

## AP 5 – Delarbetspaket 3. Näringsåtervinning ur klosettavatten (LTH)

---

### Sammanfattning:

Detta arbete var en del av Vinnova-projektet ”mat i cirkulära robusta system (MACRO)”. Arbetet i detta PM syftade till att undersöka effektiviteten av att tillsätta Zeopeat till avloppsvatten i avseende att extrahera näringsämnen fosfor och kväve.

Resultaten visade att vid behandling av röt-kammareffluent från en UASB erhöles upp till 97 % reduktion av totalfosfor redan vid låga (28 g/L) doser av Zeopeat. För kväve erhöles upp till 67 % reduktion av totalkväve vid den högsta testade dosen av Zeopeat (275 g/L). För både fosfor och kväve erhöles ett tydligt förhållande mellan tillsatt dos Zeopeat och extraherad mängd näringsämnen.

Vid behandling av Aquatronseparerat klosettavatten från enskilt avlopp erhöles upp till 93 % reduktion av totalfosfor redan vid låga (55 g/L) doser av Zeopeat. För kväve erhöles upp till 64 % reduktion av totalkväve vid den högsta testade dosen av Zeopeat (165 g/L). Resultaten för Aquatronvätska var dock inte lika entydiga som för röt-kammareffluent i avseende på förhållandet mellan tillsatt dos Zeopeat och mängd extraherade näringsämnen.

Således kan resultaten sammanfattas med att mycket låga doser av Zeopeat (28-55 g/L) räcker för att erhålla en mycket hög (95 %) reduktion av fosfor. För att erhålla en hög (över 50 %) extraktion av kväve krävs dock mycket större doser av Zeopeat (över 110 g/L). Ur ett optimeringsperspektiv bör dosen Zeopeat vara så låg som möjligt för att undvika onödiga transporter av de extraherade näringsämnen när de skall återföras till produktiv mark. I detta avseende bör det nämnas att mängden Zeopeat som åtgår för behandling i samtliga försök överskred mängden avloppsslam som bildas vid reningsverk per capita och år. Vidare har den extraherade Zeopeaten lägre koncentrationer av tungmetaller än avvattnat avloppsslam i avseende på samtliga analyserade metaller förutom bly. Koncentration av bly är hög då bly återfinns i det naturliga material (zeoliter och torv) som utgör fällningsmaterial.

Den största avsättningsmöjligheten för en näringsprodukt torde finnas i att med en låg dos Zeopeat (28-55 g/L) extrahera 95 % fosfor samt 20-25 % kväve. Denna Zeopeat skulle sedan vid behov hygieniseras (upphettning 70 °C under 60 minuter), blandas med torv och säljas som odlingsjord laddad med näringsämnen (Agains produktnamn för denna jord är Gainutri). Med de låga doserna produceras 500-1000 kg laddad Gainutri per capita och år. Om hög (80 %) kväveåterföring önskas krävs en hög dos Zeopeat (275 g/L) och produktionen blir då 5 000 kg laddad Gainutri per capita och år.

Detta PM har författats av:



Hamse Kjerstadius / Åsa Davidsson  
Inst. För Kemiteknik  
Lunds Tekniska Högskola

Stefan Bydén / Zsafia Ganrot  
Again AB  
Göteborg



## 1. Bakgrund

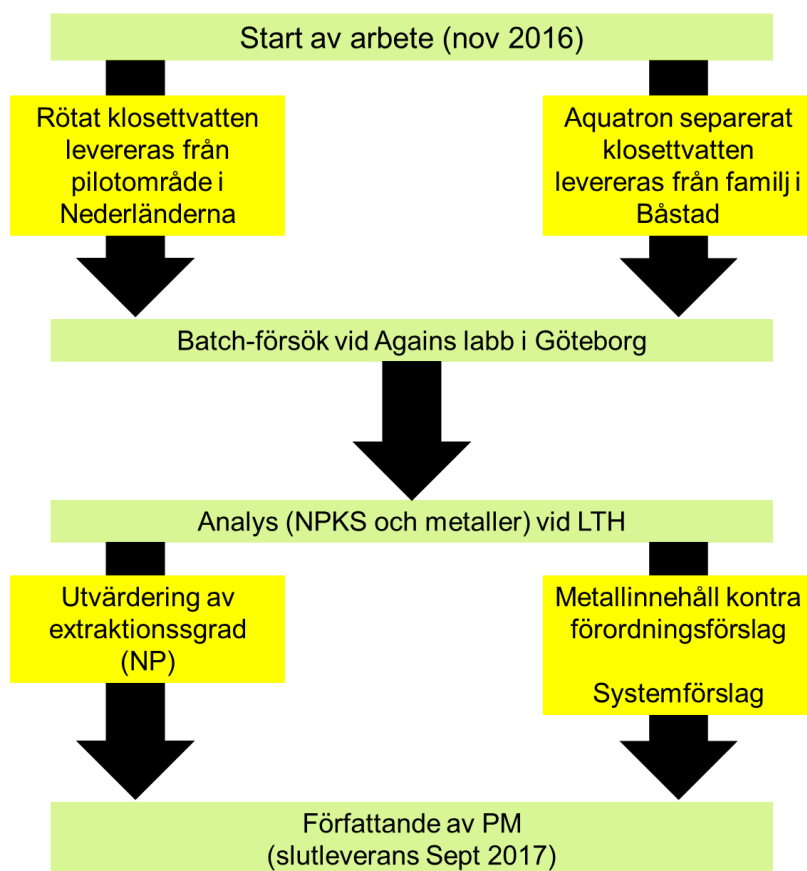
En underliggande utmaning för klosettvtattenhanteringen är utspädning av näringsämnen i spolvatten vilket innebär både logistiska utmaningar och problem vid spridning på åkermark. Företaget Again AB har utvecklat en teknik för extraktion av näringsämnen ur urin. Inom MACRO-projektet utvärderades om tekniken även har potential att tillämpas för klosettvtatten. Utvärdering skedde vid Agains labb i Göteborg och i samverkan med LTH. LTH utvärderade också hur den nya lösningen för utvinning av näring kan inlemmas i återföringskedjan som helhet.

## 2. Syfte och mål

Delarbetspaket syftade till att utvärdera om Agains befintliga teknik för extraktion av näringsämnen ur urin kan appliceras på rötat respektive centrifugerat klosettvtatten. Målet var att producera ett PM med analysresultat, slutsatser samt ett förslag till systemlösning med Agains teknik.

## 3. Metod

Arbetet bedrevs mellan november 2016 till september 2017. De praktiska försöken bestod av batchförsök med Agains fällningsteknik på två olika klosettvtatten. Proverna från dessa batchförsök analyserades för att generera resultat över koncentrationer av näringsämnen samt metaller. Resultaten utvärderades avseende på innehåll av metaller och näringsämnen jämfört med andra näringsfraktioner från avlopp. Vidare skapades ett förslag på processchema för Agains teknik. En schematisk skiss över arbetet återges i figur 1.



Figur 1 – Schematisk skiss över arbete inom delarbetspaketet: Näringsåtervinning ur klosettvtatten.

### **3.1 Agains fällningsteknik**

Agains tillsatsmedel Zeopeat är ett tillsatsmedel som används för att extrahera näringsämnen ur avloppsvatten. Zeopeat består av cirka 10 delar zeolit och 1 del magnesiumladdad torv. Detta tillsatsmedel fångar fosfor, ammonium-kväve och kalium. Urean från urinet måste alltså först omvandlas till ammonium, en process som sker naturligt eller i en röt-kammare. Behandling med Zeopeat sker batchvis i en reaktor och en batch tar cirka en timme. Vätskan filtreras och slutprodukten blir en avrunnen våt massa med ca 50 % TS-halt. Fosfor faller ut som struvit med hjälp av magnesiumjoner. På detta sätt fångas runt 98 % av fosfor. Ammonium och kalium fångas genom jonbyte med zeoliter. Agains teknik fångar upp till 70 % av ammonium och kalium beroende på applicerad dos av Zeopeat. Genom att produkten är ett ”slow-release”-gödningsmedel minskar näringsförlusterna vid applikation i jordbruk.

Basen i Zeopeat är 10 delar zeolit och en del magnesiumladdad torv. Båda dessa material bryts ur jordskorpan. Både zeolit och torv återskapas dock genom långsamma processer.

Naturliga zeoliter är en bergartsfamilj med ursprung i vulkanisk aska. Det finns cirka 70 olika sorters zeolit, varav 2–3 sorter dominerar stort. Zeoliter skapades och skapas över hela världen men har i områden med nedisning eroderats bort, som i Skandinavien och Östra Nordamerika. Zeoliter används för kommersiella, industriella, medicinska och vetenskapliga ändamål. Idag bryts ca 2,8-3,3 miljoner ton per år och United States Geological Survey uppskattar reserverna som mycket stora.

Torv är en jordart som bildats av ackumulation av växtrester vars nedbrytningsprocess kraftigt har hämmats genom sura eller syrefria förhållanden. 15 % av Sveriges yta utgörs av torvmarker med en årlig tillväxt om 1 mm. På 447 435 km<sup>2</sup> torvmark ger detta en ökad torvmängd med 447 km<sup>2</sup> om året. Den totala skörden är bara 1 % av den årliga tillväxten vilket ger utrymme för ett något ökat uttag.

### **3.2 Avloppsvatten**

Två avloppsvatten utvärderades. Det första avloppsvattnet var rötat klosett-vatten och matavfall (hädanefter kallat Röt-kammarväska) från pilotanläggningen Sneek Noorderhoek i Nederländerna vilken beskrivs i Kärrman et al. (2017). Det andra avloppsvattnet var aquatron-separerat klosett-vatten (hädanefter kallat Aquatronväska) från ett enfamiljshus utanför Båstad. Dessa två avloppsvatten var representativa för ett urbant system med källsorterande avlopp (Sneek) respektive ett enskilt avlopp (Båstad) med källsorterande system.

Prover från Sneek togs ut i 25L behållare och skickades med lastbil till Agains labb i Göteborg. Proverna togs från effluentvätskan på UASB-reaktor som behandlar matavfall och klosett-vatten. UASB-reaktorn separerar fast material varför effluentvätskan har en mycket låg (180 mg SS/L) suspensjon.

Prover från enskilt avlopp togs ut från en anläggning för enskilt avlopp som behandlar avloppet från en familj på 2 personer i Dagshög utanför Båstad. Anläggningen på Dagshög består av en Aquatron som separerar svartvattnets fasta fas från vätskefasen. Vätskefasen går till ett ammonifieringskärl där vätskan tas in i toppen och tas ut i botten av tanken. Uppehållstiden är cirka fyra dygn. Den utmatade vätskan samlades på 25-litersdunkar för transport upp till Agains verkstad i Göteborg.

Prover förvarades i rumstemperatur (på grund av brist på plats i kylrum) inför analys. Förvaring i rumstemperatur bedöms dock inte ha påverkat analysen väsentligt. Detta då det rötade vattnet från Sneek redan var kraftigt mineraliserat och det mikrobiellt nedbrytbara materialet var utrotat och avloppsvattnet från Båstad hade behandlats med Aquatron-separation varpå majoriteten av det organiska materialet redan hade avskilts. Provtagning skedde i två omgångar.

### 3.3 Batchförsök

Tre provomgångar utfördes (sammanfattas i tabell 1). I de första försöken (provomgång 1) gjordes försöken i Agains produktionsreaktor med körvolymen på 20 l. För att kunna köra dubbelprov gjordes de senare försöken i två parallella testreaktorer med batcher om 4 l liter provvätska i varje. Försöken utfördes vid rumstemperatur (19–20 °C). Vid försöken justerades pH i vätskan med NaOH (vätska eller pellets). Efter pH-justering adderades Zeopeat under luftning. Sedan skedde intermittant luftning under en timme (för att hålla materialet väl blandat), varefter vattenfasen tappades ut och det fällna materialet avvattnades genom sedimentering. Prov togs dels före pH-höjning (nollprov) och efter körning på vätskefas och fast fas.

Tabell 1 – Data över batchförsöken.

	Volym Avloppsprov [l]	pH före NaOH	Mängd NaOH tillsatt	pH efter NaOH	Mängd Zeopeat [g]	pH efter extraktion
Provomgång 1 (mars)						
Rötkammarvätska	20 l	7,3	400ml	9,3	5 500 g	6,9
	20 l	7,0	90 g	10,0	5 500 g	8,5
	20 l	6,6	90 g	10,0	5 500 g	9,2
Aquatronvätska	20 l	7,0	30 g	9,9	5 500 g	9,6
	20 l	7,2	30 g	9,6	5 500 g	9,5
Provomgång 2 (maj)						
Rötkammarvätska	4 l	7,6	11 g	9,8	660 g	9,6
	4 l	7,6	11 g	9,8	660 g	9,4
	4 l	7,4	11 g	9,3	880 g	8,5
	4 l	7,4	11 g	9,3	880 g	8,6
	4 l	7,5	11 g	9,2	1100 g	8,3
	4 l	7,5	11 g	9,2	1100 g	9,0
Aquatronvätska	4 l	7,5	15 g	9,9	220 g	9,8
	4 l	7,5	15 g	9,9	220 g	9,8
	4 l	7,5	11 g	9,1	440 g	8,6
	4 l	7,5	11 g	9,1	440 g	8,6
	4 l	7,7	11 g	9,3	660 g	9,4
	4 l	7,7	11 g	9,3	660 g	8,8
Provomgång 3 (juni)						
Rötkammarvätska	4 l	7,6	11 g	9,6	110 g	9,5
	4 l	7,6	11 g	9,6	220 g	9,5
	4 l	7,5	11 g	9,6	330 g	9,3
	4 l	7,5	11 g	9,6	440 g	9,3
	4 l	7,5	11 g	9,6	550 g	9,1
	4 l	7,5	11 g	9,6	660 g	8,9

### 3.4 Analyser

Analyser av det obehandlade och behandlade avloppsproverna utfördes vid Lunds Universitet. Vattenprover analyserades vid institutionen för Kemiteknik (Lunds Tekniska Högskola) medan fasta prover analyserades vid Biologiska institutionen. Analyserna sammanfattas i tabell 2.

Vätskeproverna analyserades spektrofotometriskt med Dr. Lange DR 2800.

För de fasta proverna så uppslöts proverna med 10 ml HNO<sub>3</sub> och 10 ml H<sub>2</sub>O i en autoklav. Efter uppslutningen späddes proverna upp till 100 ml med H<sub>2</sub>O innan analys med ICP-OES, Optima 8300 från Perkin Elmer. Tot-N är analyserad med Vario Max CN från Elementar.

Tabell 2 – lista över analysmetoder.

Vattenprover			Fasta prover		
Parameter	Analysmetod – Dr. Lange	Enhet	Parameter	Analysmetod	Enhet
Tot-N	LCK 338	mg N/L	Tot-N	Vario Max CN	mg/g TS
NH <sub>4</sub> -N	LCK 302	mg N/L	NH <sub>4</sub> -N	-	-
Tot-P	LCK 350 LCK 349	mg P/L	Tot-P	ICP-OES	mg/g TS
PO <sub>4</sub> -P	LCK 350 LCK 349	mg P/L	PO <sub>4</sub> -P	-	-
COD	LCK 514	mg O <sub>2</sub> /L	COD	-	-
TSS/VSS	Standardmetod	mg /L	TS/VS	Standardmetod	% massa
Grundämnen (inkl. metaller)	ICP-OES	mg/g TS	Grundämnen (inkl. metaller)	ICP-OES	mg/g TS

## 4. Resultat och diskussion

Totalt utfördes tre provomgångar med Zeopeat (tabell 3). I provomgång 1-2 utfördes fällningstester på både Aquatronvätska och Rötkammarvätska, medan provomgång 3 endast använde rötkammarvätska. Nytt vatten till proverna hämtades enligt tabell 3. Som framgår tog det i vissa fall lång tid innan fällningstester utfördes på vätskan. Vidare utfördes provomgång 2 och 3 på samma vätskeprov, som således lagrades länge innan försöken i provomgång 3. Dock så anses inte detta ha påverkat kvalitén på analyserna nämnvärt eftersom näringsämnen kväve och fosfor i mycket hög grad (>95 %) var mineraliserade redan i de färska proverna. Detta är viktigt då Agains teknik är avsedd för mineraliserade näringsämnen (dvs. näringsämnen i jonform).

Tabell 3 - Datum för provhämtning, fällningstest och analys.

Aquatronvätska	Provhämtning	Fällningstest	Analys
Provomgång 1	7 mars	13 april	18 april
Provomgång 2	9 maj	18 maj	25 maj
Provomgång 3	-	-	-
Rötkammarvätska	Provhämtning	Fällningstest	Analys
Provomgång 1	7 mars	13 april	18 april
Provomgång 2	9 maj	18 maj	25 maj
Provomgång 3	9 maj	8 juni	17 juni

### 4.1 Resultat rötkammarvätska

Två typer av analysresultat är viktiga att beakta. För det första hur väl Agains metod kan minska koncentrationen av näringsämnen fosfor och kväve i avloppsvattnet. Detta avgör hur väl metoden kan appliceras för att nå utsläppskrav. För det andra är kvalitén på den fällda produkten i avseende på innehåll av tungmetaller viktigt för att bedöma produktens lämplighet att återinföras i en näringskedja. Vidare utfördes en beräkning av den totala mängden producerad material som behöver återbördas till odlings om Agains teknik skulle implementeras.

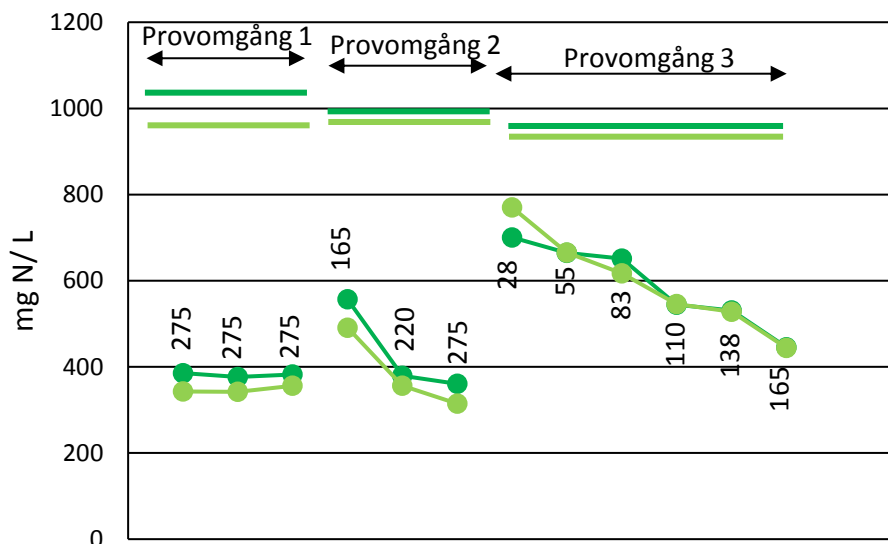
#### 4.1.2 Vattenfas - rötkammarvätska

Analysresultat för de tre provomgångarna återges i figur 2 och 3. Vid de två första provomgångarna användes höga doseringar med Zeopeat medan provomgång 3 testade betydligt lägre doseringar vilket framgår i figurerna.

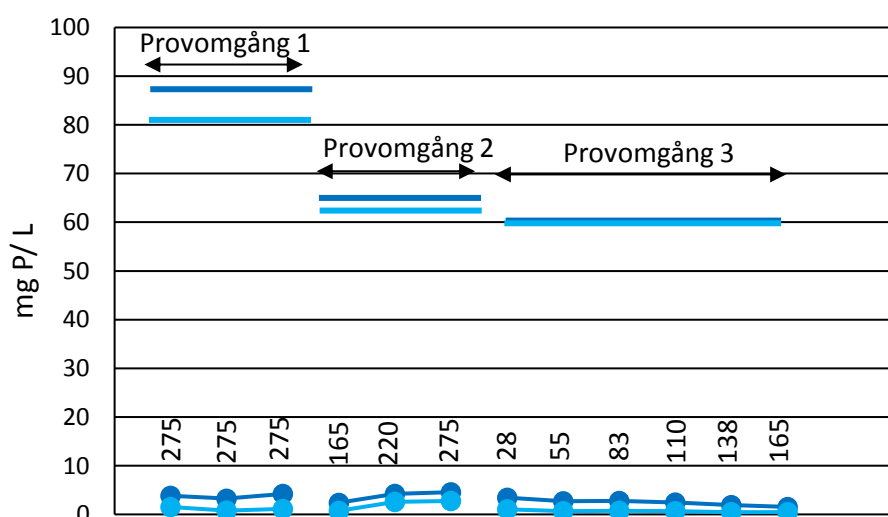
För kväve (figur 2) var koncentrationen omkring 1000 mg N/L innan fällning. Denna sänktes sedan genom fällning med 15-67% ned till 350-800 mg N/L. Denna reduktion är dock inte särskilt hög. Vidare användes väldigt mycket mer Zeopeat för de högre reduktionerna. För 15 % extraktion användes den lägsta dosen Zeopeat (28 g/L) medan en tio gånger högre dos (275 g/L) användes för 67 % extraktion. Effektiviteten per gram Zeopeat var således lägre vid högre doser, vilket diskuteras närmare nedan i detta avsnitt.

För fosfor (figur 3) var koncentrationen omkring 90 mg P/L i provomgång 1 medan den endast var strax under 70 mg P/L i provomgång 2 och 3. Oavsett startkoncentration så var tillsatsmedlet mycket effektivt i att reducera koncentrationen av fosfor i rötkammarvätskan. Redan den lägsta dosen av Zeopeat (28 g/L) gav en slutkoncentration på 3,4 mg Tot-P/L och 1,0 mg PO<sub>4</sub>-P/L. Denna sänktes sedan bara med väldigt lite, även vid försöken med högst dosering (275 g/L) av Zeopeat och nådde då 2,0 mg Tot-P/L respektive 0,5 mg

PO<sub>4</sub>-P/L. Således var tillsatsmedlet mycket effektivt i att reducera koncentrationen av fosfor.

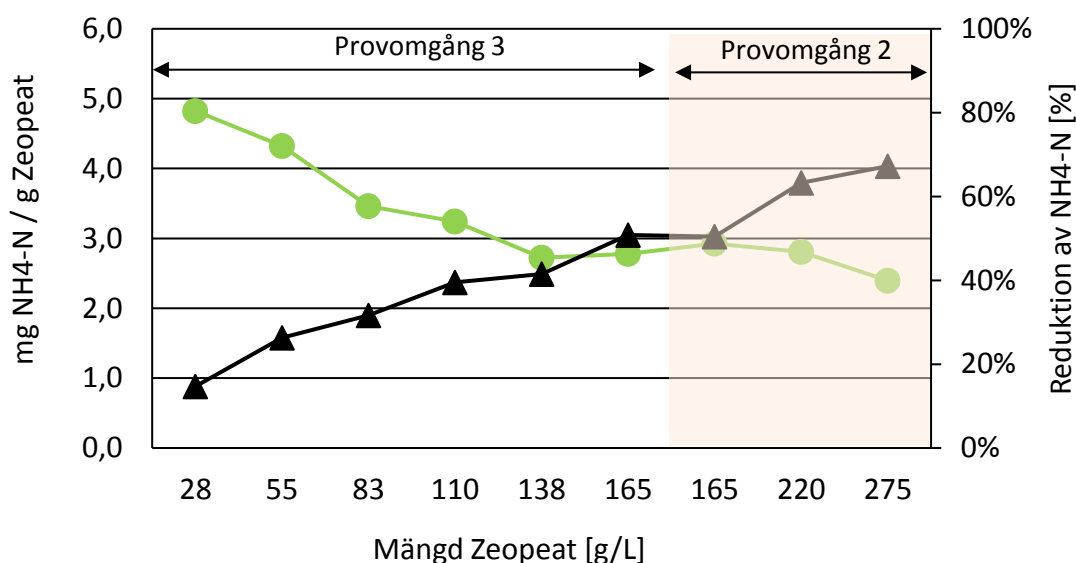


Figur 2 – Koncentrationer av total-*kväve* (mörkgröna cirklar) respektive ammonium-*kväve* (ljusgröna cirklar) vid varje provomgång. De heldragna linjerna är medelvärde på koncentration i vätska innan extraktion. Siffran under de lägre koncentrationerna (efter extraktion) visar doseringen med Zeopeat (g/L).



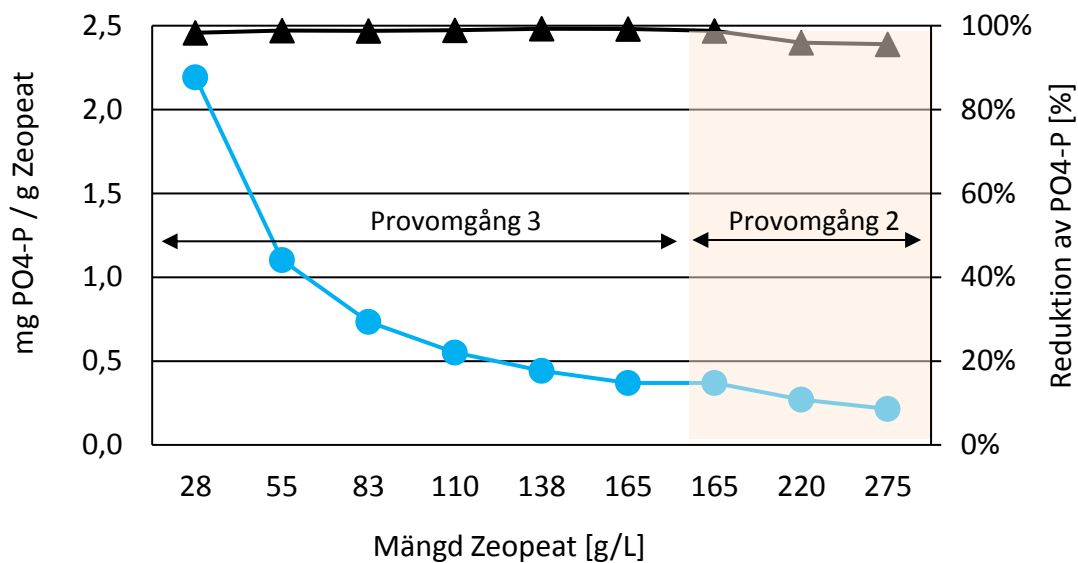
Figur 3 – Koncentrationer av total-*fosfor* (mörkblå cirklar) respektive fosfat (ljusblå cirklar) vid varje provomgång. De heldragna linjerna är medelvärde på koncentration i vätska innan extraktion. Siffran under de lägre koncentrationerna (efter extraktion) visar doseringen med Zeopeat (g/L).

Figur 4 visar extraktionseffekten på ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) ur rötksammarvätska beroende på använd mängd Zeopeat. Som framgår av figuren så ökar reduktion av ammoniumkväve (svarta trianglar) ju mer Zeopeat som används och 67 % reduktion av ammoniumkväve nås med den högsta dosen (275 g/L). Dock så minskar även effektiviteten per gram Zeopeat (gröna cirklar) ju större dos som används. Effektiviteten (gröna cirklar) är som högst, nästan 5 g N/g Zeopeat, vid den lägsta dosen (28 g/L) för att sedan sjunka ned till 2,5 g N/g Zeopeat för den högsta dosen (275 g/L) som utgör en tio gånger högre dosering av Zeopeat. Det går således åt 10 gånger så mycket Zeopeat för att gå från 15 % reduktion av ammoniumkväve upp till 67 % reduktion av ammoniumkväve. Det bör således kräva mycket Zeopeat för att extrahera en majoritet av ammoniumkvävet ur en rötksammarvätska.



Figur 4 – Mängd extraherat ammoniumkväve per gram Zeopeat (gröna cirklar), respektive motsvarande reduktion av ammoniumkväve i vätskefas vid samma försök (svarta trianglar). Data från försök på rötksammarvätska.

Samma undersökning sett till fosfatjoner i rötksammarvätska (Figur 5) visar ett helt annat mönster. Det framgår tydligt av figuren att reduktionen av fosfatjoner är mycket hög (>96%) vid samtliga doser av Zeopeat. Läsaren påminns om att tillsatsmedlet Zeopeat innehåller 10 delar zeolit (jonbyte med  $\text{NH}_4^+$  och  $\text{K}^+$  i vätskan) respektive 1 del magnesiumladdad torv (struvitfällning av  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Det är således endast mängden tillsatt torv som ger en extraktion av fosfat, och extraktionen av detta på rötksammarvätska är mycket hög även vid låga doser av Zeopeat. Vidare framgår av Figur 5 att effektiviteten (mg P/g Zeopeat) snabbt sjunker vid högre doser av Zeopeat. Då 98 % extraktion av fosfat nås även vid den lägsta dosen Zeopeat (28 g/L) är det således den önskade extraktionen av ammoniumkväve, och inte av fosfat, som avgör vilken dos med Zeopeat som bör användas.



Figur 5 – Mängd extraherat fosfat per gram Zeopeat (blå cirklar), respektive motsvarande reduktion av fosfat i vätskefas vid samma försök (svarta trianglar). Data från försök på röt-kammarvätska.

#### 4.1.3 Utsläppskrav vid avloppsrening

Agains teknik skulle potentiellt kunna användas för att nå utsläppskrav för avloppsrening. Koncentrationerna av kväve efter behandling är i dessa fall ett mycket större problem än koncentrationerna av fosfor. Sett till fosfor så ger även de lägsta doserna med tillsatsmedlet en koncentration på omkring 2,5 mg P/L. Utsläppskraven för fosfor kan tänkas ligga omkring 0,3-0,5 mg P/L vid avloppsreningsverk. Således kan dessa krav inte nås för röt-kammarvätskan. Man kan dock räkna med att källsorterat BDT-vatten tillkommer till flödet vilket ger en spädfaktor på omkring 10 gånger (10 L/capita/dag från vakuumtoaletter + köksavfallskvarn plus 90 L/capita/dag BDT-vatten). Således skulle en koncentration på 2,5 mg P/L i röt-kammarvätskan motsvara en koncentration på 0,25 mg P/L i effluenten, det vill säga under uppskattade utsläppskrav. Dessa resultat erhålls även vid de lägsta doseringarna med Zeopeat (28-83 g/L).

Utsläppskrav för kväve är betydligt mer problematiska. Dessa krav kan antas ligga omkring 10 mg N/L. Koncentrationerna efter fällning med Agains teknik låg mellan 350-800 mg N/L. Man kan dock räkna med att källsorterat BDT-vatten tillkommer även här vilket ger en spädfaktor på omkring 10 gånger. Således skulle det räcka att nå en koncentration på omkring 100 mg N/L med Agains teknik för att nå utsläppskraven (förutsatt att koncentrationen av kväve i renat BDT-vatten är försumbar). Således är dock den i försöken erhållna slutkoncentration (350-800 mg N/L) fortfarande för hög. Men med Agains teknik skulle man dock kunna ha ett subsekvent steg med enbart zeoliter för ytterligare minska kvävekoncentrationen. Sådana poleringsförsök utfördes under projektet slutskede och dessa visade att en reduktion upp till omkring 80 % tot-N verkar möjlig. Dock var dessa resultat preliminära och återges därför ej i detta PM. Det kan dock fastslås att viss möjlighet att nå utsläppskrav med Agains teknik verkar finnas, dock med en hög förbrukning av zeoliter.

#### **4.1.4 Fastfas - röt-kammarvätska**

Det fällda materialet har en TS-halt på omkring 50 %. Dess lämplighet som näringsprodukt bör utvärderas både i avseende på innehåll av näringsämnen, men även i avseende på innehåll av tungmetaller. I båda fallen kan jämförelse utföras mot dagens metod för näringsåtervinning från reningsverk (avloppsslam) respektive gentemot alternativ metod för näringsåtervinning (struvit). Detta har utförts i tabell 4. Det bör hållas i åminne att resultaten i denna studie endast bygger på analys av tre prover med fällt material från provomgång 1. Vidare var dosen Zeopeat vid denna omgång den högsta (275 g/L).

Som framgår av tabellen så har det fällda materialet i flera fall ett mycket lågt innehåll av metaller. I de flesta fallen (Cd, Cu, Cr, Ni, Zn) ligger halterna under dagens, samt av Naturvårdsverket framtida föreslagna, gränsvärden för tungmetaller i avloppsslam som avses återföras till jordbruk. Men för bly (Pb) ligger halten över de framtida föreslagna gränsvärdena. Det är intressant att se att majoriteten av metaller tycks härstamma från den tillsatta Zeopeaten, då denna har istort sett samma innehåll av metaller innan det har applicerats på avloppsvattnet. I jämförelse med avloppsslam har den fällda produkten lägre halter för samtliga metaller förutom Pb som är högre. I avseende på näringsämnen har det fällda materialet en mycket lägre koncentration av fosfor (290 mg P/kg TS) och kväve (3 400 mg N/kg TS) än avloppsslam (26 400 mg P/kg TS respektive 45 000 mg N/kg TS). Således har det fällda materialet inte bättre egenskaper i avseende på innehåll av näringsämnen än dagens avloppsslam. Det bör dock påpekas att resultaten är för den högsta dosen Zeopeat, således bör koncentrationen av näringsämnen stiga ju lägre doser av Zeopeat som används. Detta då effektiviteten sjönk vid högre doser Zeopeat (se figurer 4 och 5).

I jämförelse med alternativ process för extraktion av näringsämnen ur avlopp så inkluderas värden för struvit i tabell 4. Dessa värden är för struvit från rejektvatten från en röt-kammare vid Öresundsverket i Helsingborg. Det framgår att struvit i samtliga fall förutom kadmium (Cd) har ett lägre innehåll av tungmetaller än det fällda materialet. Vidare så har struvit dessutom en högre koncentration av fosfor och kväve. Det bör dock poängteras att mycket mer kväve kan extraheras med Zeopeat än med struvit, detta då struvit endast faller lika molandelar fosfor och kväve. Eftersom det finns omkring 10 gånger mer kväve än fosfor i avloppsvattnet i denna studie så skulle således endast en bråkdel av kvävet kunna fällas ut med struvit. Med zeolit kan man utvinna betydligt mer kväve vilket visats av resultaten i denna studie.

Tabell 4 – Halter av metaller och näringsämnen i utvalda fraktioner [mg / kg TS]. Data från provomgång 1.

	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Ag	Zn	P	N	K	S
<b>Gränsvärden för slam som skall återföras till jordbruk</b>												
Dagens gränsvärde slam <sup>2</sup>	100	2	600	100	2,5	50	-	800	-	-	-	-
Naturvårdsverkets förordningsförslag för år 2030 <sup>2</sup>	25	0,8	475	35	0,6	30	3	700	-	-	-	-
<b>Analysresultat i denna studie</b>												
Zeopeat (tillsatsmedel)	26	0,3	6	7	<1	9	-	22	150	9	11 300	10 700
Fällt material från Rötkammarvätska	34	0,4	6	7	-	12	-	26	290	3 400	13 300	1 200
<b>Referensmaterial</b>												
Svenskt avloppsslam <sup>1</sup>	19	0,9	348	24	0,5	16	n.d.	568	26 400	45 000		
Revaq-slam	16	0,67	312	30	0,48	15	1,6	493	-	-	-	-
Struvit från rejektvatten <sup>3</sup>	<2	<0,8	1,32	<0,4	<0,4	<0,4		2,81	125 000	56 000 <sup>4</sup>	-	-
Returine <sup>5</sup>	39	0,4	7	5	-	8	-	36	500	4 500	14 000	1 200

1) SCB, 2016. 2) Naturvårdsverket, 2013. 3) Ekobalans, 2013. 4) beräknat värde baserat på molratio 1:1 mellan P och N. 5) Returin är produkten som erhölls när Zeopeat används på källsorterad urin.

Vidare är det intressant att se till total massa av den fasta fasen. I tabell 5 nedan så återges beräkningar av uppskattad bildad massa för en behandling med Zeopeat jämfört med hur mycket avloppsslam som bildas per capita (SCB, 2016). Det framgår att mängden zeopeat som skulle kvarvara som extraherad fast fraktion efter behandling är 100-1 000 kg TS/capita/år eller 200-2 000 kg våtvikt/capita/år. Detta är avsevärt mer än mängden avloppsslam som bildas efter avvattning vid svenska reningsverk (>2000 pe) per år (25 kg TS/capita/år eller 125 kg våtvikt/capita/år). Således kan nyttjandet av Zeopeat endast vara rimligt ur en logistisk synvinkel om en god avsättning av den fällna produkten finns.

Tabell 5 – Beräknade massor av Zeopeat respektive avloppsslam per capita och år.

Zeopeat		Avvattnat avloppsslam (SCB, 2016)	
Volym klosettwater	10 L/capita/dag	Antal pe	8 049 753
		Ton TS avloppsslam	200 510
Min dos	28 g/L	kg/capita/år	25
kg TS/capita/år	102	Cirka TS-halt	20 %
Cirka TS-halt	50 %	kg våtvikt/capita /år	125
kg våtvikt/capita /år	204		
Max dos	275 g/L		
kg TS/capita/år	1004		
Cirka TS-halt	50 %		
kg våtvikt/capita /år	2008		

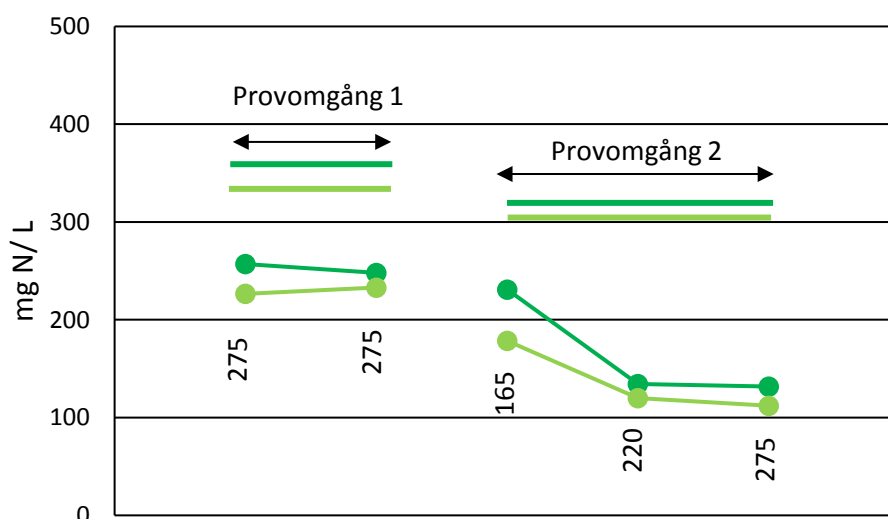
## 4.2 Resultat Aquatronvätska

Analysen på denna fraktion avser främst en applikation för enskilda avlopp. För enskilda avlopp kan en Aquatron användas för att separera en fastfas från en vätskefas. Vätskefasen kan sedan fällas med Agains Zeopeat för att sänka koncentrationerna av kväve och fosfor. Eftersom en aquatron måste användas på färskt avloppsvatten (för att fast material skall separera ordentligt) behöver aquatron installeras i nära anslutning till toalett. Eftersom analyserna på denna fraktion endast tjänar till att avgöra produktens lämplighet för enskilda avlopp är resultat och diskussionsdelen mer kortfattad än motsvarande delar för röt-kammarvätska.

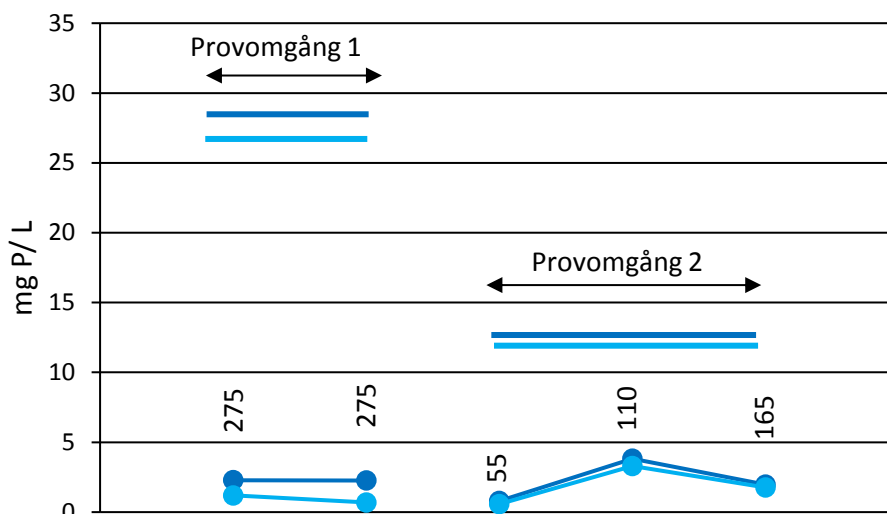
### 4.2.1 Vattenfas - Aquatronvätska

Ursprungskoncentrationerna av både kväve och fosfor var lägre i Aquatronvätskan jämfört med Röt-kammarvätskan, vilket framgår av figur 6 och 7. Här framgår att koncentrationen av kväve var omkring 300-350 mg N/L i Aquatronvätskan (1000 mg N/L i röt-kammarvätskan) respektive mellan 10-30 mg P/L (70-90 mg P/L i röt-kammarvätskan). Att koncentrationerna är lägre i det Aquatronseparerade avloppet är inte så oväntat då detta avlopp har vanliga WC-toaletter medan röt-kammarvätskan innehåller klosett-vatten från vakuumtoaletter och kvarnat matavfall.

Angående reduktionen av fosfor så ser man att denna är mellan 68-93% (Figur 7) och reduktionen av kväve är mellan 24-60 % (Figur 6). Jämfört med kraven på rening i enskilda avlopp så är detta goda resultat. Befintliga krav på enskilda avlopp med normal skyddsnivå sätter endast krav på (i avseende på växtnäringsämnen) reduktion av fosfor med 70 % (NFS, 2006). Kanske mest intressant är det dock att jämföra med kraven för hög skyddsnivå för recipientvatten där kravet är 90 % reduktion av fosfor respektive 50 % reduktion av kväve (NFS, 2006). Sett till kraven för både fosfor och kväve är det således möjligt att nå dessa genom en högre dosering med Zeopeat (220-275 g/L).

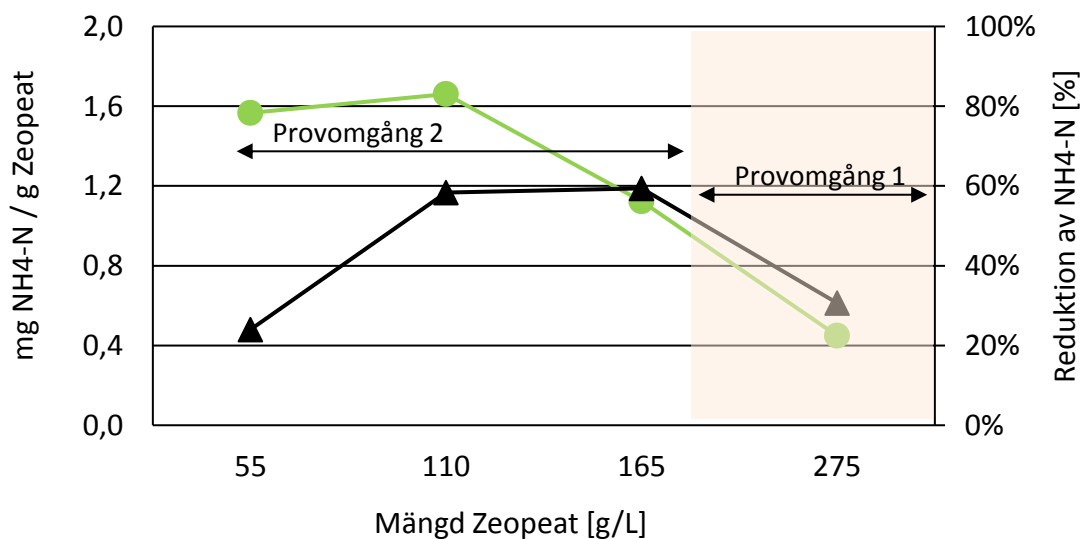


Figur 6 – Koncentrationer av total-kväve (mörkgröna cirklar) respektive ammonium-kväve (ljusgröna cirklar) vid varje provomgång. De heldragna linjerna är medelvärde på koncentration i vätska innan extraktion. Siffran under de lägre koncentrationerna (efter extraktion) visar doseringen med Zeopeat (g/L). Data från försök på Aquatronvätska.

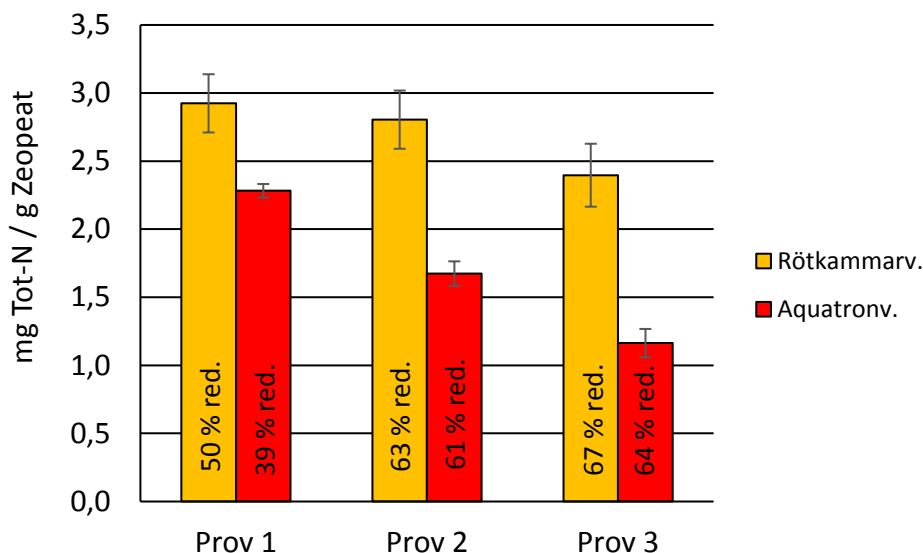


Figur 7 – Koncentrationer av total-fosfor (mörkblå cirklar) respektive fosfat (ljusblå cirklar) vid varje provomgång. De heldragna linjerna är medelvärde på koncentration i vätska innan extraktion. Siffran under de lägre koncentrationerna (efter extraktion) visar doseringen med Zeopeat (g/L). Data från försök på Aquatronvätska.

Figur 8 visar extraktionseffekten på ammoniumkväve ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) ur Aquatronvätska beroende på använd mängd Zeopeat. Till skillnad från liknande figur för röt-kammarvätska så finns här inget klart samband. För provomgång 1 så var både extraktion och effektivitet låg trots den höga dosen av Zeopeat (275 g/L). Effektiviteten var också lägre än för motsvarande tester på röt-kammarvätska vilket framgår av figur 9 nedan. Av någon anledning är tillsatsmedlet således effektivare på röt-kammarvätska. Detta trots att båda vätskorna har en mycket hög mineraliseringsgrad, med över 95 % av både fosfor och kväve i jonform. Det bör här påpekas att det enskilda avloppet som proverna togs ifrån endast har 2 personer boendes i hushållet. Således kan de enskilda proverna vara starkt påverkade av dagliga matvanor och liknande faktorer.

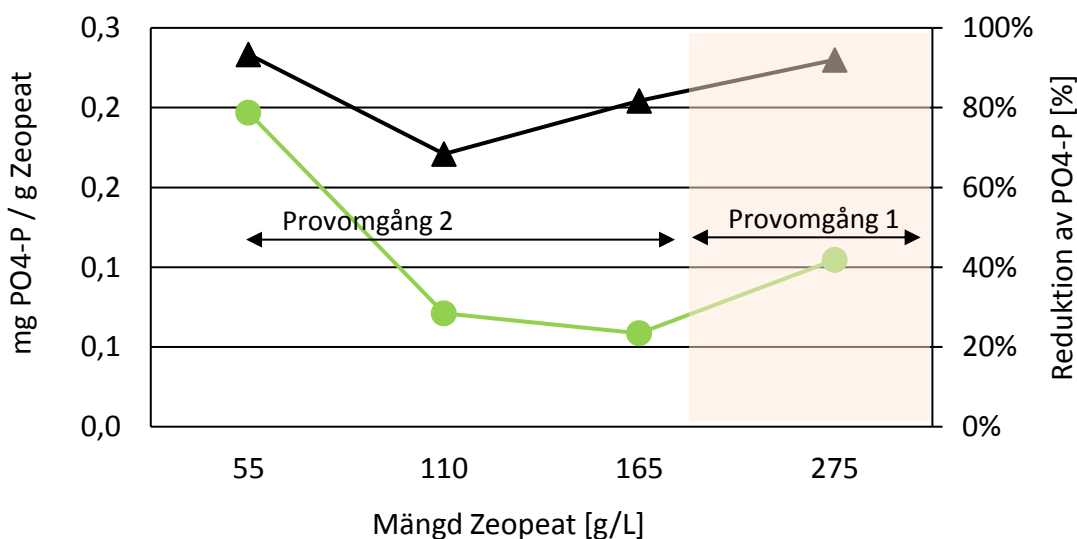


Figur 8 – Mängd extraherad ammoniumkväve per gram Zeopeat (gröna cirklar), respektive motsvarande reduktion av ammoniumkväve i vätskefas vid samma försök (svarta trianglar). Data från försök på Aquatronvätska.

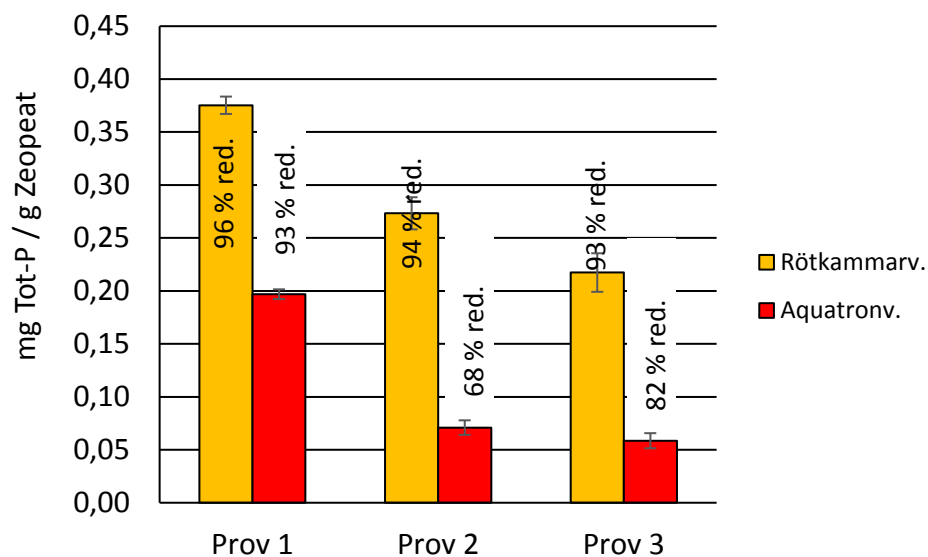


Figur 9 – Jämförelse av extraktionseffektivitet för kväve på röt-kammarvätska respektive Aquatronvätska. Resultaten är från provomgång 2.

Samma undersökning för fosfor (figur 10) visar extraktionseffekten på fosfat ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) ur Aquatronvätska beroende på använd mängd Zeopeat. Även här saknas ett tydligt samband liknande det som kunde ses för röt-kammarvätska. Dock bör det påminnas om att färre försök utfördes på Aquatronvätskan. Men ett mycket underligt resultat är att extraktionsgraden når så lågt som 68 % (för dosering med 110 g/L) medan denna aldrig var under 96 % för röt-kammarvätska, även vid så låga doseringar som 28 g/L. Analyserna visar att fosfor i hög grad fanns i jonform (fosfat) vilket skulle innebära att extraktionen borde vara lika effektiv på båda vätskorna. Även för fosfor var extraktionseffektiviteten lägre än för röt-kammarvätska vilket framgår av figur 11 nedan.



Figur 10 – Mängd extraherat fosfat per gram Zeopeat (blå cirklar), respektive motsvarande reduktion av fosfat i vätskefas vid samma försök (svarta trianglar). Data från försök på Aquatronvätska.



Figur 11 – Jämförelse av extraktionseffektivitet för fosfor på röt-kammarvätska respektive Aquatronvätska. Resultaten är från provomgång 2.

#### 4.2.2 Fastfas - Aquatronvätska

Fastfasen från aquatronvätska är till skillnad från rötksammarvätskan inte tänkt att återföras till jordbruksmark i stor skala. Detta då en behandling med Aquatron är tänkt för enskilda avlopp. Således bör det fällda materialet från Aquatronvätska endast ses som tillgänglig för återbruk av den privata ägaren av det enskilda avloppet.

För jämförelse kan innehållet av tungmetaller ändå jämföras med avloppsslam och det fällda materialet på rötksammarvätska. Detta utförs i tabell 6 nedan. Det bör hållas i åminne att resultaten i denna studie endast bygger på analys av tre prover med fällt material från provomgång 1. Vidare var dosen Zeopeat vid denna omgång den högsta som testades (275 g/L). Av tabell 6 framgår att fastfasen från aquatronvätska håller ungefär samma koncentration av metaller som det fällda materialet från rötksammarvätska. Båda de fällda produkterna innehåller lägre koncentration av tungmetaller än dagens avloppsslam, förutom koncentrationen för bly (Pb). Det bör dock påpekas att resultaten är för den högsta dosen Zeopeat, således bör koncentrationen av näringsämnen stiga ju lägre doser av Zeopeat som används. Detta då effektiviteten sjönk vid högre doser Zeopeat (se figurer 8 och 10).

Vidare är koncentrationerna ungefär jämförbara med metallinnehållet i Returin, en produkt som erhålls när Zeopeat används på källsorterad urin. Då analyserna på Returin har erhållits från en tidigare studie (Again, odaterad) talar de liknande resultaten för metallinnehåll som erhöles i detta PM för att resultat över metallanalyser stämmer. Huruvida en produkt med dessa metallhalter är lämpliga för eventuell odling av privatperson utvärderas ej i detta PM, men odlingsförsök med Returin har sammanfattats av Caspersen & Ganrot (2017).

Tabell 6 – Halter av metaller och näringsämnen i utvalda fraktioner [mg / kg TS]. Data från provomgång 1.

	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Ag	Zn	P	N	K	S
<b>Analysresultat i denna studie</b>												
Zeopeat (tillsatsmedel)	26	0,3	6	7	<1	9	-	22	150	9	11 300	10 700
Fällt material – Aquatronvätska	32	0,4	7	8	-	11	-	27	385	3 900	14 800	1 300
<b>Referensmaterial</b>												
Fällt material – Rötksammarvätska	34	0,4	6	7	-	12	-	26	290	3 400	13 300	1 200
Svenskt avloppsslam <sup>1</sup>	19	0,9	348	24	0,5	16	n.d.	568	26 400	45 000	-	-
Returine <sup>2</sup>	39	0,4	7	5	-	8	-	36	500	4 500	14 000	1 200

1) SCB, 2016. 2) Returin är produkten som erhålls när Zeopeat används på källsorterad urin.

## 5. Förslag till återförsl i näringskedja & processchema

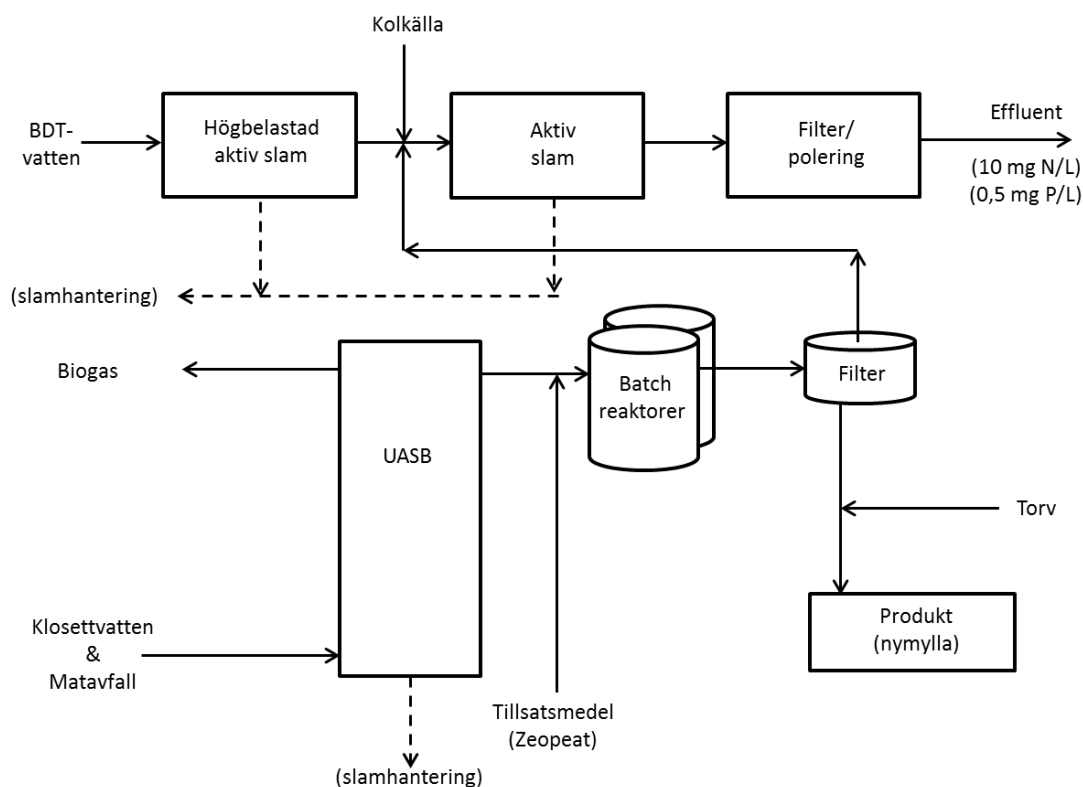
Diskussionen är fördelad på en rad underrubriker nedan.

### 5.5 Återförsl i näringskedja

I större skala kan fastfasen torkas, malas och granuleras eller pelleteras. Ett, troligen oftast, mer praktiskt sätt att hantera näringen lokalt är att ta den avrunna fastfasen och blanda det med fyra delar odlingsstov. Torven binder fukten i fällningen och blandningen blir direkt användningsbar men också lagringsbar. Den färdiga produkten (nymylla) fungerar således som odlingsjord med tillsatta näringsämnen. Nymylla är fritt från fröer och växtsjukdomar. Efter användningen i växthus eller stadsodling kan det begagnade odlingssubstratet användas som jordförbättringsmedel. Lagringen kan ske både öppen och säckad utan att odlingsblandningen ändrar egenskaper. Nymylla har använts för odlingsförsök vid Sveriges Lantbruksuniversitet Alnarp (Caspersen & Ganrot, 2017).

### 5.6 Förslag till processchema

Inom arbetet har ett förslag till processchema för behandling av källsorterat avlopp tagits fram. Detta processchema återges i figur 12 nedan och baseras i hög grad på det reningsverk för källsorterat avlopp som finns i Sneek Noorderhoek i Nederländerna (Kärman et al., 2017). Processförslaget i figur 12 bör uppskattningsvis klara utsläppskrav motsvarande 10 mg N/L och 0,5 mg P/L även om detta måste utvärderas praktiskt.



Figur 12 - Förslag till behandlingsschema med Agains teknik för näringsextraktion.

## 6. SLUTSATSER

Arbetet i detta PM syftade till att undersöka effektiviteten av att tillsätta Zeopeat till avloppsvatten i avseende att extrahera näringsämnen fosfor och kväve. Resultaten visade att:

- Vid behandling av röt-kammareffluent från en UASB erhöles upp till 97 % reduktion av totalfosfor redan vid låga (28 g/L) doser av Zeopeat. För kväve erhöles upp till 67 % reduktion av totalkväve vid den högsta testade dosen av Zeopeat (275 g/L). För både fosfor och kväve erhöles ett tydligt förhållande mellan tillsatt dos Zeopeat och extraherad mängd näringsämnen.
- Vid behandling av Aquatronseparerat klosett-vatten från enskilt avlopp erhöles upp till 93 % reduktion av totalfosfor redan vid låga (55 g/L) doser av Zeopeat. För kväve erhöles upp till 64 % reduktion av totalkväve vid den högsta testade dosen av Zeopeat (165 g/L). Resultaten för Aquatronväska var dock inte lika entydiga som för röt-kammareväska i avseende på förhållandet mellan tillsatt dos Zeopeat och mängd extraherade näringsämnen.
- För att erhålla en mycket hög (95 %) reduktion av fosfor räcker mycket låga doser av Zeopeat (28-55 g/L). För att erhålla en hög (över 50 %) extraktion av kväve krävs dock mycket högre doser av zeopeat (över 110 g/L). Ur ett optimeringsperspektiv bör dosen Zeopeat vara så låg som möjligt för att undvika onödiga transporter.

## 7. REFERENSER

Again (odaterad). Gödselmedlet och jordförbättraren Returine - Näringsammansättning och metaller. Broschyr, Again AB, Göteborg.

Caspersen, S. & Ganrot, Z. (2017). Näringsberikad zeolit som gödselmedel. LTV-fakultetens faktablad 2017:25, Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp.

Ekobalans (2013). Analysis results struvite 2013-02-14. Ekobalans Fenix AB, Lund.

Kärman, E., Kjerstadius, H., Hagman, M., Davidsson, Å. (2017). Källsorterande system för spillvatten och matavfall – erfarenheter, genomförande, ekonomi och samhällsnytta. Rapport 2017-04, Svenskt Vatten, Stockholm.

Naturvårdsverket (2013). Hållbar återföring av fosfor. Rapport 6580, Naturvårdsverket, Stockholm.

SCB (2016). Utsläpp till vatten och slamproduktion 2014. Rapport, Statistiska centralbyrån, Stockholm.

NFS (Naturvårdsverkets författningssamling), 2006. Naturvårdsverkets allmänna råd [till 2 och 26 kap. miljöbalken och 12-14 och 19 §§ förordningen (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd] om små avloppsanordningar för hushålls-spillvatten. ISSN 1403-8234.