K1	K2	K3	PT123	Median	Median/gränsvärde (%)	Gränsvärde, förslag (NVV 2013)
Bly (Pb)	65,8	100,1	44,5	71,5	70,1	130,8	24,3	70	4	1 600
Kadmium (Cd)	12,5	33,7	11,7	13,9	16,7	18,8	7,9	14	35	40
Koppar (Cu)	3 888	4 903	3 716	3 460	2 636	3 713	2 419	3 713	17	21 400
Krom (Cr)	90,0	106,6	88,9	182,3	97,2	145,5	27,0	97	5	2 100
Kvicksilver (Hg)	5,7	9,2	5,7	11,5	15,9	10,1	1,5	9,2	23	40
Nickel (Ni)	495	236	509	877	356	735	130	495	35	1 400
Silver (Ag)	11,6	87,3	10,6	13,0	10,7	24,5	6,5	12	6	180
Zink (Zn)	13 074	29 570	22 874	14 178	12 145	17 026	8 277	14 178	50	28 600
Tenn (Sn)*	607	510	394	520	709	518	360	518	43	1200

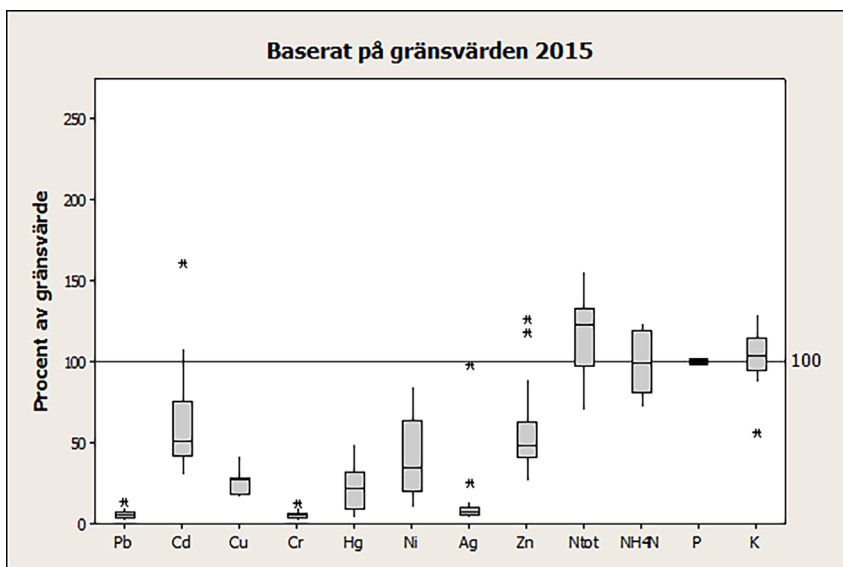
* Tidigare föreslogs även tenn vara en reglerad metall, men har strukits i förslaget från Naturvårdsverket (2013).

Medianvärdena för bly, koppar, krom och silver ligger alla under 20 % av föreslaget gränsvärde, se Tabell 3.1. Enstaka prov kan dock överstiga föreslaget gränsvärde t.ex. zink i prov P2, se Tabell 3.1 och Figur 3.1. Detta beror på ett mätresultat som är ganska mycket högre än de övriga tre, fast de är tagna ur samma leverans från slamsugningsbilen.

I Figur 3.2 visas en boxplot över klosettvattnets kvalitet när den beskrivs som tillförsel av metaller till åkermark (g/ha) med klosettvattnet, i procent av föreslagna gränsvärden för avloppsfraktioner fr.o.m. 2015, vid en normaliserad giva på 22 kg P per ha. I Figur 3.2 visas även hur mycket växtnäring som tillförs med klosettvattnet, i procent av föreslagna gränsvärden för N-Tot 170 kg/ha och NH₄-N 150 kg/ha. Även om kalium inte är ett föreslaget gränsvärde för avloppsfraktioner, har en gräns på 50 kg/ha lagts in för kalium bara för att visa hur välbalanserat ett källsorterat klosettvattnet är ur växtnäringssynpunkt t.ex. till en spannmålsgröda.



Figur 3.1 Boxplot¹ för genomsnittliga metallhalter i klosettatten i procent av föreslagna gränsvärden (mg/kg P) för avloppsfraktioner framöver baserat på de sju proven i Tabell 3.1.



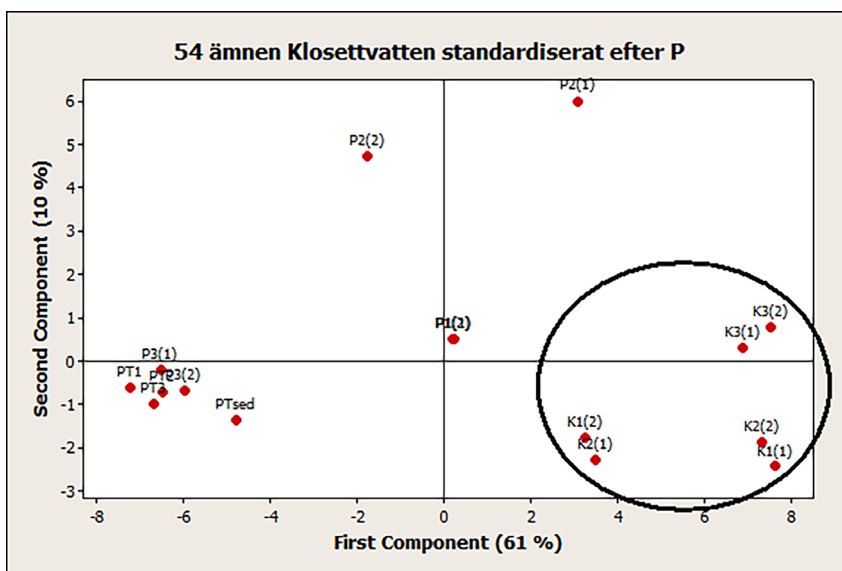
Figur 3.2 Genomsnittlig tillförsel av metaller med klosettatten, i procent av föreslagna gränsvärden (g/ha) för avloppsfraktioner framöver (Naturvårdsverket 2013). Denna är beräknad på en normaliserad tillförsel av maximalt tillåten medelgiva på 22 kg P per ha och år. Även tillförseln av N-Tot och $\text{NH}_4\text{-N}$ med klosettatten, i procent av gränsvärdena (kg/ha) för avloppsfraktioner, samt K har lagts in. Baserat på de sju provtagningarna av klosettatten.

¹ För att grafiskt visa spridningen i data har Tabell 3.1 kompletterats med en boxplot. Boxplottens streck i mitten av boxen är medianen (Q2). Boxens kanter ges av nedre kvartilen (Q1) och övre kvartilen (Q3). En observation markeras med * om avståndet till lådans kant är större än $1,5 \cdot \text{IR} = 1,5 \cdot (\text{Q3} - \text{Q1})$.

3.4 Jämförelse mellan klosettwaterprov från olika ursprung

En principalkomponentanalys (PCA) visar att det finns ett enskilt prov P2(1) som avviker i Figur 3.3 och det beror på att värdena från några spår-element var höga i detta prov, men inte i övriga tre prov från samma källa. I övrigt delar den första komponenten i PCA fastigheterna med permanentboende (prov P1, P2, P3, PT1, PT2, PT3 och PTsed) från de övriga med klosettwater från kolonier (prov K1, K2 och K3). Vi kan också se att båda proven P3(1) och P3(2) har kvalitetsmässiga likheter med PT1, PT2 och PT3.

Det är viktigt att poängtera att det är 54 variabler och bara 32 observationer och att det därför finns viss osäkerhet i resultaten. Ett enskilt högt eller lågt värde kan få ganska stor betydelse, men i just detta fall kommer fortfarande den första komponenten dela permanentboende mot kolonier även om man tar bort prov P2(1) med ett högt zinkvärde ur beräkningen i Figur 3.3.



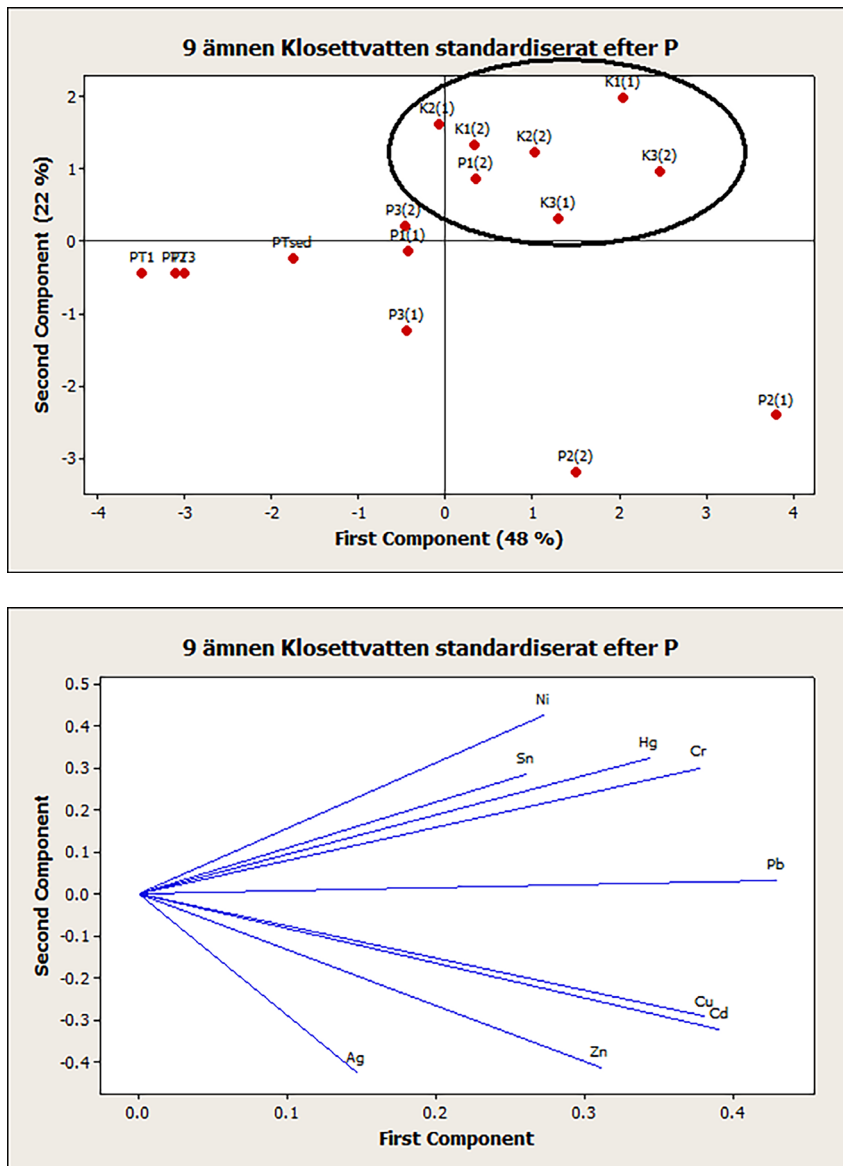
Figur 3.3 PCA på klosettwater med 54 ämnen visar att variationen mellan proven till stor del kan förklaras med en skillnad mellan ursprung- et permanentboende och kolonistugeområden, vilka har markerats med en ring i figuren. Dessutom går det att se att skillnaden inom en leverans av klosettwater från slamsugningsbilen är liten eftersom PT1, PT2 och PT3 ligger samlade. Den första komponenten i analysen förklarar 61 % av variationen i data.

3.5 Skillnader inom en leverans – manuell provtagning från slamsugningsbil

En principalkomponentanalys (PCA) visar att PT1, PT2 och PT3 ligger väl samlade, vilket innebär att spårmenthalterna i början, mitten respektive slutet av tömningen av bilen inte skiljer sig så mycket åt. Om proverna inte skakas eller rörs om före vidare behandling sedimenterar den fasta fasen i provbehållarna. Kvaliteten på den sedimenterade fasen (PTsed) skiljer sig

något från de inte sedimenterade proven PT1, PT2 och PT3, oavsett när man tagit ut prov under tömningen, se Figur 3.3.

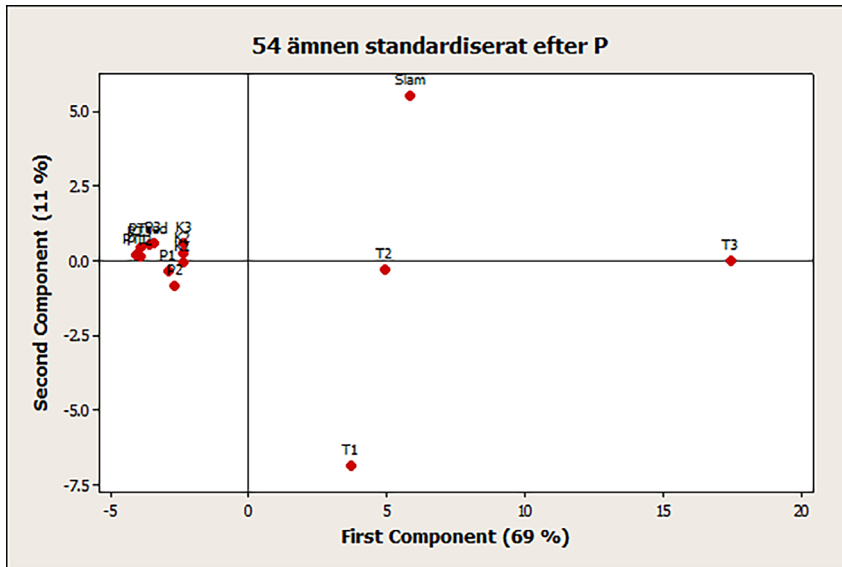
Vid en PCA med enbart de nio spårelementen i Tabell 3.1 blir figurerna lite mer okänsliga för enskilda värden eftersom det är fler observationer i förhållande till antalet variabler. Det går inte att se en lika tydlig skillnad mellan klosettproven som vid analys av samtliga 54 ämnen, se Figur 3.4. Det finns dock en klar tendens till att observationerna från koloniområden ligger tillsammans och detta påverkas inte av om man tar bort prov P2(1) (långt ner till höger i Figur 3.4).



Figur 3.4 PCA på klosettwater med 9 ämnen visar i den övre figuren att variationen kan förklaras av skillnaden mellan permanentboende och kolonistugeområden, även om den första komponenten här bara förklarar 48 % av variationen. Värdena från kolonistugeområdena är väl samlade i ellipsen även om ett prov från permanentboende också har hamnat där, framför allt på grund av ett relativt högt värde på nickel. Loadingplotten i den nedre figuren visar framför allt att värdena från PT1, PT2 och PT3 innehåller lite bly samt att prov P2 innehåller förhållandevis mycket koppar, kadmium och zink.

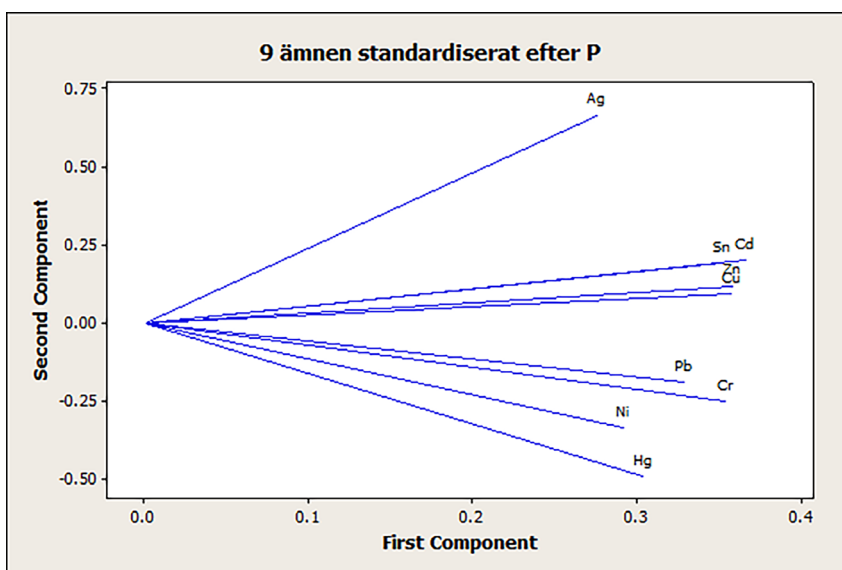
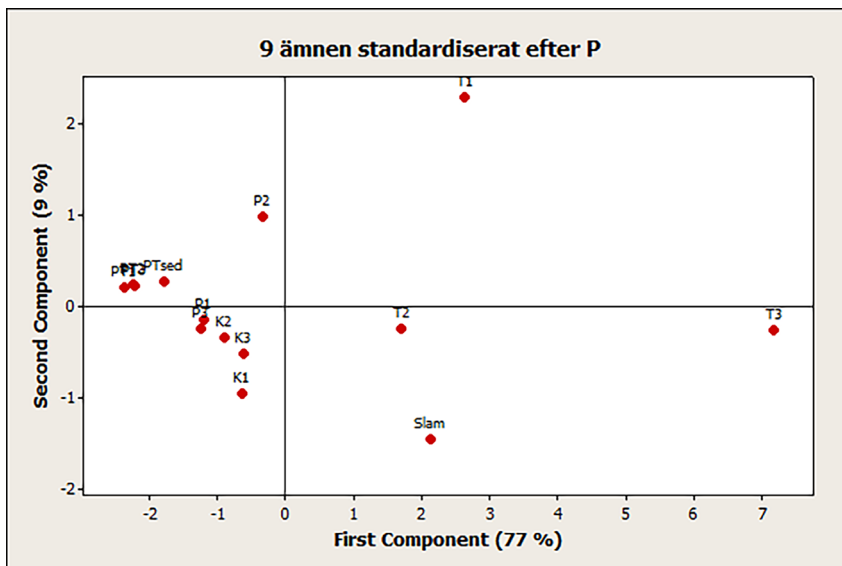
3.6 Skillnader mellan de olika avloppsfraktionerna klosettatten, avloppsslam och trekammarbrunnsslam

En PCA med både klosettatten, avlopps- och trekammarbrunnsslam visar att kvaliteten på dessa produkter skiljer sig åt mer än skillnaden i kvalitet mellan olika klosettattprov, se Figur 3.5. Kvalitetsskillnaderna är tydliga mellan trekammarbrunnsslam och avloppsslam, men även mellan olika trekammarbrunnsslam (T1, T2 och T3). Det är värt att tolka resultatet med viss försiktighet eftersom det är många variabler och relativt få observationer, speciellt vad gäller slam och trekammarbrunnsslam.



Figur 3.5 PCA på klosettatten, trekammarbrunnsslam och avloppsslam för 54 ämnen (medelvärde av samtliga observationer för varje prov).

Med enbart nio ämnen blir skillnaden mellan prov av klosettatten, trekammarbrunnsslam och avloppsslam fortfarande tydlig (Figur 3.6). Loading-plotten indikerar vilka ämnen som orsakar skillnaden mellan punkterna. Det är exempelvis så att provet på slam innehåller relativt mycket kvicksilver och prov T1 innehåller mycket silver.



Figur 3.6 PCA på klosettatten, trekammarbrunnsslam och avloppsslam för nio ämnen (medelvärde av samtliga observationer för varje prov).

3.7 Jämförelsebas, fosfor eller något annat ämne?

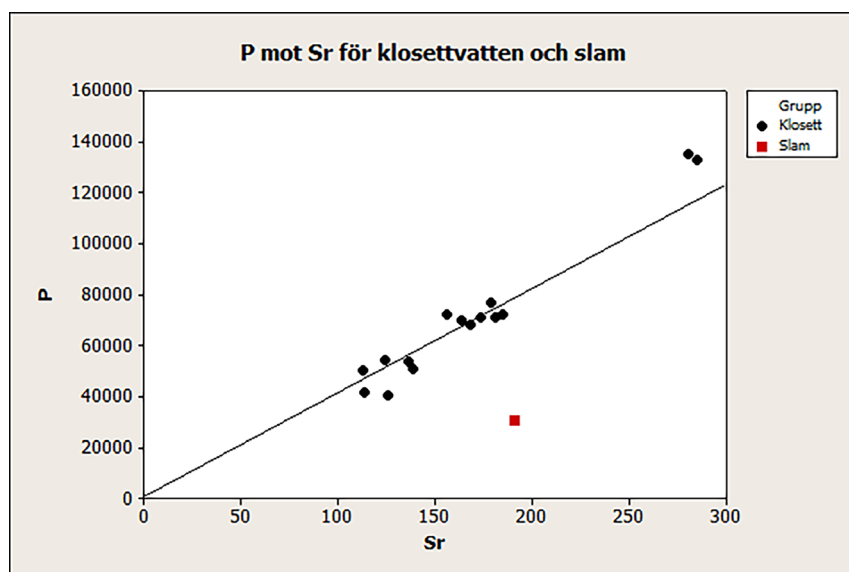
En förutsättning för att använda fosfor som jämförelsebas vid kvalitetsstudier av avloppsfraktioner i avloppssystem är att innehållet av fosfor inte förändras av yttre faktorer. Som en del av denna diskussion har vi tidigare föreslagit att t.ex. natrium eller kalium skulle provas som jämförelsebas parallellt med fosfor för att undersöka kvalitetsförändringar i större avloppssystem. Vi har dock i denna studie förkastat natrium och kalium till förmån för bor, magnesium och strontium som korrelerar bättre till fosfor i klosettatten.

Strontium korrelerar väl till fosfor när klosettattenprov jämförs med varandra. Korrelationen försämrans dock när klosettatten jämförs med avloppsslam, se Figur 3.7. Strontium skulle alltså kunna vara det konserver-

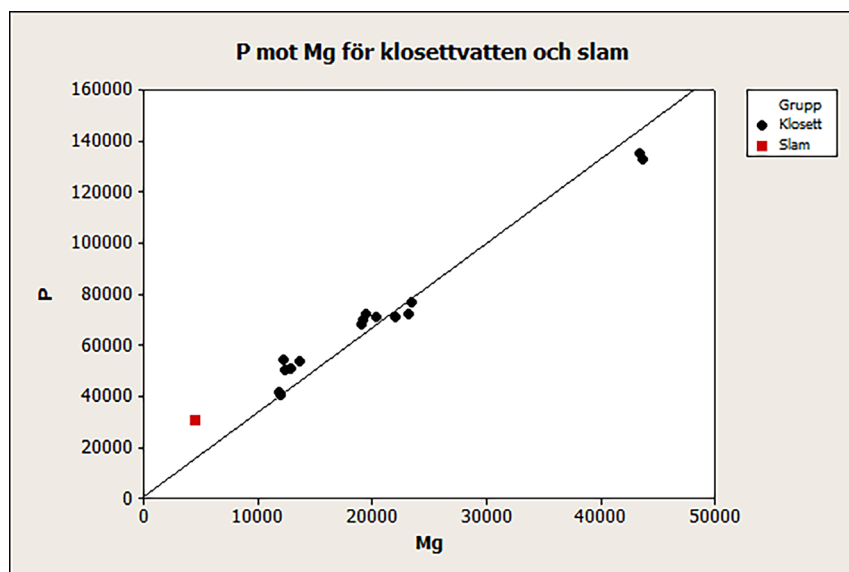
tiva ämnet, som en alternativ jämförelsebas parallellt med fosfor vid undersökning av kvalitetsförändringar i större avloppssystem.

Även magnesium och bor korrelerar väl till fosfor i våra mätningar i klosettvattnet, också när man tar med mätningen från avloppsslam, se Figur 3.8 och Figur 3.9. Magnesium och bor verkar därför vara exempel på ämnen som borde ge samma resultat som fosfor när de används som jämförelsebas.

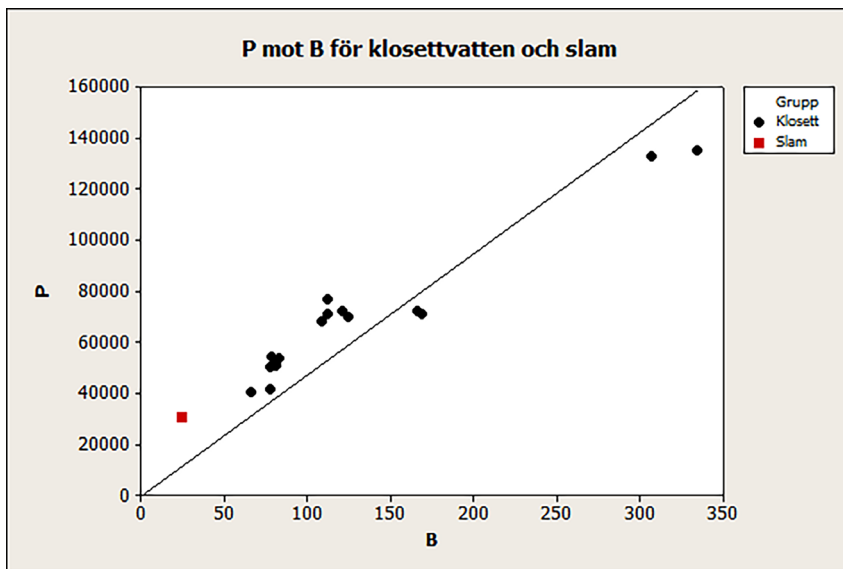
I alla tre jämförelserna mellan fosfor och strontium, magnesium eller bor finns osäkerheter i resultaten på grund av att resultaten är starkt beroende av ett prov med genomgående höga värden på fosfor, strontium, magnesium och bor. Vidare har endast ett prov på avloppsslam ingått i denna analys (se Figur 3.7, Figur 3.8 och Figur 3.9).



Figur 3.7 Fosforhalten i relation till halten strontium i klosettvattnet och avloppsslam.



Figur 3.8 Fosforhalten i relation till halten magnesium i klosettvattnet och avloppsslam.



Figur 3.9 Fosforhalten i relation till halten bor i klosettatten och avloppsslam.

4 Sammanfattande diskussion

I denna studie har klosettvattnets kvalitet definierats som ”halter av spårelement i relation till halt av fosfor (mg/kg P)” på samma sätt som i rapporten *Hållbar återföring av fosfor* (Naturvårdsverket 2013). Flera andra rapporter anger halter av spårelementen bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel, silver, zink och tenn i relation till fosfor i klosettvattnet. Detta anges antingen direkt eller kan beräknas som om det vore klosettvattnet, se bland annat Jönsson et al. (2005), Emilsson et al. (2005) och Johansson & Svensson (2012a). En sammanställning finns i Tabell 1.1.

Resultaten i denna huvudstudie av klosettvattnets kvalitet är baserade på sju prov från slutna avloppstankar, varav fyra klosettvattnetsprov kommer från enskilda avlopp vid permanentbostäder i Lunds kommun och tre från kolonistugeområden i Lund. De enskilda värdena för spårelementen bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel, silver, zink och tenn i relation till fosfor ligger något högre än värdena i Jönsson et al. (2005) och Emilsson et al. (2005). De ligger dock betydligt lägre, eller har jämförbara värden, jämfört med Naturvårdsverket (2013), se Tabell 1.1 och Tabell 3.1.

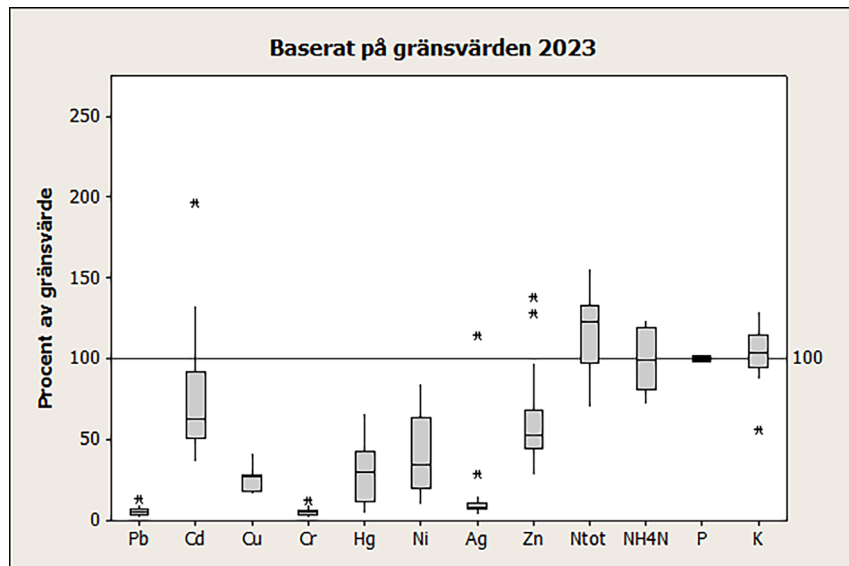
I denna studie ligger relationen mellan halterna av metaller och fosfor med mycket god marginal under föreslagna gränsvärden för avloppsfraktioner som enligt Naturvårdsverket (2013) föreslås gälla framöver. Vi har dock sett att enskilda observationer kan visa på kraftigt förhöjda metallhalter av t.ex. silver och zink, jämfört med halten av fosfor. Resultatet för alla analyserade spårelement i denna studie är samlat i Bilaga 2 och uttryckta som mg/kg P.

Om man överväger möjligheten att använda klosettvattnets kvalitet i denna begränsade studie som norm för framtida gränsvärden för avvattnat avloppsslam, indikerar studien att de av Naturvårdsverket (2013) föreslagna gränsvärden (mg/kg P) ligger högt för alla ämnen utom zink. Utgår vi från värdena för det enskilda spårelement i klosettvattnet och sätter gränsvärdet för avloppsfraktionen till 75 %-percentilen, så innebär det att de av Naturvårdsverket (2013) föreslagna gränsvärdena för avloppsfraktioner borde kunna sänkas rejält för bly, koppar och krom samt reduceras något för kvicksilver, nickel och silver.

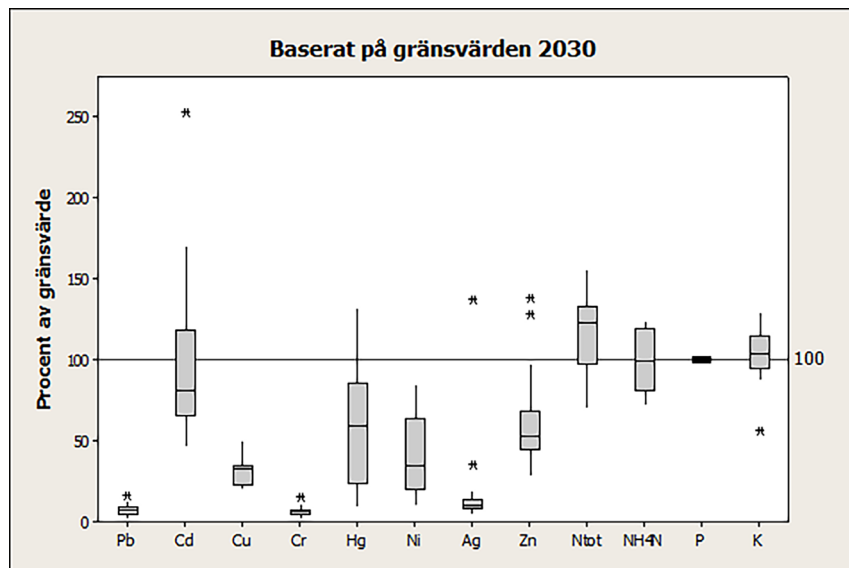
Klosettvattnets kvalitet kan även beskrivas som mängden tillförda spårelement (g/ha) till åkermark med klosettvattnet, vid en tillförsel av 22 kg P per ha. Naturvårdsverket (2013) föreslår sådana gränsvärden för avloppsfraktioner framöver och med skärpningar av gränsvärdena från 2023 och 2030.

Med de gränsvärden som föreslås gälla från 2015 klarar de prov som tagits på klosettvattnet i denna studie gränsvärdena med god marginal, när vi använder medianvärdena i studien, se Figur 3.2. Här visas även hur mycket växtnäring som tillförs med klosettvattnet till en spannmålsgröda, för att visa hur välbalanserat ett källsorterat klosettvattnet är ur växtnäringssynpunkt. Enskilda observationer på kadmium och zink hamnar dock över gränsvärdet (g/ha) vid en normaliserad tillförsel av 22 kg P per ha.

När klosettavattenproven från denna studie jämförs med föreslagna gränsvärden för tillförsel av metall till åkermark 2023 och 2030 visar det sig att enskilda observationer för flera metaller hamnar över gränsvärdet och att medianvärdet för kadmium hamnar på nivåer rejält över 50 % av gränsvärdet, se Figur 4.1 och Figur 4.2.



Figur 4.1 *Genomsnittlig tillförsel av metaller med klosettavatten, i procent av föreslagna gränsvärden (g/ha) för avloppsfraktioner (fr.o.m. 2023), beräknat på en normaliserad tillförsel av 22 kg P per h*



Figur 4.2 *Genomsnittlig tillförsel av metaller med klosettavatten, i procent av föreslagna gränsvärden (g/ha) för avloppsfraktioner (fr.o.m. 2030), beräknat på en normaliserad tillförsel av 22 kg P per ha.*

Med PCA-metoden har vi kunnat se en viss kvalitetsskillnad mellan klosettavatten från permanentboende och kolonistugeområden. Gemensamma toaletter som utnyttjas av många personer används inte på samma sätt som

toaletter med några få brukare, varför vi förväntade oss skillnader i klosettvattnets sammansättning. Analysen visade också att skillnaden i klosettvattnets kvalitet inte alltid är större mellan olika tankar än mellan dubbelprov från samma tank, framför allt om vi tittar på ett och samma ursprung t.ex. kolonistugeområden.

Med hjälp av PCA har denna studie visat på stora skillnader i sammansättning och kvalitet mellan klosettvattnet, avlopps- och trekammarbrunnsslam, men även mellan olika prov av trekammarbrunnsslam. Tillgången till analysresultat med avseende på 54 spårelement för de olika avloppsfraktionerna har varit begränsad. För att noggrannare kunna specificera kvaliteten och variationen i denna typ av material vore det intressant att göra ytterligare provtagningar och analyser på klosettvattnet, avvattnat avloppsslam och trekammarbrunnsslam från olika delar av Sverige.

Om PCA-analysen istället för 54 spårelement enbart omfattar nio metaller blir skillnaden i klosettvattnets kvalitet mellan olika prov mindre tydlig, men vi kan dock fortfarande se skillnader mellan de olika avloppsfraktionerna.

Prover som tas ut ur slamsugningsbilen är till synes heterogena, men vid en kvalitetsanalys av prov tagna vid olika tillfällen under en tömning visade det sig att kvalitetsskillnaderna inom samma leverans är relativt små. Det tyder på att den omrörning som sker i slamsugningsbilen i samband med fyllning, transport och tömning är tillräcklig för att proverna ska bli representativa för hela leveransen. Detta resultat är dock endast baserat på analys av en leverans. Vid denna undersökning kunde vi dock konstatera att det förekommer kvalitetsskillnader mellan ett prov och dess bottensats när provet tillåtits sedimentera i provburken. Det är därför viktigt att proverna skakas om noga innan provberedning och analys samt att man undviker att ta prov på den betydligt tjockare fraktionen som levereras från slamsugningsbilen i slutet av tömningsfasen.

Prover av klosettvattnet och trekammarbrunnsslam kan inte beredas och analyseras med samma metod som avvattnat avloppsslam med avseende på spårelement, då vattenhalten är alldeles för hög. Att torka in och analysera ett klosettvattnetsprov på samma sätt som avvattnat avloppsslam skulle innebära en alltför hög risk att provet kontamineras under behandlingen. Analys av klosettvattnet och trekammarbrunnsslam med litiumboratsmälta, som används för att analysera vissa av spårelementen i avvattnat avloppsslam, är inte praktiskt möjlig att tillämpa, eftersom vattenhalten är för hög i dessa avloppsfraktioner.

I de fall andra jämförelsebaser än fosfor önskas användas i kvalitetsanalyser av spårelement och växtnäring i avloppssystem, så konstaterades en hög korrelation mellan strontium och fosfor i klosettvattnet. Magnesium och bor korrelerar också väl med fosfor och ser ut att kunna ersätta eller användas parallellt med fosfor som jämförelsebaser vid kvalitetsanalyser av växtnäring och spårelement i avloppssystem. Vi har dock inte kunnat påvisa att magnesium, bor eller strontium skulle vara bättre än fosfor som jämförelsebas, eller hur olika sammansättningar på spolvattnet/dricksvattnet påverkar resultatet. Det finns också osäkerheter i dessa resultat dels på grund av att de är starkt beroende av ett prov med höga värden på fosfor, strontium,

magnesium samt bor. Det vore därför intressant att mer ingående jämföra korrelationen mellan fosfor, strontium, magnesium och bor i fler prov från klosettatten och avvattnat avloppsslam i ett efterföljande projekt.

5 Slutsatser

Baserat på denna begränsade studie omfattande sju prov på klosettwater från slutna tankar vid permanentbostäder och koloniområden i Lunds kommun, så kan följande slutsatser dras:

- När klosettwaterkvalitet definierats som halter av spårelement i relation till halt av fosfor (mg/kg P) så ligger värdena i denna studie, för de sju hitintills reglerande metallerna i avloppsslam, i en del fall lägre och i andra fall högre, jämfört med resultaten i andra studier.
- Relationen mellan halterna av metaller och fosfor (mg/kg P) i klosettwater ligger med mycket god marginal under föreslagna gränsvärden som föreslås gälla för avloppsfraktioner framöver. Förhöjda metallhalter av silver och zink jämfört med halten av fosfor har dock uppmätts i några enskilda observationer.
- Klosettwaterkvalitet kan även beskrivas som mängden tillförda spårelement (g/ha) till åkermark, vid en tillförsel av 22 kg P per ha med klosettwater. Med de gränsvärden som föreslås gälla framöver, så klarar klosettwater gränsvärdena med god marginal. Enskilda observationer på kadmium och zink kunde dock hamna över gränsvärdet vid en normaliserad tillförsel av 22 kg P per ha.
- När klosettwaterproven jämförs med föreslagna gränsvärden för tillförsel av metall (g/ha) till åkermark 2023 och 2030, visar det sig att enskilda observationer för flera av metaller hamnar över gränsvärdet och att medianvärdet för relationen mellan kadmium och fosfor hamnar på nivåer rejält över 50 % av gränsvärdet.

Referenser

Skriftliga

Almqvist, Helena, Andersson, Åsa, Jensen, Annika, Jönsson, Håkan (2007). *Sammansättning och flöden på BDT-vatten, urin, fekalier och fast organiskt avfall i Gebers*. SVU rapport 2007-05. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling.

ALS Scandinavia (2013). *Kvalitet*. Luleå: ALS Scandinavia. http://www.alsglobal.se/website/var/assets/media-se/pdf/kvalitet_2-9-2014.pdf

Delin, Sofia, Nyberg, Anna, Sarajodin, Jarmohammad (2014) *Fosforgödslingsseffekt av olika restprodukter*. Rapport 13. Uppsala: Institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet. http://pub.epsilon.slu.se/11052/7/delin_s_140319.pdf

Emilsson, Karin Book, Jensen, Petter D.J., Flatlandsmo, Arnstein, Greatorex, Jim, Hellström, Daniel, Magid, Jakob, Malmén, Linda, Palm, Ola, Santala, Erkki (2005). *Klosettvattnensystem – Nordisk inventering och förslag till FoU*. TemaNord 2006:503. Köpenhamn: Nordiska ministerrådet. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:702382/FULLTEXT01.pdf>

Eriksson, Jan (2001). *Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda*. SNV-rapport 5148. Stockholm: Naturvårdsverket. <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-6244-1.pdf>

Havs- och vattenmyndigheten (2013a). *Konsekvensanalyser av nya styrmedel för små avloppsanläggningar*. Rapport 2013-09-12. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.

Havs- och vattenmyndigheten (2013b). *Styrmedel för en hållbar åtgärdstakt av små avloppsanläggningar*. Rapport 2013-09-13. Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.

Hjelmqvist, Jane, Johansson, Mats, Tegelberg, Linda (2012). Återföring av näring från små avlopp. *En kunskapsammanställning om källsorterande avloppssystem för enskilda hus och samlad bebyggelse*. Urban Waters rapportserie 2012:1. CIT Urban Water Management AB. <https://www.havochvatten.se/download/18.13780b7613b461ffa9e1a1d/1355994868573/rapport-urban-water-2012-01-aterforing-av-naring-sma-avlopp.pdf>

Johansson, Christina, Svensson, Sven-Erik (2012a). *Halter av 60 spårelement i klosettwater för fastställande av klosettwaterkvalitet – Förstudie*. Rapport nr 2012-05. Stockholm: Svenskt Vatten Utveckling. http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2012-05

- Johansson, Christina, Svensson, Sven-Erik (2012b). *Analysmetoder för fastställande av 60 spårämnen i klosettvattnet*. LTJ-fakultetens faktablad 2012:23. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. http://pub.epsilon.slu.se/9114/8/Johansson_et_al_121002.pdf
- Jönsson, Håkan, Baky, Andras, Jeppsson, Ulf, Hellström, Daniel, Kärrman, Erik (2005). *Composition of urine, faeces, greywater and biowaste – for utilisation in the URWARE model*. Report 2005:6. Göteborg: Chalmers, Urban Water.
- Kemikalieinspektionen (2011). *Kadmiumhalten måste minska – för folkhälsans skull*. KEMI Rapport 1/11. Sundbyberg: Kemikalieinspektionen. http://www.kemi.se/Documents/Publikationer/Trycksaker/Rapporter/Kemi_Rapport_1_11.pdf
- Linderholm, Kersti, Mattsson, Jan Erik (2013). *Analys av fosforflöden i Sverige*. Rapport 2013:5. Alnarp: Institutionen för biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Naturvårdsverket (1995). *Vad innehåller avlopp från hushåll? Näring och metaller i urin och fekalier samt i disk-, tvätt-, bad- & duschvattnet*. Rapport 4425. Solna: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket (2010). *Uppdatering av "Aktionsplan för återföring av fosfor ur avlopp"*. Redovisning av regeringsuppdrag 21. Stockholm: Naturvårdsverket. http://www.naturvardsverket.se/upload/30_global_meny/02_aktuellt/yttranden/Sa_har_vill_vi_aterfora_mer_fosfor_till_kretsloppet/Uppdatering_av_Aktionsplan_for_aterforing_av_fosfor_ur_avlopp.pdf
- Naturvårdsverket (2013). *Hållbar återföring av fosfor: Naturvårdsverkets redovisning av ett uppdrag från regeringen*. Rapport 6580. Stockholm: Naturvårdsverket. <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6580-5.pdf>
- REVAQ (2014). *Regler för certifieringssystemet REVAQ Återvunnen växtnäring*. Utgåva 2.2.2 2014-01-01. Stockholm: Svenskt Vatten AB. http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/Avlopp%20och%20milj%C3%B6/REVAQ/REVAQ-regler_2014%20vit.pdf 2014-11-28
- Vinnerås, Björn (2002). *Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion*. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.

Muntliga

- Jönsson, Håkan (2014). Professor, SLU Uppsala.
- Omberg, Lars-Gunnar (2013). ALS Scandinavia, Luleå.

Bilagor

Bilaga 1. 60 spårelement enligt REVAQ:s certifiering

Av de 60 spårelementen som ingår i REVAQ:s certifiering av avloppsslam, Tabell 1a, så har alla ämnen förutom Indium (Nr 23) kunnat analyseras med de metoder som ALS Scandinavia speciellt utvecklat för analys av klosettavatten.

Tabell 1a De 60 spårelementen enligt REVAQ:s certifiering av avloppsslam

Nr	Spårelement	Förkortning	Nr	Spårelement	Förkortning
1	Arsenik	As	31	Neodym	Nd
2	Silver	Ag	32	Nickel	Ni
3	Guld	Au	33	Bly	Pb
4	Bor	B	34	Palladium	Pd
5	Barium	Ba	35	Praseodym	Pr
6	Beryllium	Be	36	Platina	Pt
7	Vismut	Bi	37	Rubidium	Rb
8	Kadmium	Cd	38	Rhenium	Re
9	Cerium	Ce	39	Rhodium	Rh
10	Kobolt	Co	40	Rutenium	Ru
11	Krom	Cr	41	Antimon	Sb
12	Cesium	Cs	42	Skandium	Sc
13	Koppar	Cu	43	Selen	Se
14	Dysprosium	Dy	44	Samarium	Sm
15	Erbium	Er	45	Tenn	Sn
16	Europium	Eu	46	Strontium	Sr
17	Gallium	Ga	47	Tantal	Ta
18	Gadolinium	Gd	48	Terbium	Tb
19	Germanium	Ge	49	Tellur	Te
20	Hafnium	Hf	50	Torium	Th
21	Kvicksilver	Hg	51	Titan	Ti
22	Holmium	Ho	52	Tallium	Tl
23	Indium	In	53	Thulium	Tm
24	Iridium	Ir	54	Uran	U
25	Lantan	La	55	Vanadin	V
26	Litium	Li	56	Volfram	W
27	Lutetium	Lu	57	Yttrium	Y
28	Mangan	Mn	58	Ytterbium	Yb
29	Molybden	Mo	59	Zink	Zn
30	Niob	Nb	60	Zirkonium	Zr

Ämnena 61–70 enligt REVAQ:s certifiering, Tabell 1b, har också analyserats inom detta projekt.

Tabell 1b Ämne 61–70 enligt REVAQ:s certifiering av avloppsslam

Ja/Nej	Nr	Spårelement	Förkortning
J	61	Aluminium	Al
J	62	Kalcium	Ca
J	63	Järn	Fe
J	64	Kalium	K
J	65	Magnesium	Mg
J	66	Mangan	Mn
J	67	Natrium	Na
J	68	Fosfor	P
J	69	Svavel	S
J	70	Kisel	Si

Bilaga 2. Kvalitet på klosettvattnen

Tabell 2a Kvalitet på klosettvattnen i jämförelse med avloppsslam och trekammarbrunnsslam (mg/kg P): silver (Ag), aluminium (Al), aluminium (Al), arsenik (As), guld (Au), bor (B), barium (Ba), beryllium (Be), vismut (Bi), brom (Br), kalcium (Ca), kadmium (Cd), cerium (Ce) och kobolt (Co)

Spårelement	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Ca	Cd	Ce	Co
REVAO nr	2	61	1	3	4	5	6	7	-	62	8	9	10
Klosettvattnen													
Medianvärde*	12	47 055	85	1,9	1735	1 973	2,0	4,8	2 330	1 358 446	13,9	23,0	25,1
Avloppsslam													
Årsmedelvärde 2012	88	462 295	157	10,8	810	10 787		189		855 738	36	364	83
Studie provtagning från bil													
Klosettvattnen PT1	5,5	6 322	59,1	0,3	1 601	1 682	0,3	5,9	2 438	929 586	7,4	5,9	12,6
Klosettvattnen PT2	6,7	8 700	64,5	0,5	1 582	1 766	0,3	10,8	2 041	946 672	8,5	8,5	12,7
Klosettvattnen PT3	7,5	9 606	55,1	0,6	1 460	1 591	0,3	9,8	1 803	901 487	7,9	8,6	13,3
Klosettvattnen PTsed	9,8	15 686	49,0	0,8	1 324	1 783	0,7	14,0	1 657	917 229	11,5	17,4	14,4
Trekammarbrunnsslam													
Trekslam T1	260	539 753	126	17,5	1 634	13 020	4,6	1 031	30 447	3 607 556	46	158	133
Trekslam T2	25	1 024 461	84	13,0	2 584	7 311	8,5	165	1 891	2 600 920	35	413	80
Trekslam T3	144	1 483 515	207	21,3	1 819	14 318	27,0	187	1 320	3 006 112	64	1 224	220

*Median av proven P1, P2, P3, K1, K2, K3, PT123.

Tabell 2b Kvalitet på klosettvattnen i jämförelse med avloppsslam och trekammarbrunnsslam (mg/kg P): krom (Cr), cesium (Cs), koppar (Cu), dysprosium (Dy), erbium (Er), europium (Eu), järn (Fe), gallium (Ga), gadolinium (Gd), hafnium (Hf), kvicksilver (Hg), holmium (Ho), jod (I), iridium (Ir) och kalium (K)

Spårelement	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	I	Ir	K
REVAO nr	11	12	13	14	15	16	63	17	18	19	20	21	22	-	24	64
Klosettvattnen																
Medianvärde*	97,2	9,9	3 713	1,5	0,8	0,3	22 888	11,7	1,5	1,1	1,0	9,2	0,2	551,6	0,00	2 345 455
Avloppsslam																
Årsmedelvärde 2012	1 003	16,9	11 344	18,5	12,2	1 747 541	114	25	25	37	39	39	4,1			102 295
Studie provtagning från bil																
Klosettvattnen PT1	25,5	5,9	2 284	0,4	0,2	0,1	9 722	1,7	0,6	0,4	0,3	1,4	0,1	414,2	0,00	2 349 057
Klosettvattnen PT2	26,6	6,3	2 436	0,5	0,3	0,2	12 542	2,5	0,5	0,1	0,2	1,3	0,1	424,5	0,00	2 279 151
Klosettvattnen PT3	28,8	5,8	2 538	0,4	0,4	0,2	11 566	2,1	0,7	0,7	0,2	2,1	0,1	378,3	0,02	1 983 967
Klosettvattnen PTsed	48,2	5,5	3 015	0,8	0,5	0,2	16 949	3,8	1,0	0,4	0,4	3,8	0,3	325,4	0,02	1 658 052
Trekammarbrunnsslam																
Trekslam T1	482	9,3	24 487	8,5	4,4	1,1	269 930	80,2	9,6	3,1	31,2	10,3	1,5	432	0,00	1 075 060
Trekslam T2	402	15,0	28 660	23,0	13,2	5,3	182 928	165,3	29,1	21,3	10,6	10,8	4,4	703	0,02	729 439
Trekslam T3	1 258	42,3	56 598	67,1	38,9	16,4	514 052	271,2	78,3	16,4	15,8	34,9	12,7	475	0,01	742 748

*Median av proven P1, P2, P3, K1, K2, K3, PT123.

Tabell 2c Kvalitet på klosettavatten i jämförelse med avloppsslam och trekammarbrunnsslam (mg/kg P): lantan (La), litium (Li), lutetium (Lu), mangan (Mg), mangan (Mn), molybden (Mo), Natrium (Na), niob (Nb), neodym (Nd), nickel (Ni), osmium (Os), fosfor (P), bly (Pb), palladium (Pd), praseodym (Pr), platina (Pt) och rubidium (Rb)

Spårelement	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Nd	Ni	Os	P	Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	
REVAQ nr	25	26	27	65	28/66	29	67	30	31	32	-	68	33	34	35	36	37	
Klosettavatten																		
Medianvärde*	12,3	64,6	0,2	290 443	2 966	161	2 030 535	3,3	10,1	495	0,01	1 000 000	70,1	0,9	2,7	0,2	1 825	
Avloppsslam																		
Årsmedelvärde 2012	214	117		149 180	5 443	186	3 1279	65	127	633		1 000 000	833		36		407	
Studie provtagning från bil																		
Klosettavatten PT1	3,6	83,3	0,1	279 959	1 961	104	2 537 005	1,0	3,0	110	0,00	1 000 000	20,1	0,2	0,6	0,1	1 740	
Klosettavatten PT2	5,1	94,4	0,1	287 113	2 168	108	2 450 562	1,3	3,0	139	0,01	1 000 000	25,5	0,3	1,1	0,2	1 723	
Klosettavatten PT3	4,7	78,4	0,1	304 256	2 335	114	2 236 183	1,3	3,6	125	0,01	1 000 000	24,6	0,3	0,9	0,1	1 583	
Klosettavatten PTsed	11,0	73,6	0,1	337 509	3 005	140	1 839 420	2,1	6,6	162	0,00	1 000 000	38,4	0,3	1,8	0,1	1 369	
Trekammarbrunnsslam																		
Trekslam T1	74	242	0,7	337 800	71 331	324	3 410 345	15	66	621	0,01	1 000 000	494	13,6	17	0	1 044	
Trekslam T2	225	293	1,8	286 857	8 153	218	1 467 681	35	196	510	0,01	1 000 000	1 985	4,4	51	0	970	
Trekslam T3	635	421	5,2	322 436	14 312	777	1 365 475	110	561	1 071	0,00	1 000 000	2 349	6,0	146	0	1 583	

*Median av proven P1, P2, P3, K1, K2, K3, PT123.

Tabell 2d Kvalitet på klosettavatten i jämförelse med avloppsslam och trekammarbrunnsslam (mg/kg P): rhenium (Re), rodium (Rh), rutenium (Ru), svavel (S), antimon (Sb), skandium (Sc), selen (Se), kisel (Si), samarium (Sm), tenn (Sn), strontium (Sr), tantal (Ta), terbitium (Tb), tellur (Te), torium (Th) och titan (Ti)

Spårelement	Re	Rh	Ru	S	Sb	Sc	Se	Si	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Ti
REVAO nr	38	39	40	69	41	42	43	70	44	45	46	47	48	49	50	51
Klosettavatten																
Medianvärde*	0,1	0,2	0,01	502 464	5,7	2,4	57,6	186 405	2	518	2 413	0,6	0,3	0,1	3,7	1 424
Avloppsslam																
Årsmedelvärde 2012				306 557	46	39		1 177 049	24	616	6 262	5,0	3,6		42	34 098
Studie provtagning från bil																
Klosettavatten PT1	0,1	0,2	0,01	531 845	3,6	0,8	46,1	105 596	0,8	315	2 467	0,2	0,1	0,1	1,0	907
Klosettavatten PT2	0,1	0,2	0,02	524 864	3,8	1,5	26,4	109 240	0,7	370	2 451	0,3	0,1	0,1	1,4	788
Klosettavatten PT3	0,1	0,1	0,02	450 682	4,0	1,5	31,6	102 933	0,7	375	2 323	0,3	0,2	0,1	1,3	1 138
Klosettavatten PTsed	0,1	0,4	0,04	401 414	4,9	2,1	33,5	106 340	1,3	535	2 246	0,3	0,2	0,1	2,4	1 091
Trekammarbrunnsslam																
Trekslam T1	0,1	1,0	0,02	738 536	42	19	73,0	819 736	12	1 043	26 899	1,2	1,4	0,4	20	6 325
Trekslam T2	0,1	1,0	0,01	424 620	209	38	1 024,3	1 074 263	35	682	12 162	2,4	3,7	0,7	46	10 906
Trekslam T3	0,1	1,6	0,01	732 745	62	120	161,0	2 394 004	99	1 494	10 891	7,1	11,1	0,6	133	30 296

*Median av proven P1, P2, P3, K1, K2, K3, PT123.

Tabell 2e Kvalitet på klosettavatten i jämförelse med avloppsslam och trekammarbrunnsslam (mg/kg P): tallium (Tl), tulium (Tl), tulium (Tm), uran (U), volfram (W), vanadin (V), ytterbium (Yb), zink (Zn) och zirkonium (Zr). Total kvävehalt (N-tot), ammoniumkväve (NH₄-N), torrsubstans (ts) och pH

Spår	TI	Tm	U	W	V	Y	Yb	Zn	Zr	N-tot	NH ₄ -N	ts (%)	pH
REVAO nr	52	53	54	56	55	57	58	59	60				
Klosettavatten													
Medianvärde*	1,4	0,1	17,8	7,2	43,8	8,1	1,2	14 178	76,5	9 420 000	6 152 000	0,3	7,0
Avloppsslam													
Årsmedelvärde 2012	4,1		116	153	584	116	13,7	21 967	1 321	1 654 000	477 000	23,8	7,8
Studie provtagning från bil													
Klosettavatten PT1	1,0	0,0	26,7	2,3	11,9	2,2	0,3	7 145	11,2	10 016 000	7 637 000	0,2	7,4
Klosettavatten PT2	1,2	0,1	28,0	2,9	13,4	2,8	0,4	8 438	14,6	7 527 000	7 485 000	0,2	7,4
Klosettavatten PT3	1,1	0,0	27,6	2,5	15,6	2,9	0,5	8 925	16,1	6 954 000	6 747 000	0,2	7,3
Klosettavatten PTsed	1,4	0,1	31,8	3,9	20,6	4,9	0,5	11 454	25,7	7 218 000	5 657 000	1,0	6,1
Trekammarbrunnsslam													
Trekslam T1	4,8	0,6	47	24,6	183	48	4,7	34 227	2 816	4 508 000	3 066 000	0,32	6,8
Trekslam T2	5,1	1,7	101	19,5	350	132	13,8	35 205	858	3 547 000	2 164 000	0,51	6,2
Trekslam T3	14,3	5,1	181	885	52,7	387	37,0	71 396	1 168	3 234 000	1 572 000	0,90	6,0

*Median av proven P1, P2, P3, K1, K2, K3, PT123.



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se