



HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

Miljöstrateg 180hp

EXAMENSARBETE



Silverkontaminerat slam, hur påverkas markens organismer?

En litteraturstudie kring silvrets toxiska effekt i mark.

Amanda Modig

Examensarbete i Miljövetenskap 15hp

Halmstad 2016-06-30

Amanda Modig
Miljöstrateg 180 hp
Högskolan i Halmstad

Silverkontaminerat slam, hur påverkas markens organismer?

- En litteraturstudie kring silvrets toxiska effekt i mark

Handledare: Per Magnus Edhe

Examinator: Sylvia Waara

Halmstad 30 Juni 2016

Abstract

Background: Today's use of antibacterial silver in everyday products leads to silver contaminated effluent that ends up in wastewater treatment plants. A nutrient-rich sludge produced by the wastewater treatment plant can be used as a fertilizer on cropland. Since silver is known to have antibacterial properties the aim of this study is to investigate the effects of silver on soil systems and soil organism.

Results: The lowest concentration of silver NM300K was 0,56 mg/kg and it inhibited the nitrate production in the soil by 16%. Silver nitrate inhibited the microbial mass in soil by 50%. At a lower concentration of silver nitrate 0,19 mg/kg the nitrite production increased in the soil. The number of soil bacteria decreased in the silver contaminated soil in comparison with the control group. An PVP coated silver nanoparticle was more toxic to nitrification bacteria than uncoated silver nanoparticles was.

Conclusion: Silver is toxic to soil, however, no concentration can be established for all soil organisms as different types of silver compounds have different properties depending on size, shape, surface and what they react with in the nature.

Keywords: Silver ions, nanosilver, sludge, toxic, soil, effect

Sammanfattning

Bakgrund: Dagens användning av antibakteriellt silver i vardagsprodukter leder till att silverförorenat avlopp hamnar i reningsverken. Ett näringsrikt slam bildas i reningsverken och används som växtnäring på jordbruksland. Ett problem som kan uppstå är att silverföroreningarna ifrån slammet överförs till mark. Eftersom silver är känt för sina antibakteriella egenskaper så är syftet med denna studien att undersöka silvrets effekt på jord och marklevande organismer.

Resultat: Den lägsta koncentrationen på **0,56 mg/kg** silvret NM-300K hämmade nitritproduktionen i jorden med 16%. Silverniträt hämmade den mikrobiella massa i jord med 50% efter 7 dygn. Vid lägre silverkoncentrationer på 0,19 mg/kg gynnades nitritproduktionen i mark istället. Antalet markbakterier sjönk i den silverkontaminerade marken i jämförelse med kontrollgruppen. En PVP täckt silvern nanopartikel visade sig vara mer toxisk mot nitrifikations bakterier än en silver nanopartikel otäckt yta.

Slutsats: Silver har visat sig vara toxisk mot mikroorganismer i mark, dock kan ingen gemensam toxisk koncentration fastställas för alla markorganismer då olika typer av nanosilver och silverföreningar har olika effekt beroende på vilken storlek, form, yta och vad de omvandlas till i naturen.

Nyckelord: silver joner, nanosilver, slam, toxisk, mark

Innehållsförteckning

1 Inledning	7
1.1 Syfte	9
1.2 Avgränsningar	9
1.3 Frågeställningar	9
1.4 Mål	9
1.5 Metod	9
2 Bakgrund	10
2.1 Skillnaden mellan nanosilver och silverjoner	10
2.2 Nanosilvrets flöde igenom samhället	10
2.3 Vattenorganismernas känslighet mot silver	11
2.4 Bakterier	12
2.5 Hur fungerar nanosilver antibakteriellt mot mikroorganismer?	12
3 Resultat	13
3.1 Silvrets utbredning i samhället	13
3.2 Silvrets öde i naturen	14
3.4 Silver i mark	15
3.5 Silvrets effekt på markorganismer	16
3.5.1 Påverkan på nitritproduktion och mikrobiell massa av silvret NM-300K och AgNO ₃	16
3.5.2 Nanosilvrets påverkan på bakterier i rhizosfären och den omgivande marken	20
3.5.3 Nanosilvrets påverkan på markens mikrobiella samhälle	20
3.5.4 Nanosilvrets påverkan på nitrifikations processer i marken	21
3.5.5 Silvret påverkan på denitrifikations processer i mark	21
3.5.6 Silvrets påverkan på nitrifikation, AOB aktiviteten och bakterier i marken	22
3.5 Juridiskt regelverk	24
3.5.1 Europeisk lagstiftning	24
3.5.2 Svenskt gränsvärde för silver i slam	25
3.5.3 REVAQ	25
4 Diskussion	26
4.1 Utvärdering av studierna	26
4.2 Utvärdering av metoderna i studierna	27
4.3 Möjliga felkällor	29
5 Slutsats	30
6 Referenser	31

Förord

Denna litteraturstudie är en kandidatuppsats, skriven vid Högskolan i Halmstad under våren 2016. Anledningen till varför jag valde just detta ämnet är för att jag tycker att spridning av silver ute i naturen via slam är ett miljöproblem som bör uppmärksammas mer.

Jag vill tacka min handledare Per Magnus som alltid ställt upp och givit mig nya idéer och infallsvinklar till uppsatsen. Vill även tacka Cecilia Press ifrån Ryaverket i Göteborg som kunnat svara på mina frågor kring silver och slam.

Ett stort tack till min pojkvän som också skrev sitt examensarbete samtidigt som mig och vi kunde bolla idéer tillsammans.

Halmstad, juni 2016

Amanda Modig

Definiering av ord och enheter

Silvernanopartikel – En partikel som består av 20-15 000 silver atomer och har en storlek mellan 1 till 100 nm.

En mikrometer = 1 miljondels meter = 1 tusendels millimeter

En nanometer = 1 miljarddels meter = 1 miljondels millimeter

En mikrometer = 1000 nanometer

Biologisk reningsprocess – En process i reningsverket där man använder sig av mikrobakterier för att de föroreningar ska samlas ihop och sedimentera bort.

Mikrobiell biomassa – Ett mått på massa av levande organiskt material i marken som bakterier och svamp.

NM-300K – En typ av nanosilver storleken 20 nm.

Mikrokosmos – Är ett litet artificiellt ekosystem i tex en burk för att kunna undersöka beteendet i ett ekosystem ute i naturen.

Eukaryoter – Organismer som har celler med arvs massa i cellkärna.

EC₅₀- Halv maximal effekt koncentration, är en koncentration av ett ämne där 50% av responsen är observerad.

LC₅₀- Halv letal koncentration, är en koncentration av ett ämne där en letal respons har observerat på 50% av organismerna som studeras.

NOEC – Står för ”No observed effect concentration” betyder ingen observerad effekt koncentration.

1 Inledning

Första gången i historien där slam användes på åkermark var år 1940 då Lantbrukshögskolan utförde ett försök för att använda slam som växtnäring (Augustinsson 2003). Misstanken om att föroreningar i slam från reningsverket överfördes till jordbruket uppmärksammades och började debatteras år 1980. Där efter bestämde LRF Lantbrukarnas Riksförbund att avråda jordbrukarna att använda sig av slam på jordbruk på grund av att föroreningarna och metaller sprids ut i naturen (Augustinsson 2003). Slammet som bildas som en restprodukt i reningsverket avspeglar dagens användning av kemikalier i samhället väldigt bra eftersom alla kemikalier som används följer med avloppet till reningsverket (Johansson 2011).

De senaste åren har silverhalterna i avloppsslam sjunkit, det beror på att fotoindustrin har digitaliserats och användningen av silver i dentala och medicinska verksamheter har minskat. Tandläkare använde sig länge av amalgam för tandfyllningar och amalgam innehåller kvicksilver men även silver. Amalgam är förbjudet sedan 1994 (Motion 1994/95:So444) och har ersatts med plastkompositer (Naturvårdsverket 2014; Gryaab 2014). Reningsverket Ryaverket i Göteborg har det senaste decenniet märkt att silverkoncentrationen i slam har sjunkit med 15% men trenden de senaste åren är att halterna inte längre minskar (Gryaab 2011). Anledningen till varför silverkoncentrationerna i avloppsvattnet har slutat att sjunka är för att silver har introducerats i vanliga konsumentprodukter för antibakteriellt syfte som tex kläder och hygienprodukter. Dessa blir då nya utsläppskällor av silver till avloppsvatten (Diener & Palme 2012).

I dag är det väldigt vanligt att människor vill ha det väldigt rent runt omkring sig, allt ska vara lukt och bakteriefritt. Producenter tar detta till sin fördel och lanserar produkter som är silverbehandlade för att de ska ha antibakteriella egenskaper. Silver fungerar väldigt bra som en antimikrobiell agent eftersom den är väldigt toxisk mot mikroorganismer (Prabhu & Poulouse 2012). Därför silverbehandlas till exempel träningskläder för att bakterierna som skapar dålig doft skall dö och på så sätt förhindra att en doft bildas (Kemikalieinspektionen, 2011). Produkterna som blivit silverbehandlade marknadsförs som miljövänliga av branschaktörerna eftersom de påstås att ingen odör kommer att bildas och därför leder till färre tvättar. Studier visar dock att konsumenternas tvättvanor inte förändras alls (Damm 2011) och att vid varje tvätt lossnar silverjoner från plagget (Arvidsson, Molander & Sanden 2014). Kemikalieinspektionens rapport som gjordes år 2011 kom fram till att efter tio tvättar ger silvret i textilen ingen antibakterielleffekt alls eftersom 60% har tvättas ur (Kemikalieinspektionen 2011). Allt detta silver som kommer till reningsverket hamnar tillslut i slammet. En studie som utfördes av Schlich m.fl (2013) visade att 90% av silvret som

hamnar i reningsverket blir bundet till slammet, resterande hamnar i vattenmiljön (Kotsch & Finnson 2013). I studien uppmärksammades även att avlopp som innehåller olika typer av silver absorberas olika mycket i slam. Till exempel ett avlopp med en silvernanopartikel koncentration på 1,6 mg/L visade att 82-100% ansamlades i slammet, medan ett avlopp innehållande en silvernitratt koncentration på endast 0,4 mg/L ansamlade 87%-100% av silvret i slammet.

Silver i jonform är den mest toxiska formen av silver (Naturvårdsverket, 2014) **och är även den metall som är mest toxisk mot vattenlevande organismer** (Eisler 1996; Ratte 1999; Luoma 2008). Nanosilver är idag den vanligaste formen av silver för antibakteriella syftet och utgör också en fara för miljön (Project on Emerging Nanotechnologies 2012). Silvernanopartiklar löses upp till silverjoner i akvatiska miljöer och blir därför toxisk mot vattenlevande organismer (Prociak, Stoklosa & Banach 2015; Navarro m.fl 2012). När silverföroreningar tvättas ur kläder och andra varor hamnar det förorenade avloppet i avloppsreningsverk (Persson 2005; Prociak, Stoklosa & Banach 2015). I reningsverket bildas ett slam som en restprodukt, vilket är väldigt näringsrikt och kan användas som gödsel till jordbruksland (Andersson 2009). I slammet finns fosfor som är en ändlig resurs och som måste tas till vara då den är viktig för människan och växter (Johansson 2011). I regeringens proposition 2000/01:130 bestämdes att fosfor som finns i slam från reningsverk skall ingå i ett kretslopp och därför skall återföras från stad tillbaka till land. Slammet som bildas i reningsverken används till gödsling av åkrar, detta förhindras då det blivit kontaminerat med silver och andra tungmetaller (Arvidsson & Boholm 2013; (Albertsson, Börling, Kudsk & Kvarmo 2014).

Naturvårdsverket har tidigare haft i uppdrag av regeringen att skriva en aktionsplan om återföring av fosfor från avlopp, i rapporten nämns bestämmelser från miljöpropositionen 2004/05:150 där fokuset ligger på att återföringen av slam till jordbruk ska ske så länge inte spridning av metaller, organiska miljöföroreningar eller smittor sprids ut i naturen. Det är ett av problemen med silverkontaminerat slam, att kvaliteten inte är tillräckligt bra på slammet för att kunna ha ett kretslopp utan att tungmetaller sprids i naturen, bland annat silver. Det antibakteriella silvret i vardagsprodukter som ackumuleras i slam beräknas att hamna i terrestra miljöer (Blaser, Scheringer, MacLeod & Hungerbühler 2008).

Om silvernanopartiklar hamnar i jord kan den påverka jordens kvalitet, grödornas utveckling och skörd negativt (Anjum, Gill, Duarte, Pereira & Ahmad 2013). Studier har även visat att silverkontaminerat slam som applicerats på jordbruksmark haft en negativ inverkan på jordens mikroorganismer och processer (Schlich, Klawonn, Terytze & Hund-Rinke 2013). Med bakgrund av mitt intresse för miljöfrågor och de eventuella risker som silverkontaminerat slam kan orsaka på

markens organismer finner jag det av stort intresse att sammanfatta om nanosilver och silverjoners påverkan på markens funktioner.

1.1 Syfte

Syftet är att göra en litteraturstudie kring silverkontaminerat slam och analysera vilka konsekvenser det ger på marklevande organismer.

1.2 Avgränsningar

I denna litteraturstudie används endast effektstudier från kortare försök. Det betyder att i huvudsak har akuta effekter på enskilda mikroorganismer eller samhällen av mikroorganismer sammanställts. Studierna som användas i studien är inom tidsintervallet år 2005-2016.

1.3 Frågeställningar

1. Hur tar sig silvret ifrån samhället ut till naturen? Vilka halter finns i slam och mark idag?
2. Vilka effekter kan påvisas och vid vilka koncentrationer kan effekt uppmätas?
3. Vilken lagstiftning och gränsvärden finns idag för silver i slam?
4. Vilka risker finns det för markorganismer med att applicera silverkontaminerad slam på mark?

1.4 Mål

Målsättningen med projektet är att göra en litteraturstudie om silvrets toxicitet mot marklevande organismer.

1.5 Metod

För att identifiera de artiklar som var relevanta för arbetet användes databasen SUMMON och Google Scholar. Sökorden som användes var silver ions, nanosilver, sludge, toxic, soil, effect. Genom att läsa igenom sammanfattningen på artiklarna kunde en bedömning ske om studierna var relevanta för denna litteraturstudien eller inte. De artiklar som varit mest värdefulla i mitt arbete var från Naturvårdsverket då de hade mycket relevant information om slam och silver i Sverige. Ryaverket i Göteborg kontaktades för att ta del av deras information om silver och vilka problem som de har upplevt med silver.

2 Bakgrund

2.1 Skillnaden mellan nanosilver och silverjoner

Silver i fast form är ett grundämne som tillhör ädelmetallerna och har låg reaktivitet, grundämnets namn förkortas med Ag (Andersson, S. m.fl., 2012). Silverjoner är en silveratom som har underskott på elektrisk laddning och silver i jonform (Ag^+) **är den mest toxiska formen av silver** (Naturvårdsverket, 2014). Nanosilver är silverpartiklar som är mellan 1 nm -100 nm i diameter (Beer, Foldbjerg, Hayashi, Sutherland & Autrup 2011) och består av 20-15 000 silveratomer (Anjum m.fl. 2013). Nanosilvret har en väldigt stor yta i förhållande till sin storlek och kan därför frigöra silverjoner (Naturvårdsverket 2014).

Nanosilver är den form av silver som används allra mest på marknaden för antibakteriellt syfte (Project on Emerging Nanotechnologies 2012) och används idag mest i textilier (Arvidsson, Molander & Sandén 2011). År 2004 användes 30 ton silver i antibakteriellt syfte i Europa (Blaser m.fl 2008) och enligt studien som Arvidsson & Boholm (2011) har gjort visar prognoser att nanosilver användningen troligen kommer att öka i framtiden. I samband med att användningen av silver ökar så kommer även miljön att få negativa effekter av det.

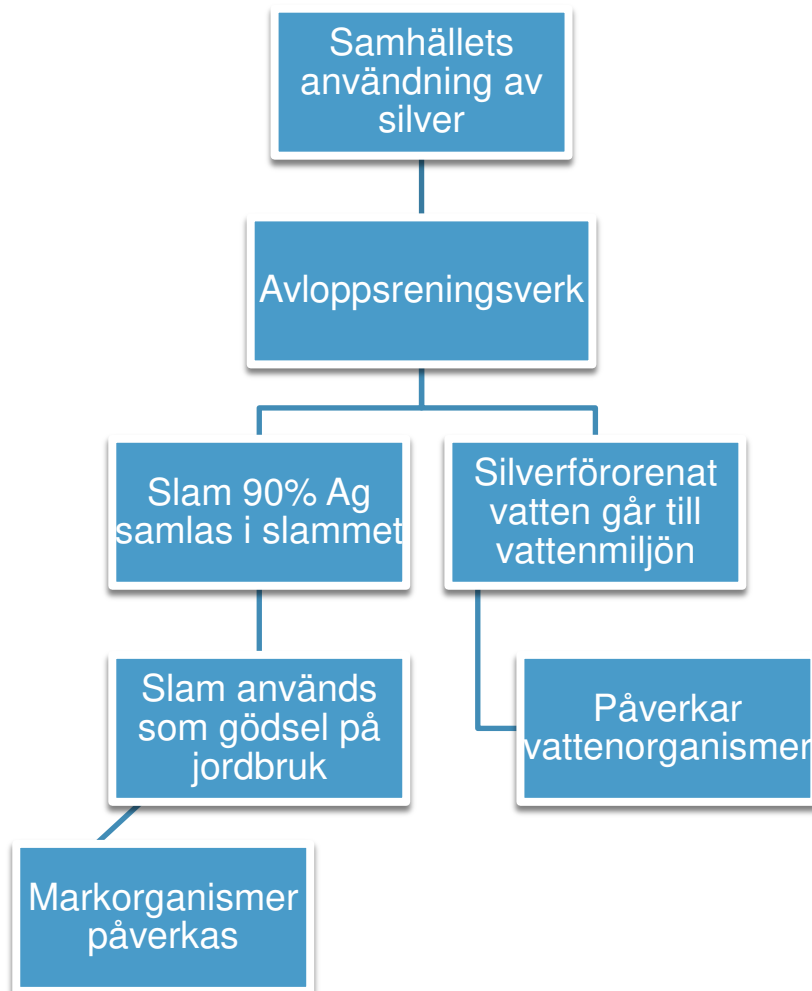
2.2 Nanosilvrets flöde igenom samhället

Användningen av silvernanoartiklar i vardagliga produkter ökar, därför kommer även silverföreningar som når reningsverket att öka (Gottschalk, Sonderer Scholz & Nowack 2009). Väl i reningsverket binder silver till olika grundämnen och bildar föreningar som silversulfid (Ag_2S) och silverklorid (AgCl). Silverjoner reagerar lätt med svavel som är en svag bas och bildar Ag_2S (Stumm, & Morgan 1981). Silverjoner reagerar även lätt med klor och bildar AgCl . AgCl och Ag_2S är mindre toxiska i jämförelse med silverjoner (Blaser et al., 2008; Levard).

Silver har varierande giftighet beroende på i vilken form den omvandlas till i naturen, det är avgörande i hur toxiskt de blir mot vattenlevande- och markorganismer (Kaegi m.fl. 2013). Slammet som bildas i reningsverket används som växtnäring på jordbruksmark (Johansson 2011), silverföreningar hamnar i marken via slammet (Blaser et al 2007). En studie visade att 90% av silvret binds till slammet i reningsverket (Schlich m.fl 2013), resterande kommer ut i vattendragen (Kotsch & Finsson 2013).

Regeringen har år 2006 kommit fram till delmålet *"2015 skall minst 60 % av fosfor i avlopp återföras till produktiv mark, varav hälften bör återföras till jordbruksmark"*. Delmålet uppnåddes inte enligt Naturvårdsverkets sammanställning, endast 30% av slammet användes på jordbruksmark (Naturvårdsverket 2011). Det nya etappmålet är att till 2018 öka slam återföringen till jordbruk till

40 %, dock krävs det då att slammets blir fritt från oönskade ämnen (Naturvårdsverket 2013). Silver har en låg mobilitet i mark och därför ackumuleras lätt i marken efter varje applicering (Schlich m.fl 2013). Det silverkontaminerade slammets som sprids ut på jordbruksland förorenar endast marken då den stannar kvar på plats där den applicerades (Gottschalk m.fl 2009).



Figur 1. Bilden illustrerar ett förenklat flödesschema över hur silver tar sig från samhället ut till naturen.

2.3 Vattenorganismernas känslighet mot silver

Silver i jonform är en av dem mest toxiska metallen mot akvatiska organismer och kan därför ge negativa långtidseffekter i den akvatiska miljön när silver hamnar i vattendrag (KEMI 2011). Som tidigare nämnt ansamlas 90% av silvret i reningsverk medan resterande kommer ut i direkt vattendragen (Schlich m.fl 2013; Kotsch & Finnson 2013). Silverjoner är mycket giftigt mot alger, bakterier, kräftdjur och ger en akuttoxisk effekt där 50% dör vid 0,0005 – 0,0015 mg/L

(Naturvårdsverket 2014). Även silvernanoartiklar anses vara väldigt toxiska mot vattenlevande organismer och har en EC50/LC50 längre än 1 mg/L för fisk, kräftdjuret daphina och alger (European Commission 2014). Fiskar är väldigt känsliga mot silvernanoartiklar och studier har visat att silvernanoartiklar vid olika koncentrationer är toxiska under olika moment i utvecklingen (Griffitt, Hyndman, Denslow & Barber 2009; Yeo & Kang 2008; Bilberg, Hovaard, Besenbacker & Baatrup 2012).

2.4 Bakterier

Silverjoner, nanosilver och andra silverföreningar är väldigt toxiska mot mikroorganismer, därför används antibakteriellt silver ofta i form av silvernitratt och nanosilver mot bakterier. Silvernitratt frigör mycket silverjoner och har därför en god antibakteriell effekt och även nanosilver då de har en stor yta i förhållande till sin storlek som bakterier kan bli exponerade av (Prabhu & Poulouse 2012). På grund av sina effektiva antibakteriella effekt mot bakterier används silver mycket inom sjukvården och i sportkläder. Eftersom bakterier även finns på vår hud som är viktig för oss har det funnits teorier om att silver behandlade plagg skulle rubba hudens naturliga bakterieflora. En studie utförd i Tyskland av Hohenstein Textile Testing institute (2011) är ett oberoende testinstitut och utförde en studie för att se om antibakteriellt behandlade kläder påverkar hudens bakterier. I studien undersöktes 60 friska personer, de fick bära antibakteriellt behandlade T-shirtar. Resultaten visade att antalet bakterier på huden och hudfloran förblev opåverkade.

2.5 Hur fungerar nanosilver antibakteriellt mot mikroorganismer?

Det finns många olika teorier kring hur den antibakteriella funktionen mot bakterier fungerar. Prabhu & Poulouse (2012) studie beskriver de olika teorierna som finns, en del av dem teorierna sammanställs nedan.

1. En av teorierna är att nanosilver fäster på bakteriecellens vägg och ansamlas i cellen.
2. Nanosilver formar fria radikaler som förstör cellmembranet och cellen dör.
3. En annan teori är att silvernanoartiklar penetrerar cellväggen på bakterien vilket resulterar i strukturella skador och slutligen celldöd.
4. Silvernanoartiklar släpper ifrån sig joner som kan reagera med tiol grupper och då kan stänga av livsviktiga enzymer i cellen som gör att den dör.
5. Silverjoner hämmar de respiratoriska enzymerna som skapar oxidativ stress (ROS) reactive oxygen species som är väldigt reaktiva syreföreningar som gör att cellen tillslut dör.

3 Resultat

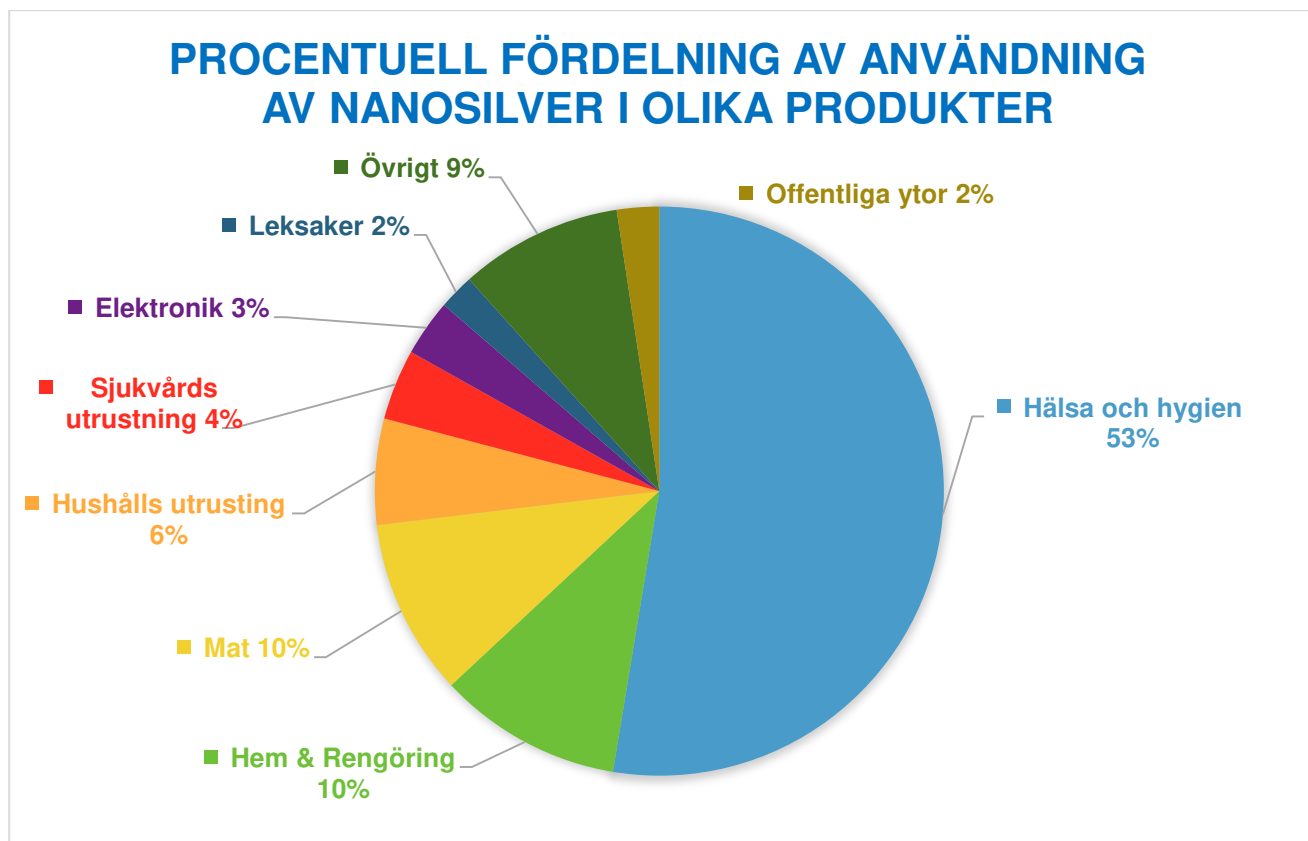
3.1 Silvrets utbredning i samhället

Silver har sedan urminnes tider använts i antibakteriellt syfte, ett av användnings områdena var att bevara drycker i silverkannor för att hålla dem bakteriefria. Idag är användningen av silver bred inom sjukvård men även inom andra kategorier (Naturvårdsverket 2014). En studie utförd i Virginia av Fauss (2008) i samarbete med Emerging Nanotechnologies sammanställde alla användningsområden som finns av silvernanoartiklar från elva länder. De medverkande länderna var USA, Storbritannien, Thailand, Taiwan, Korea, Singapore, Nya Zeeland, Japan, Iran, Tyskland och Kina. Se tabell 1.

Tabell 1. Tabellen sammanställer de olika kategorierna och vilka områden de omfattar.

Kategori:	Omfattning:
Hälsa och hygien	Kläder, personlig vård, kosmetika, sportartiklar och solkräm
Offentliga ytor	Bankomat knappsatsyta och busshandtag
Hushållsutrustning	Vitvaror, tvätt och klädvård, luft-, värme- och kylutrustning
Elektronik	Kameror, film, video, mobiltelefoner, hårdvaror till datorer, tv
Mat	Kosttillskott, matlagning och lagring av mat
Leksaker	Barn leksaker, spel
Sjukhustillbehör	Förband, medicinska instrument, läkemedel, sjukhus utrustning
Hem och rengöring	Färg, heminredning, byggvaror och rengöring
Övrigt	Tråd och beläggningar

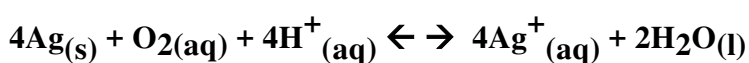
Den kategorin där mest nanosilver används inom är ”Hälsa och Hygien” som omfattar vardagliga varor som kläder, personlig vård, kosmetika, sportartiklar och solkräm. Enligt Fauss kan nanosilver även finnas i leksaker. De olika kategorierna i procentuell fördelning från studien presenteras nedan i ett cirkeldiagram.



Figur 2. Bilden illustrerar de olika användningsområden som silver används inom. De olika kategorierna är beskrivna i tabell 1.

3.2 Silvrets öde i naturen

I akvatiska miljöer kan silver finnas i jonform och i nanoform, men nanosilver har en förmåga att lösas upp till silverjoner i vattenmiljöer. När nanosilver reagerar i vattnet med lågt pH i aeroba förhållanden löses nanosilvret upp till silverjoner (Pulit-Prociak, Stoklosa & Banach 2015; Nowack 2010). Reaktionen nedan förklarar hur det sker:



(Pulit-Prociak, Stoklosa & Banach 2015; Nowack 2010)

Beroende på hur stora silvernanoartiklarna är sker upplösningen till silverjoner olika lätt.

Upplösningshastigheten är större hos mindre nanosilverpartiklar med en storlek mellan 14-15 nm än

hos partiklar mellan 2000 – 3500 nm (Angel, Batley, Jarolimek & Rogers 2013; Sotiriou & Prarsinis 2010). Ålder på nanosilvret spelar också roll för hur mycket silverjoner som löses upp, äldre silvernanopartiklar släpper ut fler silverjoner och är mer toxiska än ”unga” silvernanopartiklar (Kittler, Greulich, Diendorf, Köller & Epple, 2010). Därför finns det en stor risk till att silverjoner läcker ut till naturen genom olika hygienprodukter eller silverbehandlade plagg. Studier har dock visat att vissa organismer kan vara känsligare mot nanosilver trots att den i vissa fall inte omvandlats till silverjoner, därför måste även nanosilver hanteras med försiktighet (Elzey & Grassian 2010).

3.3 Gränsvärde för silver i slam

En studie utförd av Naturvårdsverket (2014) visar att 84 reningsverk i Sverige hade uppmätta koncentrationer av silver i slam. I den rapporten sammanställdes all information om silver och andra biocider mellan åren 2000 – 2013. I rapporten uppmärksammades att alla de testade slamproverna från 84 reningsverk hade halter av silver mellan 0,12-46 mg/kg (120-46 000 µg/kg) i torrslam och medianen låg på 1 mg/kg (1000 µg/kg) (Naturvårdsverket 2013). En studie utförd i Storbritannien undersökte silverhalten i slam i 28 reningsverk. Medianen för de olika silverkoncentrationerna i slammen var 1,7 mg/kg vilket är ett lite högre värde än det svenska uppmätta värdet på 1 mg/kg (Jones, Gardner & Ellor 2014; Naturvårdsverket 2013). Eftersom silver har bakteriedödande effekter finns det därför en risk att om slam kontaminerat med silver sprids ut på åkermark kan mikroorganismerna i markens ekosystem störas av silvret (Naturvårdsverket 2014). De reningsverk som hade halter av silver kring 1 mg/kg i slam skulle uppnå till Naturvårdsverkets föreslagna gränsvärde. De föreslagna gränsvärdena var att till 2015 får inte silver i slam överskrida 5 mg/kg torrslam, där efter sänkning till 4 mg/kg torrslam till år 2023 och därefter 3 mg/kg torrslam till år 2030.

3.4 Silver i mark

Större delen av det silver som hamnar i miljön från reningsverk ansamlas i jorden (0,3 - 30mg/kg) och i torrslam (0,22 - 21,93 mg/kg). Silver i höga koncentrationer i mark och vatten kan störa de naturliga bakterierna, därför är det viktigt att silverkontaminerat avloppsslam inte sprids ut på jordbruksland (Naturvårdsverket 2014). Observationer har visat att koncentrationen av silver fördubblas i marken efter bara några få decennier (Eriksson 2001). Redan år 1999 fastställde Ratte i sin studie att det finns en potentiell risk för att silvernanopartiklar som används i antibakteriellt syfte kan påverka ekosystemet i jord. I studien nämndes att de tänkbara riskerna skulle eventuellt vara att silvret kan påverka fosfor-, svavels- och kvävet kretslopp men även påverka mikroorganismerna i marken. Dagens studier stödjer Ratte's (1999) teori då Masrahi, VandeVoort & Arai (2014) studie visar att nitrifikationsbakteriernas aktivitet försämras av silver i mark.

Nitrifikationsbakterier gör om ammonium till nitrit och denna processen är nödvändig för att kvävet kretslopp ska kunna fungera, störs den av yttre faktorer som silver påverkas marken avsevärt (Masrahi, VandeVoort & Arai 2014). Silver i marken påverkar markens mikroorganismer vid mycket låga koncentrationer (Fogelfors m.fl., 2001). Nanosilver har enligt studier observerats att ha en negativ utveckling på gurka-, zucchini-, lök- och risplantor. De negativa effekter som observerats är att rötterna inte växer sig långa, försämrade tillväxt av biomassa och frögroning (Stampoulis, Sinha & White 2009; Anjum m.fl. 2013; Dimkpa 2014; Gardea-Torresdey, Rico & White 2014).

3.5 Silvrets effekt på markorganismer

3.5.1 Påverkan på nitritproduktion och mikrobiell massa av silvret NM-300K och AgNO₃

Schlich m.fl. (2013) gjorde en studie för att se vilka ekotoxikologiska effekter silvernano-partikeln NM-300K och silverniträt har på jordens olika funktioner, de olika funktionerna kommer att nämnas nedan. Jorden som användes i alla undersökningar i Schlich studie bestod av lerig mellan sur och mullartar sand. Studien utfördes på så sätt att en stimulering av ett avloppsreningsverk skedde genom att spika slammet ifrån ett reningsverk med silvernano-partikel NM300K och silverniträt under tio dagar och där efter applicera det på åkermark för att se vilka effekter det ger.

NM-300Ks påverkan på nitritproduktion

Schlich m.fl. (2013) undersökte vilken påverkan silvernano-partikeln NM-300K har på nitritproduktion i jord. Jordproverna studerades efter tidsintervallen 24h, 7 dygn och 28 dygn. Redan vid en koncentration på **0,56 mg/kg** av NM-300K uppmärksammade Schlich m.fl. (2013) att nitritproduktionen hämmades signifikant med 16% efter 24 timmar. ($0,05 \geq P \geq 0,01$).

När silver koncentrationen i marken var 1,67 mg/kg observerades att nitritproduktionen hämmades med **25,1% efter 24 timmar, 28,2% efter 7 dygn** och till **45,4% efter 28 dagar** ($P \leq 0,001$).

Ingen effekt på nitritproduktionen märktes när NM300K halten i jorden var lägre än 0,56 mg/kg. Därför blev NOEC <0,56 mg/kg för NM300K. I Tabell 2 finns alla intervaller och koncentrationer mer överskådligt presenterade.

Tabell 2. Olika koncentrationer av silver NM300K det finns i markproverna och efter vilket tidsintervall den hämmande effekten på nitritproduktionen mättes. Stjärnorna vid de procentuella siffrorna symboliserar signifikans i olika grader. * $0.05 \geq P \geq 0.01$; ** $0.01 \geq P \geq 0.001$; *** $P \leq 0.001$

NM300K påverkan på nitritproduktion (Nanosilver)		
Koncentration (mg/kg jord)	Tidsintervall	Hämmande effekt på nitritproduktion (%)
0,56	24h	16,0 *
	7 dygn	9,8**
	28 dygn	18,5***
1,67	24h	25,1***
	7 dygn	28,2***
	28 dygn	45,4***

Silvernitrats påverkan på nitritproduktion

Schlich m.fl. (2013) utförde även ett test på silvernitrats (AgNO_3) toxicitet på markens nitratproduktion. Studien visade att vid en silvernitrats koncentration på **0,19 mg/kg i jorden** hämmades inte nitritproduktionen efter sju dygn, istället stimulerades en ökad aktivitet signifikant med **19,4%**. När halten silvernitrats ökade i jorden till 1,67 mg/kg efter 24h då vände stimulansen på nitritproduktionen till en hämmande effekt på 25,5 %.

I tabellen nedan sammanställdes en del av tabellen från studien, i tabellen fram går det tydligt att när koncentrationen silvernitrats var 5 mg/kg i jorden var den hämmande effekten 71,5 %. Efter 7 dygn sjönk den hämmande effekten i marken till 64,4% och där efter ökade den hämmande effekten igen till 82,4% efter 28 dagar. NOCE beräknades vara 0,56 mg/kg i alla tidsintervall.

Tabell 3. Tabellen visar de olika koncentrationerna silver det finns i markproverna och efter vilket tidsintervall den hämmande effekten på nitritproduktionen mättes. Vid en negativ hämmande effekt tyder det på att nitrifikationen inte hämmades utan istället ökade. Stjärnorna vid de procentuella siffrorna symboliserar signifikans.

* $0.05 \geq P \geq 0.01$; ** $0.01 \geq P \geq 0.001$; *** $P \leq 0.001$

AgNO₃ påverkan på nitritproduktion		
Koncentration (mg/kg jord)	Tidsintervall	Hämmande effekt på nitritproduktion (%)
0,19	24h	-11,2
	7 dygn	-19,4 **
	28 dygn	-2,2
1,67	24h	25,5**
	7 dygn	17,5**
	28 dygn	16,1*
5.0	24h	71,5 ***
	7 dygn	64,4 ***
	28 dygn	82,4 ***
15,0	24h	90,9 ***
	7 dygn	90,1 ***
	28 dygn	97,2 ***

NM-300K påverkan på mikrobiell biomassa

I studien utfördes även en undersökning på hur mikrobiell biomassa påverkas av NM-300K och silvernitrat. NM-300K sänkte signifikant ($0,05 \geq P \geq 0,01$) den mikrobiella biomassan efter 7 dygn med 39,9% vid en koncentration på 0,56 mg/kg och största hämmande effekten som observerades var 73,2% då silver koncentrationen i jorden var 15 mg/kg. NOCE efter 7 dagar blev < 0,56 mg/kg.

Silvernitratets påverkan på mikrobiella biomassa

Alla koncentrationer hämmade den mikrobiella massan signifikant efter 24 h, med 19,9%-76,8%. Efter **7 dygn** då silvernitrat koncentrationen var mellan 0,56 – 5,0 mg/kg i jorden, stimulerades biomassans ökning mellan 12,3% till 25,1% istället för att hämmas. Efter 28 dagar då silvernitrat koncentrationen var 0,19 mg/kg i jorden var den hämmade effekten signifikant 43,6% ($P \leq 0,001$). Jämförs den hämmade effekten efter 24h och 28 dygn då silvernitrat koncentrationen var 0,19 mg/kg observerades att AgNO_3 var mycket mer toxisk mot den mikrobiella massan efter 24h (19,9%) än efter 28 dygn (-43,6%). Den lägsta noterade NOCE i de olika tidsintervallen som noterades var 0.19 efter 24 timmar. Se tabell 4.

*Tabell 4. Tabellen visar de olika koncentrationerna silver det finns i markproverna och efter vilket tidsintervall den hämmade effekten på nitritproduktionen mättes. Vid en negativ hämmade effekt tyder det på att nitrifikationen inte hämmades utan istället ökade. Stjärnorna vid de procentuella siffrorna symboliserar signifikans. * $0.05 \geq P \geq 0.01$; ** $0.01 \geq P \geq 0.001$; *** $P \leq 0.001$*

AgNO ₃ påverkan på mikrobiella biomassa		
Koncentration (mg/kg jord)	Tidsintervall	Hämmande effekt på nitritproduktion (%)
0,19	24h	19,9*
	7 dagar	0
	28 dagar	-43,6***
0,56	24h	48,2***
	7 dygn	-12,3
	28 dygn	-12,3
5,0	24h	59,8***
	7 dygn	-25,1
	28 dygn	-12,1
15,0	24h	76,8
	7 dygn	50,3
	28 dygn	3,6

3.5.2 Nanosilvrets påverkan på bakterier i rhizosfären och den omgivande marken

Sillen m.fl. (2015) använde sig av otäckta silvernanoartiklar med storleken 20 nm i diameter för att studera påverkan på majsplantor, påverkan på svampar och bakterier i rhizosfären och den omgivande jorden. Jorden som användes i studien samlades upp ifrån ett jordbruksland i Diepenbeek i östra Belgien, efter uppsamlingen siktades till 6 mm och blandades igenom mekaniskt i fem minuter. Jorden hade ett neutralt pH, bestod av 50 % sand, 30% silt, 15% lera. För att kunna bedöma i studien om silver har en påverkan på rhizosfären och den omgivande jorden användes 120 krukor med 1 kg jord, i hälften av de 120 krukorna tillsattes 100 mg/kg silvernanoartiklar. Majsfröna blötlades i vatten innan de såddes. Efter 16, 25, 39, 52 och 75 dagar skördades plantorna och jorden som var fäst till rötterna och utanför användes för mikrobiella analyser. Statistiska signifikanta skillnader uppmärksammades mellan kontrollgruppen och den nano silver exponerade marken och rhizosfären. Den mikrobiella aktiviteten var högre hos den icke exponerade gruppen, medan för den silver exponerade gruppen försämrades den mikrobiella aktiviteten på rhizosfären efter skörd dag 39 och 75. ($p < 0,1$ och $p < 0,05$). Sillen m.fl. (2015) påstod att enzymer i marken som behövs för att utföra FDA hydrolys i marken hämmas av silvernanoartiklar. Med hjälp av olika metoder i studien uppmärksammades toxicitet emot bakterier i marken, effekten skilde sig åt i olika skörd tider. Studien visade att nanosilver är toxiskt mot bakterier i marken redan vid låga doser. I studien visades även att svampkulturen påverkades av silvret men ingen signifikant skillnad hittades.

3.5.3 Nanosilvrets påverkan på markens mikrobiella samhälle

Pietrzak & Gutarowkska (2015) har gjort en studie och undersökt vilken påverkan nanosilver har på mikrobiella samhällen i mark. De använde sig av jordprover från jordbruksmark i Polen i staden Syberia. Jordproverna förbereddes genom att lösa upp 10 g jord i 100 ml destillerat vatten, därefter omskakades proverna i 30 minuter och filtrerades. 45mg/kg silvernanoartiklar tillsattes i jordproverna som sedan inkuberades i 24 timmar, för att sedan analysera de mikrobiella samhällena i jordproverna. Deras studie visade att bakterier i marken är känsligare för silver än svampar, det uppmärksammades vid en koncentration på 45 ppm (45mg/kg) silver. De la även märke till att nanosilver minskade antalet mikroorganismer i marken. I undersökningen observerades att silvernanoartiklar slogs ut de fyra känsligaste svamp arterna med 90% i marken. Arterna var *Alternaria alternata*, *Penicillium glabrum*, *Candida* sp., *Cryptococcus laurentii*. *Cellulomonas* sp. ($P < 0,05$). Däremot fanns det andra svamparter som inte alls visade samma känslighet mot silvernanoartiklar. Pietrzak & Gutarowkskas undersöknings resultat kring antalet bakterier i marken reduceras signifikant ($P < 0,05$) med 90% i marken då nanosilver tillsattes i jämförelse med kontrollgruppen.

3.5.4 Nanosilvrets påverkan på nitrifikations processer i marken

Masrahi, VandeVoort & Arai (2013) undersökte hur nitrifikations processerna påverkas av silver. Olika typer av silver användes i studien, silverjoner, nanosilver med otäckt yta på 50 nm och Polyvinylpyrrolidone (AgNP-PVP) täckta silvernanopartiklarna med storleken 15 nm. De olika silver typerna tillsattes i jordprover. Jorden som användes i studien var från ett ekologiskt jordbruk i Clemson, South Carolina i USA.

I studien visade det sig att silvernanopartiklar med PVP täckt yta hämmade nitrifikationen mycket mer än silverjoner under samma dos trots att silverjonen är den formen av silver som har starkast antibakteriell effekter mot bakterier. En annan upptäckt var att PVP täckta silvernanopartiklar släppte ut mycket mer silverjoner än icke täckta silvernanopartiklar. Efter fem dagar släppte PVP-AgNP 7,9-8,7 mg/L silverjoner medan AgNP-otäckt yta släppte ut mindre än 0,55 mg/L. I studien beskrivs det att silvernanopartiklar som är PVP täckta har en egenskap att stabilisera partikeln mot aggregation och öka spridningen av den.

Silverjoner

Vid 1 mg/L silverjoner blev nitrifikationens aktiviteten signifikant större på 2,05 mg NO₃-/Kg/h i jämförelse med kontrollgruppen. ($p < 0.01$). När silverjon koncentrationen ökade i marken till 10mg/L sjönk nitrifikations aktiviteten med ca 60% i jämförelse med den lägre koncentrationen på 1mg/kg silverjoner.

Silver nanopartikel med otäckt yta (Uncoated silvernanoparticle)

Vid en koncentration på 1mg/L av Ag NP – otäckt yta uppmärksammades att ingen effekt på nitrifikations aktiviteten i jämförelse med kontrollgruppen. AgNP-PVP i samma koncentration hade en negativ effekt på nitrifikations processen då aktiviteten sjönk till 0,80 mg/ NO₁-kg/h. Däremot när koncentrationen AgNP-otäckt yta ökade till 10, 100 och 300 mg/L sjönk nitrifikations produktionen till 1,13; 0,73, och 0.16 mg NO₃/kg/g. En koncentration på 1 mg/L AgNP- PVP visade en högre effekt på nitrifikation än otäckt AgNP.

3.5.5 Silvret påverkan på denitrifikations processer i mark

Throbäck m.fl (2007) utförde en studien där undersökte silvernitrats (AgNO₃) påverkan på denitrifikations processer i mark och hur fort processerna återhämtar sig. I studien användes en jord med pH 7.8 som bestod av lera, organisk kol och kväve. Denna jorden kom ifrån Alunda i Sverige och innehöll redan 2,4 mg silver/torrmark. 19 burkar fylldes med 500 g jord, i 16 av dem tillsattes AgNO₃ och dessa mikrokosmos undersöktes i 90 dagar. Koncentrationen AgNO₃ tillsattes i jorden och varierade mellan 0,003 – 100 mg Ag/kg i de 16 burkarna, de resterande tre blev kontrollgrupper.

Throbäck m.fl uppmärksammade att när 100 mg Ag/kg AgNO₃ tillsattes till jordproverna hämmades denitrifikations aktiviteten med 80% och ingen återhämtning av aktiviteten observerades efter 90 dagar. I studien jämför de sitt resultat med (Johansson m.fl 1998) där de i den studien kom fram till en liknande respons där denitrifikations aktiviteten hämmades och att jorden inte återhämtade sig. I studien illustrerades silvrets påverkan på denitrifikationen med hjälp av fyra diagram ett för varje tids intervall, 14, 30 och 90 dagar. Alla diagram visade samma mönster, en sigmoid funktion där ingen återhämtning av denitrifikations bakterierna uppmärksammades i jorden och att efter 90 dagar var silvret fortfarande biotillgängligt.

I studien hittades ingen gemensam EC50, de olika EC50 värdena som uppmättes visade ingen trend, efter 1,14,30 och 90 dagar och värdena var 7,7; 10,4; 7,4; 6,2 Ag/kg mark.

I studien misstänks att EC50 gränsen var dubbel så hög än i en jämförelse en annan studie, på grund av att silver halten redan var hög i marken som studerades (2,4 mg/kg). Denna höga bakgrunds halten av silver kan ha gjort att denitrifikations bakterierna utvecklat en tolerans mot silver och därför visat ett så högt värde i Thorbäck's studie. I studien undersökte de även den genetiska variationen bland bakterier i marken, de uppmärksammade att variationen ökade när silver halten ökade. Detta är något flera andra studier också har uppmärksammat, (Kozdroj 2001; Muller, Westergaard, Christensen, 2001; Moffett, Nicholson, Uwakwe, Chambers, Harris & Hill 2003). Throbäck's m.fl. 2007 hypotes kring detta är att i marken konkurrerar många bakterier om ekosystemet och slås ett bestånd ut kan de gynna en annan och därför ökar den genetiska diversiteten trots att vissa andra studier fått ett resultat där den biologiska diversiteten sjunker.

3.5.6 Silvrets påverkan på nitrifikation, AOB aktiviteten och bakterier i marken.

I Shiying m.fl (2016) använde sig av jord från Kina som bestod av sandig lerjord. Jordproverna förbereddes genom att tillsätta olika koncentrationer av nanosilver i storleken 5 µm och rördes ordentlig om. De olika koncentrationerna som tillsattes i jordproverna var 0,1 mg/kg, 1 mg/kg och 10 mg/kg silver.

Antalet bakterier i marken:

I studien uppmärksammade att antalet mark bakterier i marken sjönk signifikant i de jordprover som var silverkontaminerade, silvret hade dock ingen effekt på eukaryoter.

I jämförelse med kontrollgruppen som hade ett bakterieantal på $3,2 \times 10^{10}$ st/jord, bakterieantalet sjönk signifikant med ökande silver koncentration ($P < 0.05$). Vid en silver koncentration på 0,1 mg/kg Ag sänktes bakterieantalet till $2,9 \times 10^{10}$ st/jord, vid en lite högre silver koncentration på 1mg/kg Ag sänktes bakterie ännu mer till $2,5 \times 10^{10}$ st/jord och vid den högsta silver koncentrationen i marken 10mg/kg Ag sjönk bakterieantalet ytterligare till $2,0 \times 10^{10}$ st/jord. Resultaten av bakterieantalet och silver koncentration i mark är sammanställda i tabellen nedan.

Tabell 5. Bakterieantalet i förhållande till silverjonkoncentration.

Silver koncentration	Bakterieantal
Kontrollgrupp utan Ag	$3,2 \times 10^{10}$ st/jord
0,1 mg/kg Ag	$2,9 \times 10^{10}$ st/jord
1mg/kg Ag	$2,5 \times 10^{10}$ st/jord
10mg/kg Ag	$2,0 \times 10^{10}$ st/jord

Mikrobiell massa

I studien beräknades även den mikrobiella metabolismen i marken genom att mäta värme utvecklingen ifrån jorden. Jorden med silver koncentrationerna 1mg/kg och 10mg/kg i marken ökade den mikrobiella metabolismen i marken signifikant i jämförelse med kontrollgruppen ($P < 0.05$). Jorden med den lägsta silver koncentrationen 0,1 mg/kg visade ingen effekt alls på den mikrobiella metabolismen.

Tabell 6. Illustrerar den ökande silver koncentrationen i förhållande till metabolism aktiviteten

Silver koncentration	Metabolism aktivitet
Kontroll grupp utan silver	5.3×10^{-10} J
0,1 mg/kg Ag	Ingen effekt alls
1mg/kg Ag	6.0×10^{-10} J gene copy ⁻¹
10mg/kg Ag	7.2×10^{-10} J gene copy ⁻¹

Nitrifikation

I studien undersöktes även nitrifikation och Shiying m.fl (2016) observerades att alla silver

kontaminerade jordprover fick signifikant sänkt nitrifikation aktivitet ($P < 0.05$). I kontrollgruppen utan silver var nitrifikationen på 112.0 mg NO_3^- - N Kg/jord, vid en silverkoncentration på 0,1 mg/kg sänkte nitrifikationen till 94mg NO_3^- -N kg/jord, vid en silverkoncentration på 1mg/kg sänktes nitrifikationen till 81,1 mg NO_3^- -N kg/jord och vid den högsta silver koncentrationen i jord sänktes nitrifikations processen till 49 mg NO_3^- -N kg/jord. I tabell 7 redovisas alla resultaten.

Tabell 7. Illustrerar den ökande silver koncentrationen i förhållande till metabolism aktiviteten.

Silverkoncentration	Nitrifikation aktivitet
Kontrollgrupp utan silver	112.0 mg NO_3^- - N Kg/jord
0,1 mg/kg	94mg NO_3^- -N kg/jord
1mg/kg	81,1 mg NO_3^- -N kg/jord
10mg/kg	49 mg NO_3^- -N kg/jord

AOB (Ammonia-oxidizing bacteria) aktivitet

I studien mätte de även AOB aktiviteten (ammonia-oxidizing bacteria) och dessa oxiderar ammoniak till nitrit ihop med AOA (ammonia-oxidizing archaea).

Jordproverna som innehöll silver sänkte AOB aktiviteten signifikant från med 40% vid den högsta koncentrationer av silver 10 mg/kg ($P < 0.05$).

3.5 Juridiskt regelverk

3.5.1 Europeisk lagstiftning

Den nya biocid förordningen EU's biocidförordning 528/2012 trädde i kraft 2013 och ersätter biociddirektivet 98/8/EG. Det den omfattar är att användningen av biocidprodukter i Europa ska ske under en hög skyddsnivå för människor och miljö och omfattar även nano produkter. Nedan nämns några av biocidförordningens krav kring nano material och biocider som tex silver.

(Kemikalieinspektionen 2016; EU 528/2012)

- Produkten ska vara tydligt märkt när den innehåller biocider

- Namnet på den verksamma biociden skall vara given
- Biocidens funktion i produkten måste beskrivas på varan
- EUs medlemmar måste informera tillverkare om nanomaterialets potentiella risker som de utgör för människa och miljö Om biociden består av nano skall ”nano” framgå i namnet

3.5.2 Svenskt gränsvärde för silver i slam

Idag finns det lagstiftning som ger riktlinjer för föroreningsinnehållet för slam som sprids på åkermark, Naturvårdsverket SNFS 1994:2, förordning SFS 1998:944 och SNFS 1998:4. REVAQ certifierade reningsverk har också krav och regler kring föroreningsinnehållet på slammet så att det har en god kvalitet (Finnsen 2015). Trots dessa lagstiftningar finns inget specifikt gränsvärde för silver i slam idag. Idag finns bara förslag som tidigare nämndes i denna studie, naturvårdsverket har tagit fram vilket gränsvärden silver i slam borde ha eftersom silver är en långlivad metall som ansamlas i åkermarken. Naturvårdsverket tog fram dessa gränsvärden eftersom silver är ett ämne där det är brist på kunskap kring växternas upptag. I Naturvårdsverkets (2014) föreslås för år 2015 gränsvärden på 5 mg/kg torrslam, där efter sänkning till 4 mg/kg torrslam till år 2023 och därefter 3 mg/kg torrslam till år 2030. I samma rapport finns förslag för maximal tillförsel av metaller till jordbruksmark. I rapporten står att den maximala tillåtna mängden silver per hektar för 2015 är 3,5 g/ha, för år 2023 sjunker gränsvärdet till 3g/ha år 2023 där efter för år 2030 till 2,5 g/ha. Dessa gränsvärden är bara förslag och gäller inte idag lagstadgat, men det är en process som så småningom leder till ett gränsvärde (Naturvårdsverket 2013).

3.5.3 REVAQ

Revaq står för ”Ren växtnäring i kretslopp” och arbetar för att minska farliga ämnen till reningsverk och för att en hållbar återföring av växtnäring ska ske från reningsverk till jordbruk. REVAQ är ett nationellt certifieringssystem och syftet med det är att minska risken för att oönskade ämnen att ackumuleras i jordbruksmarken. År 2014 fanns 40 certifierade reningsverk i Sverige (Finnsen 2015), i hela landet finns det sammanlagt 2000 reningsverk. De anslutna reningsverken jobbar efter REVAQ’s regler för att bland annat förbättra avloppet och slamkvaliteten, så kallat uppströmsarbete.

4 Diskussion

4.1 Utvärdering av studierna

Sillen m.fl (2015) studie låg fokuset på hur plantor påverkas av silvernanopartiklar, den delen valdes bort av den anledning att denna litteraturstudien endast omfattar vad som sker i marken. Enligt naturvårdsverket innehöll alla 84 studerade reningsverk i Sverige en silverkoncentration mellan 0,12-46mg/kg silver i slam, en av studierna som omfattades i mitt arbete visade att när silvret NM300K koncentrationen låg på 0,56 mg/kg i jord så hämmades nitritproduktionen i marken med 16%. Det visar att det kan finnas en risk att om slam sprids ut på marken med en silverkoncentration på 0,56 mg/kg kan nitritproduktionen hämmas. För att kunna fastställa ett säkert gränsvärde för silver i slam är det väldigt viktigt att veta exakt vad slammet innehåller. Till reningsverk kommer många olika former av silver, alla dessa har olika egenskaper och olika toxicitet mot mark organismer. Därför kan det vara svårt att veta om Naturvårdsverkets silvernivåer i 84 reningsverk (0,12-46mg/kg) är ekvivalenta mot NM300K toxicitet då den koncentrationen låg på 0,56mg/kg.

En annan viktig aspekt att ta hänsyn till är att äldre silvernanopartiklar kan släppa ifrån sig en större mängd silverjoner än ”unga” silver nano partiklar och därför blir mer toxiska. (Kittler, Greulich, Diendorf, Köller & Epple, 2010). Det kan vara orsaken till varför jordprovet innehållande NM300K i Slisch m.fl 2013 studie observerades att den hämmande effekten på nitritproduktionen ökade ju längre tiden gick. I studien innehöll ett jordprov en koncentration på 1,67 mg/kg av silvernano partikeln NM300K, efter 24 h hämmades nitritproduktionen med 25,1%, efter 7 dygn ökade den hämmande effekten till 28,2% och på dag 28 ökade den till 45,4%.

En intressant observation kring nitritproduktion i mark var att vid en lägre koncentration av AgNO_3 (0,19 mg/kg) ledde till en gynnade effekt på nitritprocesserna istället för en hämmande effekt (Schlich m.fl 2013). I Throbäck m.fl (2007) studie observerades att den genetiska variationen bland bakterier ökade i markprover som innehöll AgNO_3 . Deras spekulation kring varför den genetiska variationen ökade misstänks vara för att AgNO_3 kan ha konkurrerat ut ett annat bestånd av marklevandeorganismer som i sin tur har gynnat den bakteriella diversiteten hos bakterierna. Utifrån den hypotesen kan resultatet i studie Schlich m.fl 2013 förklara ökningen till varför silvernitrat stimulerade nitritprocesserna i marken.

Throbäck m.fl 2007 resultat i deras studie kan ha blivit missvisande eftersom de studerade jord som redan hade en bakgrund silver halt på 2,4 mg/kg, det kan ha orsakat att denitrikfikations bakterierna

kan anpassa sig till yttre stress och därför anpassa sig silver koncentrationen som redan fanns i den jorden de undersökte i. Det har gjorts väldigt lite forskning kring hur hög tolerans markorganismer kan utveckla mot silver.

Eftersom silverjoner ofta binder till AgCl och Ag₂S så minskar toxiciteten. Med detta i tanke skulle en slutsats kunna dras att silver i slam inte är farligt då de binder till grundämnen och bli svårlösta föreningar i slammet. Trots det är inte silver tillräckligt undersökt och framförallt inte heller nanosilver, därför är det väldigt svårt att säga vad utfallet blir då toxiciteten kan skilja sig åt beroende på i vilken omgivning silvret hamnar i. Eftersom toxiciteten av silver mot markorganismer kan variera väldigt mycket kan det leda till att Naturvårdsverket förslagna gränsvärde kanske inte är tillräckligt strikt då denna litteraturstudien visar att olika silversorter kan vara olika toxiska mot olika markorganismer vid olika koncentrationer. Där hjälper REVAQ's certifieringssystem till då man med hjälp av den försöker att eliminera tungmetaller ifrån reningsverk så mycket som möjligt vilket leder till att mindre tungmetall kontaminerat slam appliceras på jordbruksland. EU's biocidförordning 528/2012 leder till att nanomaterial som silver blir mer kontrollerat och på så sätt minskar på silvrets användning i samhället.

4.2 Utvärdering av metoderna i studierna

Anledningen till varför jag inte har diskuterat metoderna i studierna är för att de hade olika metoder och eventuellt olika reliabilitet och det göra det svårt att jämföra studierna i mellan varandra. I denna litteraturstudien prioriterades kortare tidsintervall på silver påverkan på mark, därför valdes en del av Schlich m.fl 2013 studie bort då den studien studerade silvrets effekt på mark i ett tidsspann på upp till 180 dagar. Schlich m.fl. (2013) studie var den enda av de övriga fem studierna i denna litteraturstudien som undersökte silvrets påverkan på mark genom att stimulera ett reningsverk som bildade ett slam som blivit silverkontaminerat och därefter applicera det som växtnäring på mark. De andra studierna spikades jorden direkt med olika silverformer, detta kunde leda till missvisande resultat där det inte går att dra en slutsats om hur marken påverkas av slam som innehåller silver. Silvret i slammet ifrån ett reningsverk kan ha andra effekter mot marken och ibland kan vara lägre toxiskt beroende på vad silvret har bundit till. Som tidigare nämnt kan silver binda till olika föreningar som är mindre toxiska och ibland till mycket mer toxiska former. I de övriga studierna i denna litteraturstudien var metoden att spika marken direkt med olika typer av silver för att se hur olika markfunktioner påverkas och vid vilka koncentrationer. På grund av de olika metoderna är det svårt att dra en slutsats och göra en jämförelse eftersom det finns många faktorer kan kemiskt påverka silvrets öde i naturen och dess toxicitet mot markensorganismer.

Båda metoderna har sina fördelar, den ena metoden där jordprover spikas med en typ av silver i olika koncentrationer silverformer för att då kan andra processer i marken uteslutas som har påverkat resultatet och en säkrare koncentration kan fastställas där olika organismer och funktioner påverkas. I detta fallet är det svårt att dra en klar slutsats över hur silver i slam påverkar marken, eftersom den ytermiljön och silvrets kemiska beteende är avgörande för effekterna. Detta ämnet kring näringsåterföring via slam till jordbruk är väldigt aktuellt, då en strävan efter ett hållbart samhälle upprätthålls och där man vill hantera resurserna varsamt. Därför bör mer forskning i ämnet att utföras för att skydda miljön från spridning av tungmetaller.

Ett förslag till framtida forskning är att kombinera de ovan nämnda metoder i en studie. Till exempel att silvernanopartikel NM300K undersöks i en studie med två metoder där det sedan går att jämföra dem. Den ena metoden skulle vara att jordprover spikas vid en koncentration på tex 1 mg/kg och tar fram resultat på hur nitrifikationen påverkas. Därefter i samma studie görs en till undersökning där metoden som används är att samma mängd av silvret NM300K finns i slam som sedan appliceras på jordprover, detta slammet tas fram från ett simulerat reningsverk så att man med säkerhet kan säga att slammet inte innehåller andra former av silver som kan påverka resultatet. När dessa två olika metoder har används analyseras resultaten mellan varandra och därefter dras en slutsats på vid vilken koncentration silvernanopartikel NM300K är farlig mot nitrifikation. Problemet som återstår är att i ett riktigt reningsverk kan man inte med all säkerhet veta exakt vilka typer av silver som finns i det, då man inte vet vilka former av silver som har nått reningsverket ifrån samhället. På grund av det blir det svårt att fastställa en gemensam silver koncentration som inte är farlig för alla markorganismer.

Det bästa är att ändra på konsumenternas köp som innehåller silver och på så sätt minska mängden silver som når reningsverket. Trots att studierna inte går jämföra i denna litteraturstudien så pekar de olika resultaten i studierna mot att de olika silver typerna är toxiska mot markorganismer vid olika koncentrationer. Fortsatt forskning kring ämnet bör ske för att en tydligare silverkoncentration kan fastställas för de olika silvertyperna, försiktighetsprincipen bör tillämpas vid slam som innehåller silver eftersom osäkerheterna kring silver är stora.

Denna litteraturstudien bidrar till bred kunskap kring problemet med silver i konsumentprodukter och hur det påverkar marken. Den upplyser även brister som finns som kan påverka framtida forskningsmetoder för att lättare dra slutsatser kring silvrets toxicitet mot olika organismer i mark. Den här litteraturstudien har följt riktlinjerna för en god forskningsetisk genom att ingen plagiering har utförts, granskning av artiklar har skett så noga som möjligt och har studerats opartiskt.

Denna litteraturstudien är väldigt aktuell idag då användningen av silver i konsumentprodukter har ökat samtidigt som ett kretslopp mellan stad och land måste ske för att återföra näring och fosfor. För att kunna skapa ett hållbart samhälle är det viktigt att bevara resurser genom kretslopp och att det inte leder till att farliga ämnen som silver sprids i naturen. Eftersom ämnet är så viktigt krävs fortsatt forskning kring ämnet där silvrets öde i mark studeras och där efter ett tydligt gränsvärde tas upp.

4.3 Möjliga felkällor

Under arbetet med litteraturstudien insåg jag att det finns många olika typer av silver, med olika ytor, storlekar, former och det påverkar silvrets öde i naturen men även hur toxiska de blir (Kaegi m.fl. 2013). Det gjorde att utförandet av litteraturstudien blev svårare då avgränsningen inte var tillräcklig. Detta kan vara en orsak till felkällor i denna litteraturstudien eftersom ingen tydlig avgränsning antogs tidigt, i efterhand insåg att alla olika former av silver har olika toxicitet och organismer reagerar olika starkt på olika silverföreningar.

I början var avgränsningen inte så snäv medan i slutet blev avgränsningen större då fokusen riktades mot mark organismernas påverkan på silver. I början låg fokusen på hur silver påverkar reningsverk och jordbruket. Denna förändring i avgränsning kan ha lett till att många relevanta studier kan ha missats och på grund av tidsbrist inte hunnit få med i arbetet. En annan felkälla som är möjlig är att när fokusen ändrades till markorganismers påverkan av silver är att kunskapen kring markorganismer och dess funktion inte var tillräckligt stor hos mig. Studierna innehöll många främmande termer och processförklaringar som var svårtolkade.

I litteraturstudien har jag använt mig av en studie som jag varit tveksam till, det är en student på textilhögskolan i Borås som har gjort ett examensarbete om silverjoner i kläder. Damm J (2011) har undersökt konsumenters tvätt vanor vid användning av silver behandlade kläder och hur länge den antibakteriella effekten håller i sig efter "x" antal tvättar. Först stötte jag på denna källan i en av Naturvårdsverkets rapport 6634, eftersom naturvårdsverket är regeringens centrala miljömyndighet antog jag då att denna källan måste vara en bra källa. När jag analyserade denna insåg jag att många av källorna i den var från tidningar som "Göteborgs posten", det sänkte min tro. Därför sökte jag upp en annan källa som bekräftar samma sak som Damm J. (2011) att silverjoner läcker ut ifrån kläder. En annan källa som verkade mindre trovärdig är Hohenstein Textile Testing institute (2011), enligt hemsidan så skall den vara en oberoende testinstitut som utför tester till konsumenter och företag. Trots att det står på hemsidan att de är en oberoende testinstitut finns det risk att det kan

uppstå en jävsituation mellan företag och institutet då resultaten kan vinklas för att företaget skall vinna på det.

5 Slutsats

Denna litteraturstudien visar att silver är toxisk mot markorganismer men det är svårt att dra en generell slutsats kring vid vilken koncentration det sker på då silver i vissa fall har gett en förbättring i markfaunan. Som tidigare nämnt i studien så kan silver lösas upp till mer toxiska former men ibland kan silver förenas med andra grundämnen och bilda svårösliga och mindre toxiska föreningar. Det kan därför vara svårt att bedöma vilken effekt silvret kommer att ge i olika ekosystem. Denna studien kan inte användas av reningsverk då den inte är tillräckligt avgränsad för att ge konkreta svar om alla former av silver som når avloppsreningsverk. För att kunna göra det krävs det mer forskning kring de olika formerna av nanosilver och andra former av silver som når reningsverken. En ökad kunskap och forskning kring hur olika organismer påverkas är också essentiell för att kunna bedöma riskerna med silver i mark.

6 Referenser

Andersson, S., Jörnland, L., Rosén, B., Rydén, L., Sonesson, A., Svahn, O., Stålhandske, B., Tullberg, A., (2012) *Gymnasiekemi 1*, 2 uppl., Liber

Andersson, P.-G., (2009) *Slamspridning på åkermark, Fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och lund under åren 1981-2008*, Hushållssällskapet

Angel, B., M., Batley, G., E., Jarolimek, C., V. & Rogers N., J. (2013) *The impact of size on the fate and toxicity of nanoparticulate silver in aquatic systems*. *Chemosphere*, Vol. 93(2), ss. 359-65. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.04.096

Anjum, N., A., Gill S., S., Duarte, A., C., Pereira, E., Ahmad, I., (2013) *Silver nanoparticles in soil/plant systems*, *Journal of nanoparticle research*, Vol. 15, ss. 1896-7, doi: 10.1007/s11051-013-1896-7

Albertsson, B., Börling, K., Kudsk, T & Kvarmo P. (2014) *Riktlinjer för gödning och kalkning 2015*, Malmö: Jordbruksinformation, 12-2014.

Arvidsson, R., Molander, S. & Sandén, B., A. (2011) *Impacts of silver-coated Future*. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 15(6), 844-854, DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00400.x

Arvidsson, R. & Boholm, M., 2013, *Controversy over antibacterial silver: implications for environmental and sustainability assessments*, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 68, ss. 135-143 DOI:10.1016/j.jclepro.2013.12.058

Arvidsson, R., Boholm, M., Molander, S., Sandén, B., A., (2014), *Assessing the Environmental Risks of Silver from Clothes in an Urban Area*, *Human and Ecological Risk Assessment*, Vol. 20, ss. 1008–1022, DOI: 10.1080/10807039.2012.691412

Augustinsson, H. (2003). *Växtnäring från avlopp: historisk, kvalitetssäkring och lagar*. Stockholm: Naturvårdsverket, Rapport 5220

Beer, C., Foldbjerg, R., Hayashi, Y., Sutherland, D. & Autrup, H. (2012). *Toxicity of silver nanoparticles – Nanoparticle or silver ions?* *Toxicology Letters* Vol. 208, ss. 286–292, doi:10.1016/j.toxlet.2011.11.002

Bilberg, K., Hovgaard, M.B., Besenbacher, F. and Baatrup, E (2012) *In Vivo Toxicity of Silver Nanoparticles and Silver Ions in Zebrafish*, *Journal of Toxicology*, Vol. 2012, Article ID 293784. DOI: 10.1155/2012/293784

Blaser, S., A., Scheringer, M., MacLeod & Hungerbühler K., (2008) *Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: Contribution of nano-functionalized plastics and textiles*, *Sci Total Environ*, Vol. 390 (2-3), ss. 396–409

Damm, J., (2011) *Silver i "luktfria" kläder en stinkande lösning*, Examensarbete för kandidatexamen i Textil Produktutveckling & Entreprenörskap Textilhögskolan Borås

Diener, D., L., Palme, U., (2012), *Silver i produktkedjan: Från konsumentvaror till avloppsslam med aktörsperspektiv*, Stockholm: Svensk Vatten AB, Rapport nr. 2012-18

- Dimkpa C., O., (2014) *Can nanotechnology deliver the promised benefits without negatively impacting soil microbial life?*, Journal of basic microbiology, Vol 54, ss. 889-904, DOI 10.1002/jobm.201400298
- Eisler R. (1996), A review of silver hazards to plants and animals. In Andren AW, Bober TW. (eds.) Proc. 4th Int. Conf. Transport, Fate and Effects of Silver in the Environment, Madison, Wisconsin, ss. 143–144.
- Elzey S., Grassian H. V. (2010) *Agglomeration, isolation and dissolution of commercially manufactured silver nanoparticles in aqueous environments*. Journal of Nanoparticle Research, Vol. 12, ss. 1945-1958.
- Eriksson, J., (2001), *Halter av 61 spårelement i avloppsslam, stallgödsel, handelsgödsel, nederbörd samt i jord och gröda*, Stockholm: Naturvårdsverket, Upplaga 400, Rapport 5148
- European Commission, (2014) *Nanosilver: safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance*.
- EU 528/2012. (2012) Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 528/2012 om tillhandahållande på marknaden och användning av biocidprodukter.
- Fauss, E., (2008), The silver nanotechnology commercial inventory, Project on emerging nanotechnologies, University of Virginia.
- Finsson, A. (2015) *REVAQ Årsrapport 2014*, Stockholm: Svenskt Vatten.
- Fogelfors, H (2001): *Växtproduktion i jordbruket – Natur o Kultur/LT:s förlag*.
- Gardea-Torresdey, J.,L., Rico, C., M., White, J., C., (2014) *Trophic Transfer, Transformation, and Impact of Engineered Nanomaterials in Terrestrial Environments*, Environmental Science & Technology, Vol. 48 (5), ss. 2526-2540, DOI: 10.1021/es4050665
- Griffitt, R.J., Hyndman, K., Denslow, N.D. and Barber, D.S., (2009) *Comparison of molecular and histological changes in Zebrafish gills exposed to metallic nanoparticles*. Toxicol. Sci. Vol. 107 (2): ss 404-415, doi: 10.1093/toxsci/kfn256
- Gryaab (2011). *A strategy for reducing pollutants at the source in order to obtain sustainable agricultural recycle of wastewater sludge*. Göteborg
- Gottschalk F., Sonderer T., Scholz W., R. & Nowack B. (2009) *Modeled environmental concentrations of engineered nanomaterials (TiO₂, ZnO, Ag, CNT, Fullerenes) for different regions*. Environ. Sci. Technol. Vol.43, ss. 9216-9222.
- Johansson, B. (red) (2011). *Återvinna fosfor – hur bråttom är det?*. Stockholm: Forskningsrådet Formas
- Johansson, M., Pell M & Stenström (1998) *Kinetics of substrateinducted respiration (SIR) and denitrification: application to soil amended with silver*. Vol. 27 ss. 40-44
- Jones, V., Gardner, M., Ellor, B., (2014) *Concentrations of trace substances in sewage sludge from 28 wastewater treatment works in the UK*, Chemosphere, Vol. 111, ss. 478-484

Kaegi, R., Voegelin, A., Ort, C., Sinnet, B., Krismer, J., Hagedorfer H., Elumelu, M & Mueller, E. (2013) *Fate and transformation of silver nanoparticles in urban wastewater systems*. Water Research, 3866-77. doi: 10.1016/j.watres.2012.11.060.

Kemikalieinspektionen (2011), *Antibakteriella ämnen läcker från kläder vid tvätt, – analys av silver, triklosan och triklokarban i textilier före och efter tvätt*, Bromma: Kemikalieinspektionen, (PM 4/11)

Kemikalieinspektionen (2016) *Regler för biocidbehandlade varor*. Tillgänglig: <https://www.kemi.se/global/faktablad/faktablad-om-regler-for-biocidbehandlade-varor.pdf> [Hämtad 2016-05-16]

Kittler, S., Greulich, C., Diendorf, M., Köller, M. & Epple M. (2010) *Toxicity of Silver Nanoparticles increases during storage because of slow dissolution under release of Silver Ions*, Chemistry of Matter, Vol. 22(16) ss. 4548-4554, DOI: 10.1021/cm100023p

Kotsch, M., Finnson, A. (2013) *Svenskt Vattens och Stockholm Vattens syn på avfallskvarnar innehållande silver*, Stockholm, Svenskt Vatten & Stockholm Vatten.

Kozdroj J (2001) *Microbial reaction to soil contamination with Cd(II) at different temperatures*. Microbiol Res, Vol. 155, ss. 285–290.

Luoma, S., N. (2008) *Silver nanotechnologies and the environment: Old problems of new challenges?* Woodrow Wilson Internation Center for Scholars, Project on Emerging Nanotechnologies.

Masrahi, A., VandeVoort, A., R., Arai, Y., (2014) *Effects of Silver Nanoparticle on Soil-Nitrification Processes*, Arch Environ Contam Toxicol, Vol. 66, ss. 504–513, DOI 10.1007/s00244-013-9994-1

Moffett B.,F., Nicholson F.,A., Uwakwe N.,C., Chambers B.,J, Harris J.,A. & Hill TCJ (2003) *Zinc contamination decreases the bacterial diversity of agricultural soils*. FEMS Microbiol Ecol Vol. 43 ss. 13–19.

Muller AK, Westergaard K, Christensen S. & Sørensen S.,J. (2001) *The effect of long-term mercury pollution on the soil microbial community*. FEMS Microbiol Ecol Vol. 36 ss. 11–19.

Månsson, L., (2014), *Slamkvalité i Skåne län Nutida och framtida utmaningar*, Malmö: Länsstyrelsen Skåne, 2014:2

Naturvårdsverket, (2009) *Vilka halter av miljöfarliga ämnen hittar vi i miljön?* Stockholm: Naturvårdsverket, Rapport 6301

Naturvårdsverket (2011) *Miljömålen på ny grund. Naturvårdsverkets utökade årliga redovisningar av miljökvalitetsmålen 2011*. Bromma: Naturvårdsverket, Rapport 6420

Naturvårdsverket, (2013) *Hållbar återföring av fosfor*, Bromma: Naturvårdsverket, Rapport 6580

Naturvårdsverket, (2014) *Biocidersspridning i miljön och deras hälso- och miljörisker – Screening år 2000-2013*, Bromma: Naturvårdsverket, Rapport 6634

Naturvårdsverket (2015), *Antibacterial treatment of clothes – does it really have an effect? –*

Measurement of antibacterial effect of treated apparel before and after washing. Stockholm: Kemikalieinspektionen, PM 8/15

Nowack, B. (2010) *Nanosilver Revisited downstream*. Vol. 330, Science, Vol. 330, ss. 1054-1055. DOI: 10.1126/science.1198074

Navarro, E., Baun, A., Behra, R., Hartmann, N. B., Filser, J., Miao, A. J., Quigg, A., Santschi, P. H., Sigg, L. (2008) *Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi*. Ecotoxicology, Vol. 7(5), ss. 372-86, doi: 10.1007/s10646-008-0214-0

Persson, G., (2001), *Svenska miljömål – delmål och åtgärdsstrategier*. (2000/01:130)

Persson, O. P. (red.) (2005). *Miljöskyddsteknik*. Stockholm: Industriell Ekologi KTH

Persson, S., Skårvik, K., (1995) *Motion 1994/95:So444*, Socialutskottet

Pietrzak, K., Gutarowska, B., (2015) *Influence of the silver nanoparticles on microbial community in different environments*. Acta biochimica Polonica, Vol. 62, No 4/2015, ss. 721-724

Pulit-Prociak, J., Stokłosa K. & Banach, M. (2015) *Nanosilver products and toxicity*, Environmental Chemistry Letters, Vol. 13, ss. 59–68, DOI 10.1007/s10311-014-0490-2

Project on Emerging Nanotechnologies, (2012) Analysis. Woodrow Wilson International Center for Scholars and the Pew Charitable Trusts, Washington, DC.

Prabhu, S., Poulouse, E., K. (2012) *Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications and toxicity effect*, International Nano Letters, Vol. ss. 32

Ratte, H., T., (1999) Bioaccumulation and toxicity of silver compounds: A review, Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 18, No. 1, pp. 89-108

Ringholm, B., *Regeringens proposition*, (2005), Stockholm (2004/05:150)

Schlich, K., Klawonn, T., Terytze K. & Hundrunke K. (2013) Hazard assessment of silver nanoparticle in soil applied via sewage sludge, Environmental Sciences Europe, Vol: 25 ss. 17

Shiying, H., Youzhi, F., Jun, N., Yufang, S., Lihong, X., Yanfang, F., Yingliang, Y., Xiangui, L. & Linzhang, Y. (2016) *Different responses of soil microbial metabolic activity to silver and iron oxide nanoparticles*. Chemosphere, Vol.147 ss. 195–202

Sillen, W., M.A., Thijs, S, Abbamonfi, R., G., Janssen, J., Weyens, N., White, C., J. & Vangronsveld, J. (2015) Effects of silver nanoparticles on soil microorganisms and maize biomass are linked in the rhizosphere. Soil Biology & Biochemistry Vol. 91 ss.14-22.

Silver S. (2003) *Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds*, FEMS Microbiol Rev., Vol. 27(2-3) ss. 341-53

Sotiriou, G. A., Pratsinis, S.E. *Antibacterial Activity of Nanosilver ions and particles*,(2010),
Environ. Sci. Technol., Vol. 44,(14), ss. 5649-5654, DOI: 10.1021/es101072s

Stampoulis, D., Sinha, S., K., White, J., C., (2009) *Assay dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants*. Environmental Science & Technology, Vol. 43(24), ss. 9473-9479

Stumm, W., Morgan, J., J., (1981), *Aquatic chemistry*, Wiley, ss. 780

Throbäck, I., N., Johansson, M., Rosenquist, M., Pell, M., Hansson, M. & Hallin, S. (2007) *Silver (Ag^+) reduces denitrification and induces enrichment of novel nirK genotypes in soil*. FEMS Microbiol Lett., Vol.270(2), ss. 189-94.

Amanda Modig



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