



HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

Miljö- och hälsoskydd 180hp

EXAMENSARBETE



Ekotoxicitetstester på rötat avloppsslam

– finns en toxisk respons hos musselkräftan
Heterocypris incongruens?

Stephanie Asplén och Nicole Norlin

Examensarbete 15hp

Halmstad 2015-06-09

Ekotoxicitetstester på rötat avloppsslam –
finns en toxisk respons hos musselkräftan
Heterocypris incongruens?



Examensarbete 15 hp

Av: Stephanie Asplén & Nicole Norlin

Miljö- och hälsoskydd, Högskolan i Halmstad

Handledare: Sylvia Waara

2015-06-09

Sammanfattning

Avloppsslam är en restprodukt som bildas när man renar vatten i reningsverk och kan användas till anläggningsjord, som tätskikt vid sluttäckning av deponier eller som gödningsmedel genom att sprida det på åkrar, det blir då ett kretslopp, precis så som man vill ha det. Avloppsslam innehåller näringsämnen som man vill återföra till växtodling men också miljö- och hälsostörande ämnen som finns i samhället som bland annat tungmetaller, läkemedelsrester, bekämpningsmedel och persistenta organiska ämnen, dessutom vet man väldigt lite om cocktaileffekten.

Därför valde vi i vårt examensarbete att utföra ekotoxicitetstester som är en metod som visar den totala toxiciteten av ett prov och inte exakt vad det innehåller. Vi valde att titta på akut och kronisk respons hos musselkräftan *Heterocypris incongruens*. Vi hämtade rötat slam från två olika reningsverk, ett med REVAQ-certifierat slam och ett med slam utan REVAQ-certifiering.

Resultatet visade på en tydlig höjning av responsen med en högre procent slam som användes i testet. Testerna visade även akuta responser med det REVAQ-certifierade slammet. Därför tycker vi att det borde vara lagstadgat att utföra ekotoxicitetstester på avloppsslam som ska spridas på åkermark och man bör även se sig om efter andra metoder för att utvinna fosfor så att det inte går förlorat när det hamnar på deponi, utan tas tillvara på i ett kretslopp utan gifter.

Abstract

In today's society, it becomes more and more important to reuse, recycle and return as much as possible of what we use, in order to reduce the use of the earth's resources. Sludge is a waste product that is formed when we purify waste water and can be used as construction soil, as final cover of landfills or as fertilizer by spreading it on fields. Then it becomes a cycle of nutrients, just as you want it. Sewage sludge contains nutritional substances that you want to bring to agriculture but also it contains environmental and health-disrupting substances that exist in the society including heavy metals, pharmaceutical residues, pesticides and persistent organic substances. In addition, little is known about the cocktail effect. We received sludge from two sewage treatment plants and performed ecotoxicity tests which are a method that shows the total toxicity of a test. We saw the acute and chronic response of the organism *Heterocypris incongruens* *Ostracoda*. The results showed a clear increase in the chronic response with more sludge added to the test.

Keywords

Sewage sludge, *Heterocypris incongruens* *Ostracoda*, ecotoxicity tests, REVAQ, toxicity

Förord

Vi har gjort detta arbete som examensarbete i miljö- och hälsoskydd. Vi vill tacka de personer som har gjort vårt arbete möjligt att utföra. Vi vill tacka vår handledare Sylvia Waara för ditt stora engagemang och för tiden du har lagt ner för att hjälpa oss i vårt arbete. Vi vill även tacka Cecilia Johansson, miljöingenjör på Lundåkraverket i Landskrona och Christina Fröjdlund, process- och laboratorieingenjör på Västra strandens ARV i Halmstad för era bidrag med slamprover och analysresultat.

Halmstad den 9 juni 2015

Stephanie Asplén & Nicole Norlin

Handwritten signatures of Stephanie Asplén and Nicole Norlin in blue ink. The signature on the left is 'Stephanie' and the one on the right is 'Nicole Norlin'.

Ordlista

Betablockerare: läkemedel som skyddar hjärtat mot stresshormoner

Spårelement: livsnödvändiga grundämnen som finns i levande organismer eller i jorden i mycket små mängder

Persistenta organiska ämnen: långlivande organiska miljögifter

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte.....	12
1.3	Avgränsningar.....	12
2.	Material och metod.....	12
3.	Resultat.....	15
4.	Diskussion.....	20
5.	Slutsats	23
6.	Förslag till fortsatt arbete.....	24
7.	Referenser	25
8.	Bilaga 1 – Statement of Contribution.....	27

1. Inledning

Det finns en pågående debatt i Sverige om innehållet av miljö- och hälsostörande ämnen i avloppsslam och dess potentiella miljö- och hälsorisker. Ena sidan vill återföra näringsämnen som slammet innehåller till jordbruksmark och andra sidan vill inte sprida gifter till miljön. I och med debatten hanterar kommunerna slammet olika, en del har förbjudit slamspridning helt och en del tycker att det är acceptabelt att använda det eftersom att det inte finns några klara bevis på om slammet är toxiskt eller inte, utan man kan bara göra antaganden utifrån en begränsad kemisk analys av ett urval av miljö- och hälsostörande ämnen. Vi har valt att göra så kallade ekotoxicitetstester på avloppsslam, vilket är en biologisk testmetod för att undersöka den totala toxiciteten av ett prov. Det vill säga att det är möjligt att identifiera cocktaileffekter av både identifierade och okända ämnen i ett miljöprov. Organismen vi har valt att utföra våra tester på är den vattenlevande musselkräftan *Heterocypris incongruens*. Det är en tålig organism som sedan tidigare är känd för att vara en bra organism att testa sediment på då den är tålig och relativt enkel att studera.

1.1 Bakgrund

I dagens samhälle blir det mer och mer viktigt att ha ett kretsloppstänk, det vill säga att återanvända, återvinna och återföra så mycket som möjligt av det vi använder för att minska användandet av jordens resurser. Det sistnämnda, återföra, är speciellt viktigt när det handlar om det vi spolar ner i toaletten. Toalettavfall innehåller mycket näringsämnen, speciellt fosfor och kväve, som är viktiga näringsämnen för växter (Adam et al. 2009, Fytli & Zabaniotou 2008). När toalettavfallet tillsammans med resten av hushållsvattnet kommer till avloppsreningsverket blandas det med dagvatten och vatten från olika industrier. I vissa fall blandas det även med vatten från sjukhus och lakvatten från deponier. Det går sedan igenom en rad olika reningsprocesser för att slutligen bli till renat vatten och avloppsslam som är en restprodukt som bildas när man renar vatten på avloppsreningsverk (Persson et al. 2005, Fytli & Zabaniotou 2008).

När vattnet kommer in till avloppsreningsverket börjar reningen med mekanisk rening där stora föremål filtreras och sedimenteras bort, detta kallas primärslam. Därefter sker biologisk

rening där bioslam bildas och kemisk rening där kemslam bildas. Man reducerar mängden organiskt material, kväve och fosfor för att minska belastningen på recipienten (Havs- och vattenmyndigheten 2003). De olika typerna av slammen kombineras sedan och behandlas för att det ska kunna användas vidare. Behandlingar som görs är förtjockning, stabilisering och avvattning. Stabilisering görs vanligast med rötning som är en biologisk process där man utnyttjar bakterier i frånvaro av syre för att bryta ner det organiska materialet. Detta gör man för att minska patogener i slammet, reducera lukt och för att få upp torrsubstansen för att undvika onödiga transporter. Hur mycket man avvattnar slammet beror på vad man tänkt använda det till (Persson 2005).

Det färdiga slammet kan man sedan använda på olika sätt. Fram till år 2005 var det tillåtet att deponera avloppsslam men på grund av riskerna med slammets innehåll av bland annat bromerade flamskyddsmedel (PBDE) och hormonliknande ämnen så har ett förbud införts och det är inte längre tillåtet enligt EUs avfallsdirektiv (Persson 2005, Levlin et al. 2005), dock finns vissa undantag (Henriksson 2012). Istället kan man använda det till bland annat anläggningsjord när man till exempel ska anlägga en golfbanan, som tätskikt vid sluttäckning av deponier eller som gödningsmedel genom att sprida det på åkrar så att växterna kan ta del av de många näringsämnen som det innehåller (Länsstyrelsen Stockholm 2015). Det blir då ett kretslopp, precis så som man vill ha det.

Problemet med just det här kretsloppet är att avloppsslam innehåller förutom näringsämnen också miljö- och hälsostörande ämnen som finns i samhället. Identifierade ämnen i slam är bland annat tungmetaller, läkemedelsrester, bekämpningsmedel och persistenta organiska ämnen såsom PAH, PCB, LAS, triklosan, PBDE, PFOS, dioxiner, ftalater och bisfenol-A (Sternbeck 2011, Harrison et al. 2005, Törneman et al. 2014, Adam et al. 2009). Det finns därmed en risk att dessa ämnen tas upp i odlade växter, ackumuleras i jordbruksmark och sprids vidare till bland annat omkringliggande vattendrag och orsakar olägenheter för miljö och människor (Naturvårdsverket 2013). Spridning kan även ske via atmosfäriskt nedfall (Sternbeck 2011). Dessutom kan många av dessa hundratals olika ämnen som man kan hitta i avloppsslam ha hormonstörande egenskaper såsom ämnena bisfenol-A och ftalater (Lee et al. 2005) och den synergistiska effekten av ämnena vet man lite om (Kapanen et al. 2013).

I förordning (1998:944) kan man läsa de olika gränsvärden som gäller för metaller när slammet ska utnyttjas för spridning på åkermark. Dessa gränsvärden bör stegvis sänkas till år 2030 anser Naturvårdsverket (Naturvårdsverket 2013). Det finns uppsatta gränsvärden för

metaller, vilket leder till en minskad risk för att tungmetaller ska ansamlas i marken. Däremot finns inga gränsvärden för dioxin- eller hormonliknande ämnen (Kapanen et al. 2013), för läkemedelsrester eller för persistenta organiska ämnen (Sternbeck 2011).

Det finns en positiv trend som visar att halterna av de flesta metaller sjunker i och med den utfasning som gjorts (Naturvårdsverket 2013). Kadmium, kvicksilver och bly är alla exempel på utfasningsämnen. Syftet med utfasningsämnen är att deras användning ska fasas ut och man ska istället välja andra mindre giftiga ämnen (Länsstyrelsen Skåne bilaga 4). Samtidigt används och framställs det fler och fler kemikalier i vårt samhälle idag och därför kan slammet även innehålla föroreningar som bara nyligen blivit identifierade och därmed inte analyseras som tungmetaller. De finns därmed inte med i beräkningarna för att uppskatta avloppsslammets lämplighet som gödningsmedel eller anläggningsjord, trots de hot mot miljön som de kan utgöra (Malara et al. 2012).

Det här innebär en konflikt för några av Sveriges 16 miljömål. På miljömålsportalen kan man läsa att *"fosfor från avloppsslam ska återföras till naturen"* som en del av miljömålet God bebyggd miljö. Men så som det görs idag strider det mot miljömålet Giftfri miljö med tanke på de giftiga ämnen som följer med fosfor (Miljömål 2015). Exempelvis kan det följa med så mycket som 29 mg kadmium per kg återinförd fosfor, jämfört med mineralgödsel där 5-10 mg kadmium följer med per kg fosfor (Kirchmann et al 2012). Exponering av kadmium är hälsoskadligt och kan bland annat leda till njurskador och benskörhet (Länsstyrelsen Stockholm 2015). Läkemedel är ett annat exempel på ämnen som kan binda till slammet under reningsprocessen i avloppsreningsverken. Beta-blockerare till exempel är speciellt toxiskt för små planktoniska kräftdjur och grönalger och antiinflammatoriska läkemedel som diklofenak har visats ha negativa miljöeffekter, bland annat har de lett till minskade populationer av flera gamarter i Pakistan och Indien efter förgiftning via döda diklofenakbehandlade nötkreatur (Fouad et al. 2011). Rester från preventivmedel som når miljön antingen direkt från utgående vatten från reningsverk eller som når vattendrag via slam påverkar fiskars och groddjurs reproduktionsförmåga negativt samt kan även orsaka hormonförändringar (Fouad et al. 2011, Kidd et al. 2007).

Kretsloppsmålet krockar även med Generationsmålet som regeringen presenterade år 2009 och som innebär att vi ska lämna över, utan att öka miljö- och hälsoproblemen utanför landet, ett samhälle till nästa generation med lösta miljöproblem. En av de sju punkterna som detta

innebär för miljöpolitiken att inrikta sig på är ”*kretsloppen är resurseffektiva och så långt som möjligt fria från farliga ämnen*” (Miljödepartementet 2010).

Fosfor är det näringsämne som är mest intressant att återinföra i ett kretslopp i och med att det är en ändlig resurs. I dagsläget återförs ca 25 % av fosfor i avloppsslammet till åkermark (Naturvårdsverket 2013). Av de 25 procenten är det endast 50-80 % av fosfor som är biotillgänglig, resten binds till de fällningskemikalier som tillsätts i avloppsreningsverken, järn och aluminium (KTH 2010, Persson 2005). För att mer fosfor ska kunna återföras krävs åtgärder som bättre slambehandling och ett arbete för att förebygga problemen (Naturvårdsverket 2013).

REVAQ

Svenskt vatten, Lantmännen, LRF och Svensk Dagligvaruhandel har i samarbete med Naturvårdsverket skapat ett nationellt kvalitetsäkringssystem för reningsverk, REVAQ. REVAQ är ett certifieringssystem som skapats för att flödet av farliga ämnen in till reningsverken skall minska samt för att nå en hållbar cirkulation av växtnäring. De anslutna verken arbetar aktivt med uppströmsarbete för att ständigt förbättra sin slamkvalitet samt urskilja och fasa ut farliga kemikalier. De har också höga krav på tydlig spårbarhet samt på en ständig redovisning av sitt arbete. Reningsverkens uppströmsarbete inriktas framförallt på att minska halterna av icke essentiella spårelement, organiska ämnen och kadmium. Samtliga certifierade verk har, gällande kadmium, ett långsiktigt mål att 2025 uppnå en balans och hållbarhet på åkermark, detta har definierats som en Cd/P-kvot, på 17 mg Cd/kg P i slammet. Enligt Svenskt Vattens årsrapport för 2013 har 82 % av reningsverken en kvot under 30 mg Cd/kg P och bedöms vara nära det långsiktiga målet för 2025. Reningsverken har själva satt upp kortsiktiga mål med ett 5-årsintervall för att ständigt kunna utvärdera sitt eget uppströmsarbete. Under 2013 har de anslutna reningsverken identifierat och fasat ut 66 källor för utsläpp av kadmium, med den utvecklingen räknar verken med att nå målet för kadmium till 2025. Under 2013 återanvändes 2100 ton kväve och 1300 ton fosfor från REVAQ-certifierade reningsverk via slam, det slam som inte användes för spridning på åkermark användes som täckning av avslutade avfallsdeponier eller som anläggningsjord. Anledningen till att inte allt slam som blivit godkänt använts till jordbruk är att marknaden var för liten (Svenskt vatten 2013, SVU 2007, SVU 2014, REVAQ 2015).

Certifieringssystemet fastställer varje år gränsvärden för vad slammet får innehålla, slammet kan då bli godkänt alternativt icke godkänt för spridning på åkermark. Inom REVAQ skall allt

slam som används dokumenteras och man skall kunna spåra slammet till de platser där det har använts (Waste refinery 2012). De 39 certifierade verken producerade år 2013 totalt 86 070 ton slam TS (torrsubstans) som enligt REVAQ-reglerna var godkänt för användning inom jordbruk. Under år 2013 var sammanlagt 4 795 714 personer anslutna till certifierade verk, det är nästan hälften av alla personer som, i Sverige, var anslutna till ett reningsverk (Svenskt vatten 2013). I dagsläget är det 42 stycken reningsverk som är anslutna till REVAQ av ca 1700 kommunala reningsverk som finns i landet. 10 % av Sveriges befolkning är anslutna till enskilda avlopp (Svenskt Vatten 2014, Svenskt Vatten c).

Ekotoxicitetstester

Ekotoxikologi betyder ”läran om kemiska ämnens spridning, omvandling och effekter i ekosystemen” och är en biokemisk miljövetenskap. Denna vetenskap har vuxit fram på grund av de senaste årens ökade intresse för miljökonsekvenserna av vår tids stora kemikalieanvändning. Ofta sammankopplas ekotoxikologi med miljögifter, miljögifter kan förklaras som ett ”kemiskt ämne med skadlig effekt på miljön”. Förr handlade miljödebatten om ett litet antal betydande miljögifter som kallades biocider (livsdödare). I dagsläget så handlar det om tiotusentals kemikalier som alla har olika miljö- och hälsorisker (Kemisk Miljövetenskap 2006).

Ekotoxikologiskt test innebär att man får ett mått på om organismerna blir påverkade av att exponeras för en förorening, föroreningen är biologiskt tillgänglig om man kan uppmäta en effekt i testet (Naturvårdsverket 2009). Ekotoxikologiska tester används mer och mer för att man, till skillnad från enbart kemiska analyser, får en mer exakt bestämning av toxicitet. En kemisk analys visar halter av specifika ämnen, men inte om de är giftiga tillsammans (Malara et al. 2012, Naturvårdsverket 2009). Så för vår del är ekotoxikologiska tester perfekt då vi vill ta reda på om avloppsslammet är giftigt, inte exakt vad det innehåller. Gör man enbart en kemisk analys på avloppsslam är det svårt att bedöma huruvida slammet kan vara toxiskt, detta på grund av de eventuella additiva och synergiska effekterna som man enbart kan analysera med ett biologiskt test (Naturvårdsverket 2009).

När avloppsslam skall användas till jordbruket kan ekotoxikologiska tester kunna användas för att bedöma eventuella risker (Kapanen et al. 2013). Man använder ekotoxikologiska tester i biologiska undersökningar och i miljöriskbedömningar för att kunna bedöma platsspecifika effekter, biotillgänglighet och för att upptäcka potentiella förändringar i miljökvaliteten, vilket inte kan upptäckas med enbart kemiska analyser. Ekotoxikologiska tester kan genomföras på

jord, sediment och vatten, det finns flera standardiserade metoder men för framförallt vatten (Naturvårdsverket 2009).

1.2 Syfte

Vårt syfte har varit att ta reda på om musselkräftan *Heterocypris incongruens* uppvisar en toxisk respons när den exponeras för rötat avloppsslam som är REVAQ-certifierat respektive inte REVAQ-certifierat. Det är ett aktuellt ämne som vi tycker inte har fått tillräckligt med vetenskaplig uppmärksamhet och som behöver granskas mer. Av vårt resultat hoppas vi sedan kunna dra slutsatser för huruvida det är bra eller dåligt att sprida avloppsslam i miljön.

1.3 Avgränsningar

Vi har valt att göra en avgränsning till att ha slam från ett REVAQ-certifierat verk och ett ocertifierat verk. Vi har valt att titta på den totala toxiciteten av slammen och inte på vilka parametrar slammen innehåller och hur mycket. Det har vi gjort med hjälp av den ISO-standardiserade metoden ”Direct contact Toxicity Test for Freshwater Sediments” som är en enkel och välbeprövad ekotoxicitetstestmetod där man kan mäta både en akut och en kronisk respons. Organismen som har använts i testmetoden är en sedimentlevande musselkräfta. Det är en vattenlevande organism men metoden har använts med goda resultat även för toxicitetsbedömning av fasta prover som förorenad jord, och damm från vägar.

2. Material och metod

Prover hämtades från två olika reningsverk, Lundåkraverket i Landskrona och Västra strandens avloppsreningsverk i Halmstad.

Lundåkraverket

Lundåkraverket tillhör NSVA (Nordvästra Skånes Vatten och Avlopp). Verket är inte REVAQ-certifierat på grund av att det är mycket tung industri påkopplat. Bland annat en industri som har hand om batterier, där av släpper industrin ut zink som bidrar till de höga halterna i verket och därmed även i slammet. Verket är dimensionerat för en belastning på 38 600 personekvivalenter. Utfallet blev 30 786 pe år 2013. Det dimensionerade flödet för ett

medeldygn är 14 000-24 000 m³/dygn. Utfallet blev 12 551 m³/d år 2013. Slammet används för att täcka deponier (Miljörapport Lundåkraverket, 2013). Vår kontakt på verket har varit Cecilia Johansson, miljöingenjör, som har försett oss med slamprover och analysresultat.

Västra strandens ARV

Västra strandens avloppsreningsverk tillhör LBVA (Laholmsbuktens Vatten och Avlopp). Verket är REVAQ-certifierat. Deras dimensionerade belastning är 143 000 pe. Utfallet blev 94 720 pe för år 2012. Det dimensionerade flödet för ett medeldygn är 72 000 m³/d. Utfallet för medeldygnslödet blev 35 385 m³/d år 2012. Allt slam som verket producerade under 2014 gick som gödningsmedel till åkermarker (LBVA 2014). Vår kontakt på verket har varit Christina Fröjdlund, process- och laboratorieingenjör, som har försett oss med slamprover och analysresultat.

Slamprovtagning och fysikalisk-kemisk analys av slammet

Båda slamproverna togs under mars månad år 2015 och bestod av avvattnat slam med en TS halt på 17-27 %. Slammen är rötade. Prover togs ut från reningsverkens provtagningspunkter av personal på verken från ca fem dagar från respektive verk och blandades sedan till ett prov för varje verk för att få så representativa prov som möjligt. Reningsverken gör fysikaliska-kemiska analyser av slammet där de analyserar pH, ammoniumkväve, totalfosfor, totalkväve, ca tio olika metaller, nonylfenol, PAH, PCB, cyanid och TS-halt. Av verkens analysrapporter från varje månad under år 2014 har vi räknat ut medelvärden och jämfört de med mars månads analysresultat från år 2015.

Ekotoxicitetstest

Metoden vi har använt oss utav under testerna är ISO-standardiserad enligt 14371 och heter ”*Direct contact Toxicity Test for Freshwater Sediments*” där vi har följt dem standardiserade anvisningarna för Ostracodtoxkit F. Metoden används för att fastställa toxiciteten av sötvattensediment på musselkräftan *Heterocypris incongruens*.

För att få ett så trovärdigt resultat som möjligt valde vi att utföra testerna i två omgångar. I den första omgången testade vi slammen som de var och i den andra omgången testade vi med olika koncentrationer slam blandat med referenssediment.

Testerna utfördes i laboratorium på Högskolan i Halmstad. Testmetoden gick ut på att vi kläckte embryon av musselkräftor som vi sedan lät växa i ett odlingsrum som höll 25°C och

3000-4000 lux. Efter två dagar mättes musselkräftorna innan de lades ner i odlingsskålar innehållande en blandning av rötat avloppsslam, standardiserat sötvatten och referenssediment. I det första försöket hade vi tre stycken odlingsskålar med sex stycken replikat i varje, varav en odlingsskål bestod av referenssediment. I det andra försöket hade vi fem odlingsskålar med fyra replikat per koncentration och verk, totalt tjugoåtta replikat varav fyra med referenssediment. Musselkräftorna förvarades sedan i ett mörkt odlingsrum som höll 25°C under sex dagar. Därefter mättes de överlevande musselkräftorna.

För att kunna bestämma akut respons gjorde vi uträkningar baserade på medelvärden från analysen av antal överlevande musselkräftor efter avslutade laborationer.

För att kunna bestämma kronisk respons gjorde vi uträkningar baserade på medelvärden från analysen av tillväxten på överlevande musselkräftor efter avslutade laborationer med hjälp av en formel från dem standardiserade anvisningarna för Ostracodtoxkit F. Kronisk respons beräknas endast om dödligheten är mindre än 30 %, därför har vi inte räknat ut kronisk respons på proverna med 20 % slam.

3. Resultat

Fysikalisk-kemisk analys

I tabell 1 och 2 kan man se vår sammanställning av respektive verks analysresultat under år 2014 och även verkens analysresultat för mars månad år 2015. Se även bilaga 2.

Tabell 1. Kemiska-fysikaliska analysresultat Lundåkraverket

Parameter	Medelvärde 2014	Mars 2015
pH	7,1	7
NH ₄ -N mg/kg TS	10450	12000
N-tot % mg/kg TS	56833	63000
P-tot mg/kg TS	26583	26000
Hg mg/kg TS	0,46	0,69
Cd mg/kg TS	4,99	0,94
Pb mg/kg TS	159	83
Cu mg/kg TS	253	210
Zn mg/kg TS	1134	650
Cr mg/kg TS	25	28
Ni mg/kg TS	24	25
Ag mg/kg TS	1,6	2,2
Sn mg/kg TS	14	13
Nonylfenol mg/kg TS	4,3	2,9
PAH mg/kg TS	1,91	1,4
PCB mg/kg TS	0,045	0,068
As mg/kg TS	17	14
Cyanid, fri mg/kg TS	4,3	<1
Cyanid, tot mg/kg TS	11,6	15
TS %	17,4	16,9

Tabell 2. Kemiska-fysikaliska analysresultat Västra strandens ARV

Parameter	Medelvärde 2014	Mars 2015
pH	8	8,5
NH ₄ -N % av TS	1,4	1,5 (4300 mg/kg)
N-tot % av TS	4,5	-
P-tot % av TS	3,6	-
Hg mg/kg TS	0,44	0,43
Cd mg/kg TS	0,71	0,74
Pb mg/kg TS	21	17
Cu mg/kg TS	230	260
Zn mg/kg TS	718	740
Cr mg/kg TS	27	40
Ni mg/kg TS	30	61
Ag mg/kg TS	2	1,7
Sn mg/kg TS	4,5	4,8
Nonylfenol mg/kg TS	4,6	-
PAH mg/kg TS	0,78	-
PCB	0,032	-
As	-	-
Cyanid, fri	-	-
Cyanid, tot	-	-
TS %	27,1	28,1
Kalium mg/kg TS	2833	4000

De uträknade medelvärdena och analysresultaten från mars månad jämfördes även med gränsvärdena för metaller när avloppsslam ska spridas på åkermark, som i Västra strandens fall. Se tabell 3.

Tabell 3. Gränsvärden från förordning SFS 1998:944 för metaller vid spridning av avloppsslam till åkermark samt REVAQs gränsvärden

Metall	Gränsvärde mg/kg TS	REVAQ mg/kg TS	Västra stranden mars 2015 mg/kg TS
Bly	100	25	17
Kadmium	2	0,75	0,74
Koppar	600	300	260
Krom	100	40	40
Kvicksilver	2,5	1,5	0,43
Nickel	50	25	61
Zink	800	600	741

Ekotoxicitetsresultat

Ammoniumkvävehalten har mätts med hjälp av Hachs-Lange kit 303. Av resultaten att döma bestämde vi att göra testerna med 5, 10 och 20 % slamhalt där ammoniumkvävet inte borde ha stört organismen vid 5 och 10 % slamhalt men kan ha haft en påverkan vid 20 %.

Ett prov som har 20 % dödlighet eller högre, eller 20 % tillväxthämning eller högre, anses vara toxiskt. Detta är testmetodens toxicitetsklassningsystem.

I det första försöket var det inga musselkräftor som överlevde i testsedimenten, däremot överlevde alla i referenssedimentet med god tillväxt. Orsaken till dödligheten antas vara den höga ammoniumkvävehalten i de koncentrerade slammen.

I det andra försöket vid 5 och 10 % för båda slammen hade vi ammoniumhalter som inte borde ha stört organismerna. Om man uppmäter dödlighet på mer än 20 % har man en akut respons enligt testmetodens standarder. I tabell 4 och 5 kan man se att vi fick akut respons för alla koncentrationer på Västra strandens slam och på koncentrationen 20 % för Lundåkraverkets slam, vilket betyder att de alla då anses vara toxiska.

Nedan kommer uträkningar för akut respons.

Formel: $B=40-A$, % dödlighet= $B/40*100$

B=döda musselkräftor

A=överlevande musselkräftor

Akut respons Lundåkriverket 5 % slam:

Överlevande musselkräftor: $9+8+10+9=36$ stycken

Dödlighet = $40-36=4$, $4/40=0,1=10\%$

Akut respons Lundåkriverket 10 % slam:

Överlevande musselkräftor: $9+9+7+8=33$ stycken

Dödlighet = $40-33=7$, $7/40=0,175=17,5\%$

Akut respons Lundåkriverket 20 % slam:

Överlevande musselkräftor: $3+8+9+5=25$ stycken

Dödlighet = $40-25=15$, $15/40=0,375=37,5\%$

Akut respons Västra stranden 5 % slam:

Överlevande musselkräftor: $10+8+8+5=31$ stycken

Dödlighet = $40-31=9$, $9/40=0,225=22,5\%$

Akut respons Västra stranden 10 % slam:

Överlevande musselkräftor: $10+7+5+8=30$ stycken

Dödlighet = $40-30=10$, $10/40=0,25=25\%$

Akut respons Västra stranden 20 % slam:

Överlevande musselkräftor: $8+9+3+8=28$ stycken

Dödlighet = $40-28=12$, $12/40=0,30=30\%$

I tabell 6 och 7 kan man se att vi fick kronisk respons på alla koncentrationer av slam från båda verken. Som nämnts tidigare räknas kronisk respons endast ut om dödligheten är mindre än 30 %, därför har vi endast räknat ut kronisk respons på koncentrationerna 5 och 10 % slam.

Den högsta tillväxthämningen fick vi på koncentrationen 10 % för Västra strandens slam som då anses vara toxiskt.

Nedan kommer uträkningar för kronisk respons.

Formel: % tillväxthämning = $100 - ((\text{tillväxt i testsediment} / \text{tillväxt i referenssediment}) * 100)$

Kronisk respons Lundåkraverket 5 % slam:

$$100 - ((700\mu\text{m} / 865,38\mu\text{m}) * 100) = 19,11 \%$$

Kronisk respons Lundåkraverket 10 % slam:

$$100 - ((706,25\mu\text{m} / 865,38\mu\text{m}) * 100) = 18,39 \%$$

Kronisk respons Västra stranden 5 % slam:

$$100 - ((794,10\mu\text{m} / 865,38\mu\text{m}) * 100) = 8,24 \%$$

Kronisk respons Västra stranden 10 % slam:

$$100 - ((552,65\mu\text{m} / 865,38\mu\text{m}) * 100) = 36,14 \%$$

Tabell 4. Akut respons för Lundåkraverket

Slamhalt	Överlevande	Dödlighet	Akut respons
5 %	36 st	10 %	Nej
10 %	33 st	18 %	Nej
20 %	25 st	38 %	Ja

Tabell 5. Akut respons för Västra stranden

Slamhalt	Överlevande	Dödlighet	Akut respons
5 %	31 st	23 %	Ja
10 %	30 st	25 %	Ja
20 %	28 st	30 %	Ja

Tabell 6. Kronisk respons för Lundåkraverket.

Slamhalt	Tillväxthämning
5 %	19 %
10 %	18 %

Tabell 7. Kronisk respons för Västra stranden.

Slamhalt	Tillväxthämning
5 %	8 %
10 %	36 %

4. Diskussion

Representativitet

Av vår sammanställning av verkens analysresultat under år 2014 och även av analysresultaten för mars månad år 2015 att döma anser vi att våra slamprover var representativa. Västra strandens slam uppfyller de satta gränsvärdena vid spridning av avloppsslam på åkermark på alla metaller utom en i mars, nickel, som ligger ca 10 mg/kg TS över gränsvärdet. Sex av de sju gränsvärdesbestämda metallerna ligger över lag något högre under mars år 2015 än vårt uträknade medelvärde för år 2014. Med tanke på att de ändå i stort håller sig inom gränsvärdena anser vi att värdena är tillräckligt låga för att våra prover ska vara representativa, dock är det möjligt att vi inte hade fått akut respons på alla koncentrationer av slam för Västra stranden med lägre värden.

Vid jämförelse av Lundåkraverkets medelvärden för år 2014 och analysresultaten för mars år 2015 anser vi att proven var representativa då det inte skiljer mycket från medelvärdena, några ligger över medelvärdena och några ligger under.

Resultatanalys

Då vi tillsatte slammen som en volym, enligt anvisningarna, och inte som en vikt, kan man diskutera huruvida proven blev lika i mängd. Västra strandens slam var torrare och då mer poröst medan Lundåkraverkets slam var blötare och mer kompakt. Man kan då anta att vi fick mer slam, i vikt, från Lundåkraverket än från Västra stranden. Av resultaten att döma är det anmärkningsvärt att vi fick en högre respons från Västra strandens slam. Vår hypotes var att vi skulle få högre respons från Lundåkraverket då deras slam inte är certifierat och reningsverket dessutom är anslutet till flera gamla industrier, bland annat ett batteriföretag som bidrar med zink till verket. Marken som reningsverket ligger på idag har en gång varit hav och är uppbyggt av massor som man inte riktigt vet vad dem innehåller. Västra strandens slam är däremot REVAQ-certifierat, så att vi har fått en högre respons med det slammet är

oförväntat och något man diskutera vidare. En förklaring kan vara att den toxiska responsen beror på ämnen som inte analyseras i slammet till exempel ftalater, PFAS, dioxiner, bromerade flamskyddsmedel och läkemedelsrester. En annan förklaring kan vara att reningsverken inte har några lagkrav på sig att göra egna ekotoxicitetstester och därav bara får reda på vad slammet innehåller och inte om det är giftigt eller biotillgängligt i miljön. Man kan också tänka sig att Västra strandens slam som var mer poröst därmed ”löses upp” snabbare. Det kan betyda att alla ingående komponenter då blir direkt biotillgängliga medan bara en del av dem är det i det kompaktare slammet från Lundåkraverket.

Lundåkraverket har många industrier vilket bidrar med metaller till vattnet samtidigt är industrierna styrda av miljöbalken som i sin tur innebär att verken har tillsyn och krav på sig vad de släpper ut. Västra strandens ARV har mest hushåll påkopplat vilket innebär mer diffusa utsläpp. Det går inte att kontrollera vad hushållen håller ut i avloppen och de har varken tillsyn eller krav på sig. Så vår bästa teori är att det REVAQ-certifierade slammet visade på mer toxicitet på grund av hushållen då båda verket håller sig inom sina gränsvärden för metaller.

Vi fick akut respons på alla koncentrationer med Västra strandens slam och för koncentrationerna med 20 % slamhalt med Lundåkraverkets slam, det kan antingen bero på förekomst av miljö- och hälsoskadliga ämnen i större koncentration eller höga halter av ammoniumkväve. Höga ammoniumkvävehalter kan orsaka försurning och övergödning (Karlsson 2014, Andersson 2007). Vid höga pH-värden och höga temperaturer kan jämnvikten mellan ammonium och ammoniak förskjutas och ammonium övergår då till ammoniak som är giftigt för organismer som lever i vatten (Ekologgruppen i Landskrona 2013). Trots att gränsvärdena är uppfyllda för ammoniumkväve i analysrapporterna läggs ofta slammet ut som en femårsgiva som innebär att man lägger ut den mängd slam med innehåll av så mycket fosfor som är tillåtet för fem år (Svenskt Vatten b). Man lägger då ofta ut flera ton på samma gång och då ammoniumkväve rör sig långsamt i marken tar det lång tid för det att spädas ut. Det är inte bara ammoniumkvävet som då tillförs mycket på samma gång utan då också metaller och andra gränsvärdesbestämda ämnen (Naturvårdsverket 2013).

Fosfor

Fosfor är det ämne man främst vill återföra till jordbruket med hjälp av att sprida avloppsslam. Det här gör man för att fosfor är en ändlig resurs och man vill använda så mycket som möjligt av det som finns tillgängligt. Ett problem är dock att en del fosfor hamnar

fel, till exempel på deponier när avloppsslam används som täckmaterial. Slammet som produceras på Lundåkraverket går till exempel helt och hållet till att täcka deponier, i det här fallet beror det på att slammet inte uppfyller kraven för att spridas på åkrar. Det betyder dock att slammet ändå sprids i miljön i slutändan och fosfor går förlorad. Även om slammet inte kommer i kontakt med någon livsmedelsproduktion när det används som täckmaterial så kommer det ändå ut i miljön och innehåller i Lundåkraverkets fall då högre halter av miljö- och hälsoskadliga ämnen. Man kan i det här fallet ställa sig frågan om det inte finns bättre alternativ så att fosfor inte går till spillo på deponier även om avloppsslammet inte uppfyller kraven för åkerspridning.

Man kan till exempel bränna avloppsslam och därigenom utvinna fosfor. Man blir då av med kadmium från slammet men behåller en del metaller och fosfor blir inte lika tillgänglig för växterna. Processen är också energikrävande och man måste tillsätta kemikalier. Med metoden innebär också att man blir av med alla patogener som finns i vanligt avloppsslam (Levlin et al. 2014). Det finns även metoder som minskar slammängden, vilket är bra för att slam är ju en restprodukt man egentligen inte vill ha (Levlin et al. 2014).

Miljömål

Tidigare i rapporten har nämnts att spridning av avloppsslam i naturen innebär en krock mellan miljömålen God bebyggd miljö och Giftfri miljö. Eftersom slammet bidrar till försurning, övergödning och spridning av giftiga ämnen i miljön så blir det även en konflikt med miljömålen Bara naturlig försurning, Ingen övergödning och eventuellt i förlängningen även Levande sjöar och vattendrag. Som tidigare nämnts kan ammoniumkväve som finns i slam bidra till både försurning och övergödning vilket i sin tur kan orsaka skada i sjöar och vattendrag. Vi kunde snabbt konstatera att spridning av avloppsslam strider mot minst fem av de sexton miljömål som Sverige har. Man kan ställa sig frågan om vi verkligen kommer att uppnå våra miljömål om det fortsätts att sprida avloppsslam eller om det istället fördröjer möjligheten att uppnå målen.

Internationellt perspektiv

Det är inte bara i Sverige man diskuterar olika slambehandlingsmetoder utan i hela Europa, där det finns ca 80 stycken förbränningsanläggningar för slam och ett stort intresse för att utveckla olika metoder och alternativ. Slamhanteringen fungerar olika i varje land, i till exempel Schweiz är det förbjudet att sprida avloppsslam på åkermark och sett i hela Europa har spridning av avloppsslam minskat (Kroiss 2014). Minskningen kan förklaras med

att även här har uppstått en diskussion om slammets innehåll (Bertholds et al. 2014). Idag gäller EU:s slamdirektiv 86/278/EEC som fastställdes 1986. Direktivet styr användandet av avloppsslam i jordbruket och hur detta görs utan att påverka människors hälsa på ett negativt sätt. I direktivet ställs bland annat krav på innehållet av metaller (EU direktiv 1986). Under 29 år som har gått sedan direktivet fastställdes har slaminnehållet troligtvis förändrats och nya patogener, metaller och giftiga ämnen finns förmodligen idag i de flesta slammen. Det har resulterat i att en del länder har satt egna krav (Bertholds et al. 2014) och därav kan det kanske vara en idé att förnya direktivet då det inte längre har någon större verkan. Till exempel kom ett förslag på ny lagstiftning år 2010 men denna har ännu ej vunnit laga kraft (Bertholds et al. 2014).

Biologiska tester

Vi tycker att metoden vi har använt är en bra metod för att se den totala toxiciteten på avloppsslam då det som nämnts innehåller många olika ämnen. Ett biologiskt test visar de additiva och de synergistiska effekterna som kan ske i miljön och för dess omgivning. För en ännu säkrare testmetod kan man använda sig utav flera olika organismer och inte bara en som i vår studie. I rapporten "*Application of a battery of biotests for the determination of leachate toxicity to bacteria and invertebrates from sewage sludge-amended soil*" av Malara och Oleszczuk från år 2012, användes fyra olika organismer och olika typer av slam där alla indikerade på en akut respons.

5. Slutsats

Vårt resultat visar att ju högre koncentration av slam som används ju mer både akut och kronisk respons får man. Vi fick en större tillväxthämning och mer akut respons i det REVAQ-certifierade slammet än i det ocertifierade. Vi vill med vår studie påvisa att det är värt att forska vidare på området.

För att undvika att fler miljö- och hälsostörande ämnen kommer ut i miljön tycker vi att det ska vara lagstadgat att utföra ekotoxicitetstester på avloppsslam som ska spridas på åkermark och man bör även se sig om efter andra metoder för att utvinna fosfor på så att det inte går förlorat när det hamnar på deponi, utan tas tillvara på i ett kretslopp utan gifter.

6. Förslag till fortsatt arbete

Vi hoppas att vår studie kan vara en start på en fortsatt utredning inom området och som även kan leda till att reningsverken inför ekotoxicitetstester som rutin. Vi tycker att det både vore intressant och bra att fortsätta studera avloppsslam med biologiska testmetoder just för att se vad slammet verkligen har för inverkan på miljön och dess omgivning. Fler studier på avloppsslam kan hjälpa oss att utveckla bättre metoder för att rena slammet och inte bara komma på nya metoder för att utvinna fosfor. Ett exempel på fortsatt arbete inom REVAQ där uppströmsarbete är en del av arbetet för att få en bättre slamkvalité tycker vi är att information såsom vad man ska och inte ska spola ner i toaletten ska nå ut till invånarna på ett bättre sätt. Att köpa till exempel miljömärkt tvål, tvättmedel och tandkräm är en billig och enkel insats för gemene man men som gör stor nytta för reningsverken då tillsatsen av miljö- och hälsostörande ämnen då skulle minska, för var och en av oss bidrar faktiskt till slammets innehåll.

7. Referenser

- Adam C., Peplinski B., Michaelis M., Kley G. & Simon F.-G. (2009)
Thermochemical treatment of sewage sludge ashes for phosphorus recovery. Waste Management vol 29, sid 1122–1128, doi:10.1016/j.wasman.2008.09.011
- Andersson K. (2007)
Lakvattenbehandling vid Dåva deponi och avfallsanläggning. 2007:12
- Bertholds C. & Olofsson U. (2014)
Nya processvägar för effektiv slamhantering. Svenskt Vatten Rapport Nr 2014-23
- Ekologgruppen i Landskrona AB (2014)
Förklaring av kemiska/fysikaliska parametrar inom vattenkontrollen i Saxån-Braån.
- EU:s slamdirektiv (1986)
86/278/EEC
- Finsson A. (2013) Ordörande i REVAQ-styrelsen Svenskt vatten
Årsrapport 2013.
- Fouad G. & Hagström K. (2011)
Förekomst av läkemedelsrester i dricksvatten, vattenmiljö och slam. Universitetssjukhuset Örebro, Grundrapport AMM 12/11
- Fytili D. & Zabaniotou A. (2008)
Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods — A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews vol 12, sid 116–140, doi:10.1016/j.rser.2006.05.014
- Harrison E., Oakes S., Hysell M. & Hay A. (2006)
Organic chemicals in sewage sludges. Science of the Total Environment vol 367, sid 481–497, doi:10.1016/j.scitotenv.2006.04.002
- Havs- och vattenmyndigheten (2003)
Växtnäring från avlopp - historik, kvalitetssäkring och lagar. Rapport 5220
- Henriksson G., Palm O., Davidsson K., Ljung E. & Sager A. (2012)
Rätt slam på rätt plats. Waste Refinery, ISSN 1654-4706
- Kapanen A., Vikman M., Rajasärkkä J., Virta M. & Itävaara M. (2013)
Biotests for environmental quality assessment of composted sewage sludge. Waste Management vol 33, sid 1451–1460, doi:10.1016/j.wasman.2013.02.022
- Karlsson G., Akselsson C., Hellsten S. & Karlsson P.-E. (2014)
Tillståndet i skogsmiljön i Skåne län - Resultat från Krondroppsnätet t.o.m. september 2013. IVL rapport B 2169 doi:10.1073/pnas.0609568104
- Kidd K., Blanchfield P., Mills K., Palace V., Evans R., Lazorchak J. & Flick, R. (2007).
Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. Environmental Sciences, 104(21): 8897–8901.
- Kirchmann H. & Hamnér K. (2012)
Resonemang kring kadmium i avloppsslam. Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU)
- Kroiss, H. (2014)
Sewage Sludge processing and management perspectives in Europe.
- KTH (2010)
Remiss Naturvårdsverkets redovisning av regeringsuppdrag om återföring av fosfor. M2009/4218/Kk
- Kärrman E, Malmqvist P, Rydhagen B, Svensson G. (2007)
Utvärdering av ReVAQ-projektet. Rapport nr 2007-02 Svenskt vatten utveckling
- LBVA (2014)
Västra strandens avloppsreningsverk, miljörapport 2014. LBVA 2015/00075
- Lee H., Peart T. & Svoboda M. (2005)
Determination of endocrine-disrupting phenols, acidic pharmaceuticals, and personal-care products in sewage by solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry. Journal of Chromatography A vol 1094, sid 122–129, doi:10.1016/j.chroma.2005.07.070
- Levlin E., Hultman B. & Löwén M. (2005)

- Tvåstegslakning med syra och bas för fosforutvinning ur slam efter superkritisk vattenoxidation eller förbränning.* VA-Forsk rapport Nr 2005-12
- Levlin E., Tjus K., Fortkamp U., Ek M., Baresel C., Ljung E & Palm O. (2014)
Metoder för fosforåtervinning ur avloppsslam. IVL rapport B2184
- Linusson A, Finnson A. (2015)
REVAQ- Regler för certifieringssystemet. Utgåva 3.1 2015-01-01
- Länsstyrelsen Skåne bilaga 4
Riskfraser som gör ämnen till utfasningsämnen eller prioriterade riskminskningsämnen.
- Länsstyrelsen Stockholm (2015)
Avloppsslam I Stockholms län. Fakta 2014:19
- Malara A & Oleszczuk P. (2013)
Application of a battery of biotests for the determination of leachate toxicity to bacteria and invertebrates from sewage sludge-amended soil. Environmental Science & Pollution Research vol 20, sid 3435, doi: 10.1007/s11356-012-1268-3
- Martín J., Camacho-Muñoz D., Santos J., Aparicio I. & Alonso E. (2012)
Distribution and temporal evolution of pharmaceutically active compounds alongside sewage sludge treatment. Risk assessment of sludge application onto soils. Journal of Environmental Management vol 102, sid 18–25, doi:10.1016/j.jenvman.2012.02.020
- Miljödepartementet (2010)
Svenska miljömål – miljömålssystemets struktur och organisation. Artikel nr. M2010.13
- Miljömålsportalen
<http://www.miljomal.se> 2015-03-18
- Naturvårdsverket (2009)
Riskbedömning av förorenade områden. Rapport 5977, ISBN: 978-91-620-5977-4
- Naturvårdsverket (2013)
Hållbar återföring av fosfor. Rapport 6580
- Persson P.-O. (2005)
Miljöskyddsteknik - strategier och teknik för ett hållbart miljöskydd. Industriell ekologi, KTH, ISBN: B000272820
- Petersson G. (2006)
Kemisk miljövetenskap. CTH, ISBN: 9171977538
- Sternbeck J. (2011)
Using sludge on arable land – effect based levels and long-term. Oai:DiVA.org:norden-1559
- Sternbeck J, Allmyr M, Frankki S. (2014)
Bedömning av påverkan från lakvatten inom REVAQ. Rapport nr 2014-03
- Svenskt Vatten (2013)
Slamanvändning och strategier för slamanvändning. ISSN nr: 1651-6893
- Svenskt Vatten (2014)
Årsrapport 2013
- Svenskt Vatten b
Frågor & svar om REVAQ, uppströmsarbete, fosfor och slam
- Svenskt Vatten c
<http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Avlopp-och-Miljo/Vanliga-fragor-om-avlopp-och-miljo/> 2015-05-18
- Törneman N., van Praagh M., Bjarke M., Johansson M., Ingelstedt L. & Hallgren P. (2014)
Organiska ämnen i slam – en prioritering för slamåterföringen. Svenskt Vatten Rapport Nr 2014–09

8. Bilaga 1 – Statement of Contribution

Allt arbete har utförts tillsammans förutom bakgrunden där Stephanie har skrivit om REVAQ och ekotoxicitetstester och Nicole har skrivit det andra.

Nicole Norlin

Stephanie Asplén



Besöksadress: Kristian IV:s väg 3
Postadress: Box 823, 301 18 Halmstad
Telefon: 035-16 71 00
E-mail: registrator@hh.se
www.hh.se