UPPSALA
UNIVERSITET

Kan ökad användning av syntetiskt nanosilver vara en potentiell fara för mikrobiella samhällen i mark?

Sabina Risén Rimfors

Independent Project in Biology
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, vårterminen 2015
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

Sammandrag

Nanosilver är en metall som börjat användas allt mer i konsumentprodukter på grund av sina antibakteriella egenskaper. Idag framställs det syntetiskt och vi finner partiklarna i allt från skönhetsprodukter och hushållsapparater till diverse textiler. Allt vanligare är att vi ser kläder som annonseras som luktfria då de blivit antibakteriellt behandlade med nanosilver. I och med en ökad användning av nanosilver i var människan hem, finns det också en risk för ökade utsläpp av partiklarna i våra reningsverk. Från reningsverken kan de sedan ta sig ut i naturen via gödsling med rötslam. Partiklarna kan då komma att påverka bakterierna i mikrobiella samhällen i marken. Studier som gjorts på mikrobiella samhällen vid exponering för nanosilver har visat på att de kan komma att påverka samhällena negativt. Dessa har visat på både en minskning av bakterier samt att det skett ett skifte i vilka arter som är representerad efter behandlingen. De grupper av bakterier som anses mer känsliga för nanosilver är gramnegativa bakterier och aeroba bakterier. De gramnegativa bakterierna är i riskzonen på grund av att de har en tunnare cellvägg som silverpartikeln lättare kan penetrera, väl i organismen orsakar nanosilver oxidativ stress genom att reagera med syre. Grampositiva och anaeroba bakterier tycks därför vara mer motståndskraftiga då dessa två faktorer inte blir ett lika stort problem för dem. Forskningen pekar också på att bakterier som är involverade i det biokemiska kretsloppet av kväve är extra känsliga, detta kräver dock mer forskning då det finns motsägelsefulla resultat i fältet. På det stora hela kan vi se att nanosilver påverkar bakterierna i marken men till vilken grad är fortfarande oklar. Därför bör mer forskning göras, speciellt forskning som sker över en längre tid då effekterna av nanosilver kanske inte visar någon betydande effekt i framtiden.

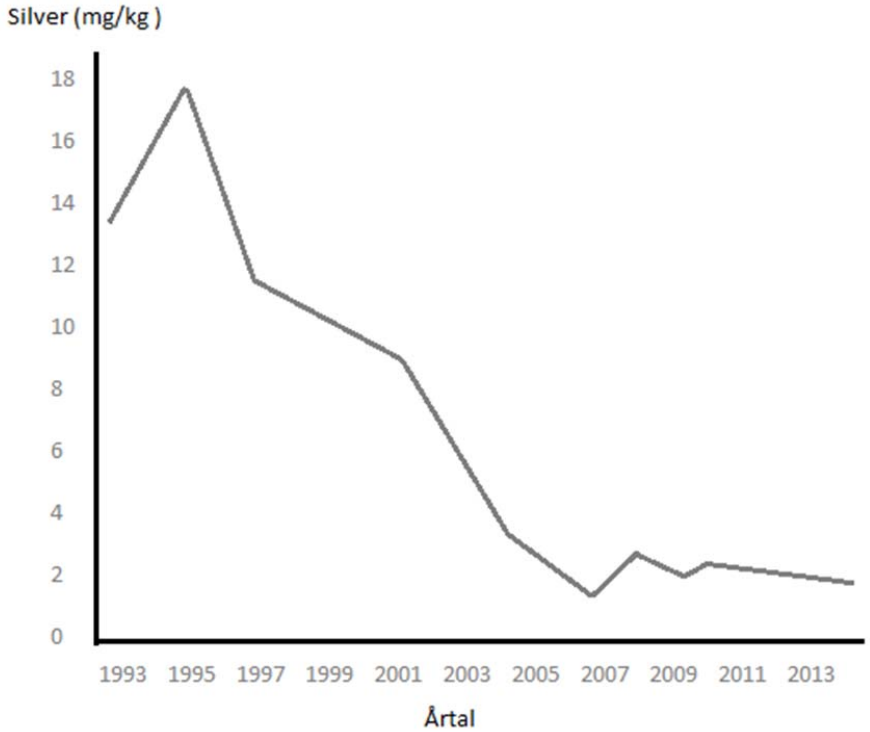
Inledning

Tekniken utvecklas kontinuerligt för att öka levnadsstandarden för människan och nya produkter kommer ut på marknaden varje dag. En ökad produktion medför ett hot mot både människor och miljö då många produkter kan innehålla substanser som vi ännu inte vet tillräckligt mycket om. Ett ämne som blivit allt vanligare i konsumentprodukter är metallen silver. Silver har tidigare använts främst i smycken, mynt, prydnader och i fotoindustrin men har idag fått ett allt bredare användningsområde.Detta på grund av ny teknik som gett möjligheten att inkorporera silver i nanoskala in i produkterna.

Redan 1000 år före Kristus var silvers bakteriedödande effekt känt och har på grund av denna egenskap länge använts inom sjukvård (Russell & Hugo 1994). Idag finner vi det i bland annat sårsalvor och förbandsmaterial (Livsmedelsverket 2014). Att silver kan verka som en antimikrobiell agent leder till att det är attraktivt att använda i konsumentprodukter för att förhindra bakterietillväxt då det samtidigt anses ofarligt för människor i låga doser (Lee *et al*. 2007). Forskare har också sett att nanosilver har en större toxisk effekt på prokaryota organismer än på eukaryota organismer vid låga koncentrationer (Panacek *et al*. 2006, Kvitek *et al*. 2011, Greulich *et al.* 2012). I databasen ”Project on Emerging Nanotechnologies” kan vi finna ett hundratal produkter innehållandes nanosilver. Här finner vi allt från hushållsapparater och skönhetsprodukter till diverse olika textiler (Nanotechproject.org 2015). Även om silver inte räknas till de essentiella näringsämnena kan vi också se en ökad användning av kolloidalt silver i kosttillskott även om det är förbjudet i Sverige. (Livsmedelsverket 2014). Tack vare sina antibakteriella egenskaper görs forskning för att kunna applicera nanosilver i ett bredare spektrum inom sjukvården, då det dels skulle kunna vara ett alternativ till antibiotika för att det

visat sig ha en bakteriedödande effekt även på multiresistenta bakterier (Chaloupka *et al.* 2010, Humberto *et al.* 2010). Sjukvården kan därför också bli en stor framtida användare av nanosilver.

Innan fotoindustrin blev digitaliserad kunde vi se höga halter av silver i våra reningsverk men genom digitaliseringen har dessa halter sjunkit markant. På senare år har denna trend brutits och halterna silver har börjar planat ut (Figur 1) (Göteborgs stad 2013). Genom en ökad användning av silver kan en ökad spridning av silver ske ut i naturen både från sjukvården och var människas hem. På grund av att silver har börjar användas i textilier, framförallt sportkläder och sockar som marknadsförs som luktfria då de blivit antibakteriellt behandlad med nanosilver, sker utsläpp av silver när vi tvättar våra kläder. I en studie av Kemikalieinspektionen (2011) kunde de se att efter tio tvättar hade 10 – 98 % av silvret i kläderna tvättats ut, och bara efter tre tvättar kunde de se att hälften av allt ursprungligt silver i kläderna hade avgetts. I en studie av Benn & Westerhoff (2008) som studerat hur mycket nanosilver som avgetts från olika sockmodeller vid tvätt, har de sett att 100 % av nanosilver har avgetts från vissa modeller efter bara fyra tvättar.



Figur 1*: Silver i avloppslam från avloppsreningsverket Ryaverket i Göteborg (modifierad från Göteborgs stad)*

Även om nanosilver används allt mer i konsumentprodukter vet vi fortfarande väldigt lite om dess påverkan på miljön (Morris & Willis 2007). Med den ökade användningen kan de antibakteriella egenskaperna hos nanosilver komma att få negativa effekter på mikrobiella samhällen, när det sprids från avlopp till vatten och mark. För att förstå hur nanosilver kan påverka organismerna i marken är det viktigt att förstå hur mikrobiella samhällen i marken är uppbyggda och i vilka miljöbetingelser de lever. Det är också viktigt att få en förståelse för

mekanismerna bakom silvrets antibakteriella egenskaper och vilka organismer som är känsliga för silvret och vilka som är motståndskraftiga mot silvret. Genom att studera både silvrets egenskaper och bakteriernas egenskaper blir det möjligt att få en förståelse för vilken effekt ökade utsläpp av silver kan få i framtiden.

I den här artikeln kommer jag analysera vilken betydelse utsläpp av nanosilver kan få på mikrobiella samhällen i marken. Artikeln fokuserar på bakterier och vilka ekologiska konsekvenser silvret skulle kunna leda till.

Bakterier

Bakterier är en stor grupp av mikroorganismer, artantalet uppskattas mellan 20 – 30 miljoner och de förekommer i alla naturliga miljöer. Storleken hos bakterier varierar mellan vanligtvis 0,01 – 0,001 millimeter. Bakterier är en mångsidig grupp av prokaryota organismer som kan producera och konsumera både organiska och oorganiska föreningar. De är viktiga komponenter i ekosystem på grund av deras förmåga att omvandla organiska och oorganiska föreningar och göra dessa tillgängliga för både växter och djur. Bakterierna är också viktiga komponenter i de biokemiska kretsloppen av svavel, kol och kväve.

Indelning av bakterier

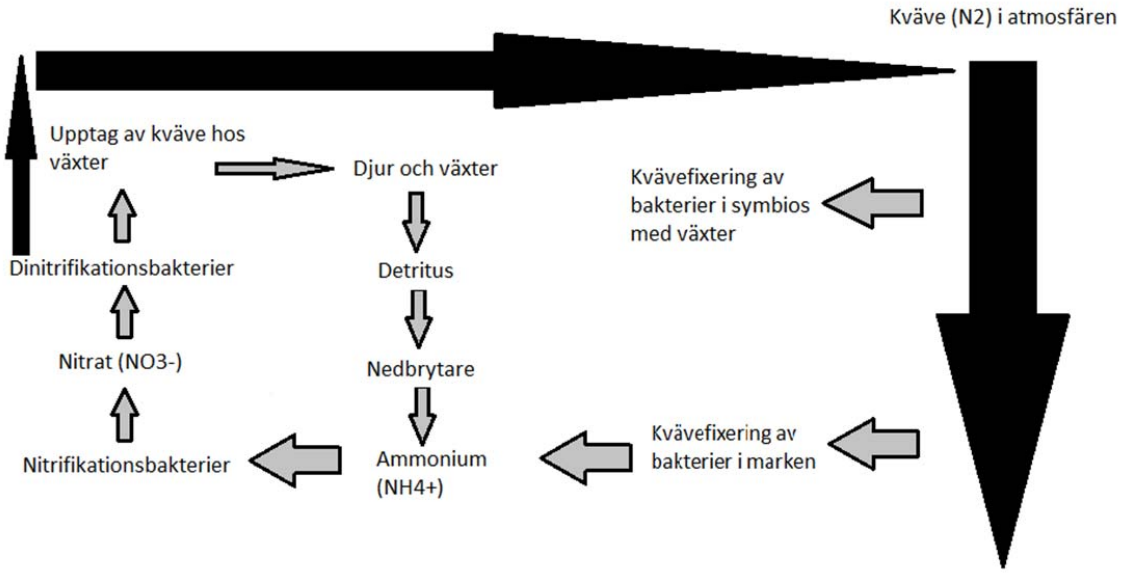
Bakterier delas in i olika grupper, både taxonomiska och funktionella grupper. De funktionella grupperna delas bland annat in baserat på bakteriernas metaboliska aktivitet, om de är anaeroba eller aeroba samt heterotrofa eller autotrofa. En annan funktionell indelning är beroende av vilken cellväggstyp bakterierna har. Bakterier kan vara gramnegativa eller grampositiva. De gramnegativa bakterierna har en tunn och rörlig cellvägg bestående av ett tunt lager peptidoglykan innanför ett yttermembran medan de grampositiva bakterierna har en tjock stel cellvägg bestående av endast ett tjockt lager peptidoglykan. Utöver cellväggen kan bakterierna bilda en kapsel som består av polysackarider och proteiner eller en endospor runt sig. Kapseln är en hård struktur som fungerar som ett extra skydd för bakterien medan endosporen är en struktur som gör bakterien extremt motståndskraftig mot gifter och andra stressförhållanden så som hetta och näringsbrist. Endosporbildning sker endas hos en del grampositiva bakterier. Bakteriernas cellmembran är en av deras viktigaste komponenter då den är avgörande för bakteriers funktion och permeabilitet. Det är genom cellmembranet bakteriers respiration sker samt det möjliggör deras upptag av näringsämnen. Cellväggen tillsammans med cellmembranet är två avgörande faktorer för vilka miljöer bakterierna kan leva i och vilken funktion bakterierna kan ha.

De taxonomiska grupperna indelar bakterierna i olika klasser och arter utifrån de olika organismernas släktskap. Vid studier av mikrobiella samhällen i marken undersöks genetiska markörer från det totala jordDNAt. De DNA sekvenser som identifieras beskriver vilka taxonomiska grupper som finns representerade i markproverna. Den här typen av studier kallas metagenomik (Daniel 2005)

De viktigaste typer av bakterier i våra jordar

Några av de viktigaste typer av bakterier i jordbruksmark är kvävefixerande bakterier, nitrifikationsbakterier, denitrifikationsbakterier och nedbrytare (Reid & Wong 2005). Kvävefixerande bakterier lever fritt i marken eller i symbios med växter. Dessa bakterier

omvandlar kväve från atmosfären till ammonium som sedan kan utnyttjas av andra organismer. Nitrifikations bakterier omvandlar ammoniumet i marken till nitrat vilket gör kvävet tillgängligt för växter. Dinitrifikationsbakterier är oftast anaeroba bakterier som omvandlar nitratet i marken till kväveoxid. Kvävefixerande bakterier, nitrifikationsbakterier och denitrifikationsbakterier utgör tillsammans grundkomponenter i kvävets biokemiska kretslopp (Figur 2). Nedbrytare sköter den största delen av nedbrytningen av organiskt material och föreningar i marken vilket gör dem viktiga i skapandet av humus



Figur 2: *Schematisk bild över kvävets biokemiska kretslopp.*

Bakteriers förekomst i marken och vilka faktorer som påverkar artsammansättningen

I marken finns det oändliga mängder bakterier och bara i en gram jord kan vi finna biljoner av dem och allt mellan 2,000 till 18,000 olika genom, vilket tros vara en underskattning av alla de arter som finns (Daniel 2005). Det finns olika faktorer som påverkar vilka arter som lever och hur stor biomassan av bakterier är i marken. Fierer & Jackson (2005) föreslår att artsammansättningen och den totala biomassan av bakterier är beroende av markens pH. De har sett att i surare miljöer finner vi en mindre biomassa bakterier än i miljöer med ett neutralare pH (Fierer & Jackson 2005). Förutom pH spelar också näringsinnehåll, texturen på jorden och hur mycket vatten marken innehåller en roll för hur det mikrobiella samhället är sammansatt (Girvan *et al.* 2003). Därför är bakteriesamhällenas sammansättning inte geografiskt beroende utan mer beroende utav marksammansättning. Marker med samma egenskaper och sammansättning kommer ha samma typer av bakterier oavsett vart de på jorden de är (Girvan *et al.* 2003, Fierer & Jackson 2005). I en senare studie av mikroorganismer i marken visar Fierer *et al*. (2007) att i olika typer av jordar utspridda på jordklotet finns en stor variation i vilka arter som finns representerade. De jämförde tre olika marktyper från regnskog, öken och prärie där de såg att sammansättningen av de taxonomiska grupperna som var representerade i jordarna var olika. Arterna som återfanns i regnskogens mark kunde inte påvisas i någon av de andra marktyperna. Även om de taxonomiska grupperna skilde sig mellan de olika marktyperna så kunde de se att

artrikedomen var lika stor i alla marker, även om det är svårt att säga med 100 % säkerhet. Dessutom pekade studien på att strukturen av det mikrobiella samhället inte enbart behöver beror på markens egenskaper utan att det även beror av interaktionerna mellan organismerna i systemet.

Vilka former av silver finner vi i naturen?

Silver är ett av våra grundämnen. Det är en mjuk ädelmetall som naturligt förekommer i mycket små mängder i jordskorpan, vatten och malmer. I malmer bildar silver komplex med bland annat sulfater, klorider eller koppar. Silver i ren form eller som mineral förekommer endast då det finns höga koncentrationer av metallen. Medan silver i ren form inte är lösligt i vatten så är silversalter det. Silver har en hög affinitet för både organiska och oorganiska molekyler så som sulfater, fosfater och klorider vilket gör att vi sällan finner silverjoner lösta i akvatiska system (Kramer *et al.* 2007). Nanopartiklar förekommer naturligt i vår omgivning i bland annat vatten, mark, is, vulkanaska och sediment (Handy *et al.* 2008) men hur vanlig förekomsten av silvernanopartiklar är finns det oklarheter kring.

Det nanosilver som används till konsumentprodukter är kemiskt framställt och den största källan som leder till att nanosilver tar sig ut i naturen är genom gödsling med rötslam som är en restprodukt från våra reningsverk (Blaser *et al.* 2008). I reningsverken binder nanosilver till både organiska och oorganiska material då det inte är stabilt i vatten, vilket leder till att det ackumuleras i sediment eller rötslam (Kemikalieinspektionen 2011). Genom användningen av rötslam kan det leda till ackumulation av syntetiskt nanosilver i marken (Blaser *et al.* 2008, Kaegi *et al*. 2011). Bara i Sverige används ca 25 % av allt avloppsslam till gödsling (Naturvårdsverket 2014) då det är en utmärkt källa för återförsel av fosfor och andra näringsämnen till marken.

Hur är silver giftigt för bakterier?

Silvrets antibakteriella effekt varierar mellan olika bakterier beroende på deras uppbyggnad. Det är vida känt att silver i fast form inte är toxiskt och har inga antibakteriella egenskaper. Den antibakteriella effekten som silver förmedlar sker via silverjoner och silverpartiklar i nanoskala (Kemikalieinspektionen 2014). Precis som andra metaller är silver reaktivt med syre vilket gör att det lätt oxiderar och frisätter silverjoner. Silverjonerna förmedlas från silversalter vilka också är lösliga i vatten samt kan frisättas från nanosilver vid oxidation. Silverjoner har en hög affinitet för bland annat sulfater, klorider, fosfater och bildar komplex med dessa grupper om de finns närvarande vilket leder till att silvrets antimikrobiella egenskap reduceras (Russel & Hugo 1994).

Nanosilver är känt för att ha andra egenskaper än silver i fast form på grund av dess dimensioner och lyder därför inte kända kemiska och fysikaliska lagar. Karaktäristiskt för partiklar i nanoskala är att de har en ytarea som är stor relativ till sin volym vilket ger nanosilver dess unika egenskaper. Det som också skiljer nanosilver från andra silverföreningar är partiklarnas storlek som ligger inom en nanoskala på 1 – 100 nanometer i diameter (British Standards Institute [BSI] 2007). Då nanosilver har en större ytarea än normalstora partiklar leder det till att silver i nanostorlek kan ha en större antibakteriell effekt än silverjoner. Detta för att den stora ytarean ger nanosilver partikeln en större yta att interagera med bakteriers cellmembran och cellmembransstrukturer. (Morones *et al.* 2005, Panacek *et al*. 2006). På grund av den större

ytarean har nanosilver också en större yta att frisätta silverjoner ifrån vilket tros göra att de kan förmedla den antibakteriella effekten starkare (Panacek *et al*. 2006, Johnston *et al.* 2010, McShan *et al.* 2014). I en annan studie som gjorts på nanosilver och silverjoner kunde forskarna se att nanosilver förmedlar en effektivare antibakteriell effekt än silverjoner, vilket tros vara på grund av dess fysikalkemiska egenskaper. (Lok *et al.* 2005). Något som tycks vara oklart är om det är frisättande av silverjoner som är den största toxiska risken med nanosilver eller om det är nanopartikelns fysikalkemiska egenskaper.

Interaktion men cellmembran och upptag av silverjoner i bakterier.
Studier har visat att nanopartiklarna inte bara interagerar med cellmembranet utan också kan ta sig in i cellen. Inne i cellen kan nanosilver ge upphov till både cytotoxiska och genotoxiska effekter. I bakterien kan nanosilver binda till strukturer innehållandes svavel och fosfor, så som DNA. Genom att binda till sulfater och fosfater i DNAt kan det påverka och inhibera diverse olika processer i bakterien så som celldelning, tillväxt och respiration vilket kan resultera i att bakteriens död (Morones *et al.* 2005, Panacek *et al*. 2006, Kvitek *et al*. 2011, Greulich *et al.* 2012). Nanosilver kan också ge upphov till oxidativ stress genom att generera reaktiva syreföreningar (Morones *et al.* 2005, Panacek *et al.* 2006, Kumar *et al.* 2014, McShan *et al.* 2014).

Bakteriers cellmembran innehåller proteiner innehållandes svavel vilket skulle kunna vara ett potentiellt interaktionsställe för silverpartiklarna då det har hög affinitet för sulfider. Interaktionen med cellmembranet kan ge upphov till försämrad permeabilitet och respiration för bakterierna (Morones *et al.* 2005). Upptaget av nanosilver skiljer sig mellan olika bakterier, vissa är mer motståndskraftiga än andra. I en studie som gjorts på gramnegativa och grampositiva bakterier kunde de se att nanosilver endast togs upp i den gramnegativa bakterien då den grampositiva bakteriens cellvägg var för tjock för att penetrera. Den grampositiva bakterien utsöndrade en extracellulär polymer substans vilket ledde till att silverjoner bildade komplex och nanopartiklarna av silver aggregerade utanför cellen. Utsöndrande från den grampositiva bakterien ledde till att jonernas förmåga att penetrera bakterien försämrades samtidigt som nanopartiklarnas förmåga ökade vilket resulterade i att cellväggen skadades men utan att partiklarna tog sig in i cytosolen (Guo *et al.* 2014).

Fria radikaler, reaktiva syreföreningar, oxidativ stress och DNA förstörelse
Alla aeroba mikroorganismer behöver syre för att leva. En produkt som normalt produceras under metabolism med syre är aktiva syreföreningar och fria radikaler. Dessa är mycket skadliga då de kan orsaka oxidativ stress vid för höga koncentrationer. För att motverka oxidativ stress i organismen finns det antioxidanter som kontrollerar de fira radikalerna.

Studier har visat på att nanosilver kan inducera oxidativ stress och då leda till bakteriens död (Morones *et al.* 2005, Panacek *et al.* 2006, Park *et al*. 2009, Morones-Ramirez *et al*. 2013 Kumar *et al.* 2014, Lee W *et al* 2014, McShan *et al.* 2014). Då nanosilver frisätter silverjoner inne i organismen tros det vara en av de största anledningarna till att oxidativ stress uppstår (Matsumura *et al*. 2003, Hwang *et al.* 2008, Park *et al*. 2009, Guo *et al.* 2014). De upptagna silverjonerna producerar den fria radikalen superoxid genom att reagera med syre (Matsumura *et al*. 2003, Hwang *et al.* 2008, Park *et al*. 2009). Anledningen till att detta sker skulle kunna bero på att jonerna inhiberar respiratoriska enzymer samt att de interagerar med tioler och på så sätt inhiberar antioxidanter (Matsumura *et al*. 2003, Park *et al.* 2009). Även om andra reaktiva

syreföreningar bildas tycks de flesta studierna (Matsumura *et al*. 2003, Hwang *et al.* 2008, Park *et al*. 2009) peka på att det är superoxid som är mest förekommande fria radikalen som bildas vid den oxidativa stressen. Bildandet av superoxid tros också vara direkt beroende av koncentrationen syre som finns tillgänglig (Park *et al*. 2009). Genom en ökad produktion av fria radikaler leder det till skador på både cellmembran och DNA i organismen då de fria radikalerna interagerar med olika aminogrupper i biologiska strukturer inne i organismen (Guo *et al.* 2014).

Är det syntetiska nanosilver lika giftigt för alla bakterier?

Den negativa effekten som nanosilver har varierar mellan olika typer av bakterier. Studier har visat att partiklarna kan påverka funktionen och utvecklingen hos både gramnegativa och grampositiva bakterier (Morones *et al.* 2005, Panacek *et al.* 2006, Greulich *et al.* 2012). Grampositiva bakterier tycks dock vara mer motståndskraftiga mot nanosilver än gramnegativa bakterier vilket skulle kunna bero på att de har en tjockare cellvägg (Greulich *et al.* 2012). Den tjocka cellväggen hos grampositiva bakterier tros också hindra upptaget av silver in i cytosolen (Guo *et al.* 2014). Då nanosilver kan inducera oxidativ stress är nanosilver mer toxiskt för aeroba mikroorganismer än anaeroba mikroorganismer (Park *et al.* 2009). I en studie som gjorts med avloppsslam kunde man se att arter involverade i denitrifikation inhiberats mest med ökade koncentrationer av nanosilver medan slambildande och metallresistenta bakterier ökade i mängd. (Chen *et al*. 2013) Det har också påvisats att de heterotrofa mikroorganismerna har högre tolerans för silver än nitrifikationsbakterier (Jeong *et al.* 2014).

Nanosilvers påverkan på mikrobiella samhällen i mark

Många studier har gjorts på nanosilver *in vitro* för att detektera dess antimikrobiella egenskaper men det saknas kunskap om hur det påverkar större samhällen av bakterier. Det är viktigt att få kunskap om den effekt nanosilver har på bakterier i marken då det kan komma att påverka biokemiska cykler och processer i ekosystemet.

Mikrobiella samhällen i mark, som tidigare nämnts, innehåller en rad olika bakterier. Hur nanopartiklar av silver påverka mikrobiella samhällen kan därför vara avgörande beroende på vilken sammansättning av organismer som lever i marken samt hur nanosilver reagerar med omgivningen. Studier har visat på att nanosilver genomgår sulfatering samt oxidering i mark (Kim *et al.* 2010, Kaegi *et al*. 2011). Även vid låga koncentrationer av nanosilver bildar en stor andel komplex med svavel. Nanosilver interagerade också med aggregerade nanopartiklar av titanoxid samt andra metalloxidnanopartiklar vilket talar för att nanosilver oxideras. Detta indikerar att metalloxider kan fungerar som transportsystem eller sinks för nanosilver i mark (Coleman *et al.* 2013) Studier som gjorts pekar på att det finns potentiella risker med ökad användning av nanosilver och att mikrobiella samhällen i mark kan påverkas. (Kumar *et al*. 2011, Coleman *et al.* 2013)

Forskning har gjorts på olika i markmiljöer, i olika typer av skogar och i arktisk mark. De visar på både en minskning av biomassan och en organisationsförändring av bakteriesamhället som svar på tillsatt silver i marken. I en studie av Kumar *et al*. (2011) som gjorts i arktisk mark har det visat på att de största taxonomiska grupperna representerade i marken har minskat i biomassa efter att de exponerats för nanosilver. Deras studie visade också att *Bradyrhizobium canariense*,

en gramnegativ och kvävefixerande bakterie var mycket känslig för nanosilver. Redan vid låga koncentrationer av nanosilver kunde inte delning ske. En kontroll gjordes även *in vitro* för *B. canariense*, där de kunde visa på att nanosilver hade samma effekt på bakterierna *in vitro* som på bakterierna i marken. En grupp bakterier som visade sig motståndskraftiga för nanopartiklarna var *Bacillales*, ett släkte som består av grampositiva och sporbildande bakterier, vilket skulle kunna vara en förklaring till varför de är motståndskraftiga mot nanosilver (Kumar *et al*. 2011).

En studie av Shah *et al*. (2014) som gjorts i mark från barrskog visade också på att *Bacillales* var motståndskraftig mot nanosilver. En annan grupp som också visade sig motståndskraftig mot nanosilver var *Geobacter*, vilka är ett en grupp anaeroba bakterier. I slutet av studien dominerades samhället till 50 % av dessa grupper, vilket var i motsats till deras kontrolljord. Andra grupper som klarade sig bra under försöket var arter tillhörande *Nitrosovibrio*, *Nitrospira* och *Bradyrhizobium,* vilka är bakterier som är involverade i kvävets biokemiska kretslopp(Shah *et al*. 2014). Att bakterier som är involverade i det kväves biokemiska kretslopp skulle vara känsliga mot nanosilver (Kumar *et al*. 2011, Masrahi *et al* 2014) motsägs också av Colman *et al* (2013) som såg ökad produktion av kväveoxid i marken då den exponerats för nanosilver under åtta dagar. Colman *et al* (2013) kunde också se att sammansättiningen av mikroorganismer förändrades och att mångfaldet minskade i jämförelse till deras kontrolljord.

Nanosilvers antibakteriella effekt på det mikrobiella samhället i marken är koncentrationsberoende (Hänsch & Emmerling 2010). Genom att öka koncentrationen nanosilver kunde Hänsch & Emmerling (2010) se att mångfalden av organismer successivt minskade samt att biomassa av bakterier minskade. De kunde också se en ökad basal respiration samt en ökad metabolisk kvot i marken. Detta visar på att den toxiska effekten av nanosilver i det mikrobiella samhället leder till försvårad substratanvändning av exempelvis kväve och andra näringsämnen i marken. Att respirationen ökar tror de beror på att det skett ett skifte i vilka mikroorganismer som finns i marken efter experimentet, vilket lett till ett förändrat respirationsmönster. En möjlig förklaring till detta tolkar de som att ett skifte skett mot svampar i maken, vilka har en relativt hög respiration i jämförelse med andra mikroorganismer (Hänsch & Emmerling 2010). Andra studier som gjorts har också visat på att effekterna av nanosilver är koncentrationsberoende och att biomassan bakterier minskat i marken (Carbone *et al.* 2014, Chunjaturas *et al.* 2014). I studien av Carbone *et al.* (2014) kunde de förutom att visa på att biomassan bakterier i marken minskat också visa på en ökad metabolisk kvot i sina marktester, vilket indikerar för att nanosilver har en utlösande stressfaktor. De kunde också konstatera att ett bakteriellt upptag av silverpartiklar skett mellan 60 och 90 dagar. Signifikant var också att grupper innehållandes heterotrofa bakterier var de mest känsliga mot nanosilver och att kolcykeln i jämförelse med kvävecykeln var det mest påverkade cykeln i marken. Studien visade också att vid närvaro av nanosilver skedde ett urval som gynnade de mindre känsliga grupperna av bakterier. (Carbone *et al.* 2014). Utvecklingen mot en ökad andel av bakterier som är mer motståndskraftiga mot silvret har också visats av Kumar *et al* (2011) vilket kan bero på en minskad konkurrens från de grupper som är mer mottagliga för silver (Kumar *et al.* 2011, 2012).

Chunjaturas *et al* (2014) studie visade på att det mikrobiella samhället i marken förändrades när den exponerades för nanosilver. Precis som Hänsch & Emmerling (2010) och Carbone *et al.* (2014) kunde de se en minskning av organismer vid ökade koncentrationer över en längre tid. Chunjaturas *et al* (2014) drog dock slutsatsen att det inte bara är koncentrationen nanosilver som är avgörande utan också marksammansättningen, då deras studie utförts i två olika marktyper.

Den ena marktypen hade en lerig textur medan den andra marktypen hade en sandig textur och det fanns mer organiska material i den sandiga jorden. I jorden med sandig textur kunde de se att nanosilver lede till en minskad variation i artsamansättningen vilket inte skedde i den leriga jorden. Deras studie visade också att vid ökade koncentrationer av nanosilver under en längre tid påverkade respirationen i marken vilket de kunde se genom en minskning i avgivet koldioxid. De kunde se att kvävefixeringen i marken hade fått minskad aktivitet över tiden även om detta inte var signifikant . Studien visade också att nanosilver inte förändrade jordens egenskaper, varken pH eller det organiska materialet påverkades av behandlingen (Chunjaturas *et al* 2014). Samma resultat har också Hänsch & Emmerling (2010) fått som inte heller kunde se någon förändring i pH eller organiskt material efter att jorden utsatts för nanosilver.

Om bakterier involverade i det biokemiska kretsloppet av kväve är mer känsliga än andra bakterier är en fråga som delar forskningsfältet. En studie av Masrahi *et al* (2014) visade på en markant minskning av nitratproduktion i marken vid högre koncentrationer av silver, dock kunde de inte påvisa någon skillnad mot sin kontroll vid låga koncentrationer. De kunde också konstatera att beroende på hur partiklarna av nanosilver var syntetiserade kan de vara olika giftiga. Silverpartiklar inbäddad i PVP visade sig mycket toxiska redan vid låga koncentrationer vilket antyder att beroende på vilken typ av silver som kommer ut i marken kommer det ge en olika stor toxisk effekt på det mikrobiella samhället (Masrahi *et al.* 2014).

DISKUSSION

Hur bakterierna i mikrobiella samhällen i naturliga markmiljöer påverkas av nanosilver är ännu inte så väl studerat, men de studier som gjorts pekar på att nanosilver kan komma att ge effekter på både mångflad och biomassan av bakterier över tid. Speciellt då vissa av studierna pekar på att effekterna av nanosilver är beroende utav koncentrationen och exponeringstiden. Dessa resultat har visats i olika typer av markmiljöer, allt från regnskog och barrskog till arktisk mark vilket pekar på att oavsett vilken typ av mark som exponeras för nanosilver så kan det komma att ge effekter på de bakterier som lever där.

Ger nanosilver en direkt effekt på bakterierna eller är det en indirekt effekt genom en förändring av markens egenskaper och sammansättning?

Studier har visat att de främsta faktorerna som påverkar biomassan och sammansättningen av bakterier i marken är pH, näringstillgångarna och vatten i marken (Girvan *et al.* 2003, Fierer & Jackson 2005). Dock motsägs detta av Fierer *et al*. (2007) vilka säger att markens egenskaper kanske inte är avgörande för vilka bakterier som lever där utan att arterna som finns representerade är mer beroende av biotiska interaktioner. Fierer *et al*. (2007) såg dock att de taxonomiska grupper skilde sig mellan olika marktyper vilket då skulle kunna betyda att arterna som kan leva i de olika jordarna är beroende av markens egenskaper men att biomassan av bakterier inte är det. Chunjaturas *et al* (2014) ansåg att nanosilver har olika effekt beroende på vilken typ av textur och sammansättning marken har. Därför är det viktigt att förstå hur nanosilver verkar i marken och om det påverkar markens förhållanden, för att då kunna få en förståelse för vilka effekter nanopartiklarna kan ha på bakterierna i det mikrobiella samhället. Skulle nanopartiklarna förändra marken kan det också komma att påverka andra organismer som är känsliga för förändringar i pH och vattenbalans och därmed göra mer skada på hela ekosystem. Att silver skulle ha en direkt påverkan markens egenskaper tycks dock inte vara fallet. Både

Hänsch & Emmerling (2010) och Chunjaturas *et al* (2014) har sett att nanopartiklarna av silver inte ändrat markens egenskaper vilket talar för att det är interaktionen mellan partiklarna och bakterierna som leder till de effekter som vi kan se utifrån de observerade studierna. Dock kan texturen på marken vara avgörande för hur, och i vilken hastighet nanosilver rör sig och på så sätt leda till olika effekter i marken. Betydelsen av att det är en direkt interaktion som leder till de effekter som observerats skulle kunna tala för att bakterier kommer vara den mest utsatta gruppen organismer. Genom att det är en direkt påverkan på bakterierna i marken skulle nanosilver så småningom också kunna förändra markens egenskaper och då påverka andra organismer som lever där. Carbone *et al.* (2014) anser att kolets biokemiska kretslopp var den mest känsliga cykeln i marken. Om detta kretslopp skulle rubbas kan det leda till att markens egenskaper, främst näringsinnehåll också förändras i framtiden. Då för att de bakterier som är invilverade i kolets biokemiska kretslopp är ansvariga för att bryta ner organiska och oorganiska föreningar och viktiga i skapandet av humus.

Då bakterier är essentiella för många processer och skulle mer utförlig forskning över en längre tid behöva göras för att kunna få en tydlig bild på hur strukturen av bakterierna kan förändras. Kanske kan vi då också se om bakterierna kan bli mer motståndskraftiga och utveckla en resistens vilket de gjort mot andra naturligt förekommande metaller.

Vilka bakterier påverkas av nanosilver och vad kan dessa effekter leda till i framtiden.
Då bakterier sköter många viktiga processer i marken kan förändringar i de mikrobiella samhällena leda till obalans i våra ekosystem. Baserat på de studier som studerat hur mikrobiella samhälle i marken påverkas av nanosilver är det inte entydigt vilka grupper som är känsligast och vilka som är mest motståndskraftiga. De pekar dock på att grampositiva bakterier är mer toleranta än gramnegativa bakterier (Kumar *et al*. 2011) samt att de aeroba bakterier (Park *et al.* 2009) och sporbildande bakterier är mer toleranta än andra arter (Kumar *et al*. 2011, Shah *et al*. 2014). Detta förefaller också naturligt då de sporbildande bakterierna är kända för att vara motståndskraftiga mot andra toxiner och extrema förhållanden. Genom att vara en anaerob bakterie och inte konsumera syre minskar riskerna med fria radikaler och möjligheten för att utsättas för oxidativ stress, vilket verkar vara en av de största orsakerna till att bakterierna dör vid kontakt med nanosilver. Denna risk verkar också minska hos grampositiva bakterier och sporbildande bakterier då nanosilver inte lika lätt kan ta sig in i bakteriernas cytosol. Genom att inte kunna ta sig in i bakteriens cytosol minskar också möjligheten för att nanosilver ska påverka inre biologiska strukturer så som DNA. De grupper av bakterier som ansetts vara mest känsliga för nanopartiklarna är bakterier som är involverade i det biokemiska kretsloppet av kväve (Kumar *et al*. 2011, Masrahi *et al.* 2014). Dock pekar vissa studier på att så är inte fallet (Colman *et al*. 2013, Shah *et al*. 2014) och här skulle de därför behövas göra mer ingående studier för att få en större förståelse för dessa arter. Skulle det visa sig att de är mycket känsliga för nanosilver kan det få stora konsekvenser för det biokemiska kretsloppet av kväve. Kväve utgör en stor del av vår atmosfär och är en essentiell komponent för liv men kan även leda övergödning i hav och sjöar vid för höga halter. I dagens samhälle är tillförseln av kväve från människan stor vilket leder till att naturen har svårt att ta upp allt kväve som tillförs och vi kan se att kretsloppet av kväve redan är rubbat (Singh KR & Kundu S 2014). Detta har medfört att vi redan har problem med övergödning av våra sjöar, ett bra exempel på detta är Östersjön. Skulle då arter tillhörande kvävets biokemiska kretslopp slås ut kan det leda till större rubbningar av kvävets kretslopp och vi kan komma att se större effekter av övergödningar i hav och sjöar.

Problematik kring markstudier av bakterier
Det finns en svårighet när det gäller att se vilka bakterier som påverkas av nanosilver samt hur de påverkas. Dels finns det en problematik kring själva studierna då de oftast inte utförts direkt i marken. Detta leder till att studierna inte utförs i förhållanden som är helt överensstämmande med verkliga förhållandena ute i naturen. För markstudier ute i naturen finns det en svårighet då naturen är variabel i rum och tid vilket leder till att det kan bli svårt att studera responser. Idag kan vi också för lite om vilka bakterier som faktiskt finns i marken. Även om metagenomiken har gett oss nya möjligheter för att kunna studera vilka arter som finns representerade i marken så finns det nog många fler arter än vad vi vet om idag. Problematiken som finns här är att bakterier relativt lätt kan byta gener med varandra och på så sätt ha genetiska likheter även om de har helt olika funktion i marken. För att kunna studera mikrobiella samhällen i marken är det viktigt att vi förstår mer om hur samhällena ser ut och är uppbyggda samt vilka faktorer som är avgörande för samhällets struktur. Dagens studier har kunnat visa på en del arter som påverkats av nanosilver men det som visats tydligast är hur metabolismen i samhällena har förändrats. Detta genom att titta på den respiration och omsättningen av olika näringsämnen som sker i marken. Detta gör att vi kan få en helhetsbild av vad som sker i marken men inte vilka specifika arter som är drabbade. Bara att arter involverade i olika ekologiska processer troligen är påverkade av nanosilver. Men då vi kan studera metabolismen i marken kan vi ändå få en föraning om vad för konsekvenser ett ökat utsläpp av nanosilver kan få i framtiden.

TACK

Jag vill börja med att tacka min handledare Anna Rosling som väglett mig under skrivprocessen genom att komma med goda tips och råd. Jag skulle också vilja tacka Hedvig Säll och Tuuli Larva för att ni tagit er tiden att läsa och återkoppla på mitt arbete, samt kommit med bra synpunkter för utveckling av texten.

REFERENSER

Benn, T and Westerhoff P. 2008. Nanoparticle silver released into water from commercially available sock fabrics. Environmental Science and Technology **42**: 4133 – 4139.

Blaser AS, Scheringer M, MacLeod M, Hungerbuhler K. 2008. Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: Contribution of nano-functionalized plastics and textiles. Science of The Total Environment **390:** 396 – 409.

British Standards Institute. 2007. Terminology for nanomaterials. WWW – dokument http://shop.bsigroup.com/upload/Shop/Download/Nano/PAS136.pdf. Hämtad 2015 – 01 – 26.

Carbone S, Vittori Antisari L, Gaggia F, Baffonia L, Di Gioia D, Nannipier P. 2014. Bioavailability and biological effect of engineered silver nanoparticles in a forest soil. Journal of Hazardous Materials **280:** 89 – 96.

Chaloupka K, Malam Y, Seifalian MA. 2010. Nanosilver as a new generation of nanoproduct in biomedical applications. Trends in Biology **28:** 580 – 588.

Chen J, Tang Y-Q, Li Yan, Nie Y, Hou L, Li X-Q, Wu X-L. 2013. Impacts of different nanoparticles on functional bacterial community in activated sludge. Chemosphere **104**: 141 – 148.

Choi O & Hu Z. 2008. Size Dependent and reactive oxygen species related nanosilver toxicity to nitrifying bacteria. Environmental Science & Technology **42:** 4583 – 4588.

Chunjaturas W, Ferguson AJ, Rattanapichai W, Sadowsky JM, Sajjaphan K. 2014 .Shift of bacterial community structure in two Thai soil series affected by silver nanoparticles using ARISA. World Journal of Microbiology & Biotechnology **30:** 2119 – 2124.

Colman PB, Arnaout CL, Anciaux S, Gunsch CK, Hochella MF, Kim B, Lowry VG, McGill BM, Reinsch CB, Richardson JC, Unrine MJ, Wright PJ, Yin L, Bernhardt SE. 3013. Low Concentrations of silver nanoparticles in biosolids cause adverse ecosystem responses under realistic field scenario. PLOS One, DOI: 10.1371/journal.pone.0057189.

Daniel R. 2005. The metagenomics of soil. Nature Reviews Microbiology **3:** 470 – 478.

Fierer N, Breitbart M, Nulton J, Salamon P, Lozupone C, Jones R, Robeson M, Edwards AR, Felts B, Rayhawk S, Knight R, Rohwer F, Jackson RB. 2007. Metagenomic and small-subunit rRNA analyses reveal the genetic diversity of bacteria, archaea, fungi, and viruses in soil. Applied and Environmental Microbiology **81:** 7059 – 7066.

Fierer N & Jackson BR. 2006. The diversity and biogeography of soil bacterial communities. PNAS **103:** 626 – 631.

Girvan SM, Bullimore J, Pretty NJ, Osborn AM, Ball SM. 2003. Soil type is the primary determinant of the composition of the total active bacterial communities in arable soils. Applied and Environmental Microbiology **69:** 1800 – 1809.

Guo Z, Xue J, Liu T, Song X, Shen Y, Wu H. 2014. Antibacterial mechanisms of silica/polydopamine/silver nanoparticles against gram positive and gram negative bacteria. Micro & Nano Letters **9**: 210 – 214.

Greulich C , Braun D, Peetsch A, Diendorf J, Siebers B, Epple M, Köller M. 2012. The toxic effect of silver ions and silver nanoparticles towards bacteria and human cells occurs in the same concentration range RSC Advances **2:** 6981 – 6987.

Göteborgs stad. 3013. Indikatorer. WWW – dokument http://goteborg.se/wps/portal/invanare/miljo/goteborgs-miljomal/giftfri-miljo/indikatorer/!ut/p/b1/04_SjzQ0tzQ3tDQ2NDPQj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOIDDL0CLZwMHQ383S3dDDxDvAPc_Lx9_D2dQRoigQoMcABHA0L6_Tzyc1P1c6NyLAAq49w4/dl4/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/#htoc-7 Hämtad 2015 – 03 – 06.

Handy DR, Owen R, Valsami-Jones E. 2008. The ecotoxicology of nanoparticles and nanomaterials: current status, knowledge gaps, challenges, and future needs. Ecotoxicology **17:** 315 – 325.

Huk A, Izak-Nau E, Reidy B, Boyles M, Duschl A, Lynch I, Dušinska M. 2014. Is the toxic potential of nanosilver dependent on its size? Particle and Fibre **11**: 65.

Humberto HL, Ayala-Nunez N, Del Carmen Ixtepan Turrent L, Rodrıguez Padilla C. 2010. Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria. World Journal of Microbiology and Biotechnology **26**: 615 – 621.

Hwang ET, Lee JH, Chae JY, Kim YS, B, Kim BC, Sang BI, Gu MB. 2008. Analysis of the toxic mode of action of silver nanoparticles using stress-specific bioluminescent bacteria. Nanoparticle Toxicity: **4:** 746 – 750.

Hänsch M & Emmerling C. 2010. Effects of silver nanoparticles on the microbiota and enzyme activity in soil. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. **173:** 554 – 558.

Jeong E, Im WT, Kim DH, Kang S, Shin HS, Chae SR. 2014. Different susceptibilities of bacterial community to silver nanoparticles in wastewater treatment systems. Journal of Environmental Science and Health Part a-toxic/hazardous Substance & Environmental Engineering **49**: 685 – 693.

Johnston HJ, Hutchison G, Christensen FM, Peters S, Hankin S, Stone V. 2010. A review of the in vivo and in vitro toxicity of silver and gold particulates: Particle attributes and biological

mechanisms responsible for the observed toxicity. Critical Reviews in Toxicology **40**: 328 – 346.
Kaegi R, Voegein A, Sinnet B, Zuleeg S, Hagendorfet H, Burkhardt M, Siegrist H. 2011. Behaviour of metallic silver nanoparticles in an oilot wastewater treatment plant. Environmental science and technology **45:** 3902 – 3908.
Kaur J, Tikoo J. 2013. Evaluating cell specific cytotoxicity of differentially charged silver nanoparticles. Food and Chemical Toxicology **51**: 1 – 14.
Kemikalieinspektionen. 2011. Antibakteriella ämnen läcker från kläder vid tvätt. WWW – dokument http://www.kemi.se/Documents/Publikationer/Trycksaker/PM/PM4_11.pdf. Hämtad 2015 – 02 – 03.
Kemikalieinspektionen. 2014. Silver. WWW – dokument http://www.kemi.se/sv/innehall/fragor-i-fokus/silver/. Hämtad 2015 – 02 – 03.
Kim B, Park CS, Murayama M, Hochella MF. 2010. Discovery and characterization of silver sulphide nanoparticles in final sewage sludge products. Environmental science and technology **44:** 7509 – 7514.
Kramer JR, Bell RA, Smith DS. 2007. Determination of sulphide ligands and association with natural organic matter. Applied Geochemistry: **22:** 1606 – 1611.
Kumar D, Kumari J, Pakrashi S, Dalai S, Raichur AM, Sastry TP, Mandal AB, Chandrasekaran N, Mukherje A. 2014. Qualitative toxicity assessment of silver nanoparticles on the fresh water bacterial isolates and consortium at low level of exposure concentration. Ecotoxicology and Environmental Safety **108**: 152 – 160.
Kumar N, Shah V, Walker KV. 2011. Perturbation of an arctic soil microbial community by metal nanoparticles. Journal of Hazardous Materials **190**: 816 – 822.
Kumar N, Shah V, Walker KV. 2012. Influence of a nanoparticle mixture on an artic soil community. Environmental Toxicology and Chemistry **31:** 131 – 135.
Kvitek L, Panacek A, Prucek R, Soukupova J, Vanickova M, Kolar, Zboril R. 2011. Antibacterial activity and toxicity of silver – nanosilver versus ionic silver. Journal of Physics: Conference Series, doi:10.1088/1742-6596/304/1/012029.
Lee W, Kim KJ, Lee DG. 2014. A novel mechanism for the antibacterial effect of silver nanoparticles on Escherichia coli. Biometals **27:** 1191 – 1201.
Lee YH, Park KH, Lee YM, Kim K, Park Sb. 2007. A practical procedure for producing silver nanocoated fabric and its antibacterial evaluation for biomedical applications. Chemical Communications **28:** 2959 – 2961.
Livsmedelsverket. 2014. Kolloidalt silver. WWW – dokument http://www.slv.se/sv/Fragor – svar/Fragor-och-svar/Kosttillskott/Kolloidalt-silver/. Hämtad 2015 – 02 – 03.
Lok CN, Ho CM, Chen R, He QY, Yu WY, Sun H, Kwong-Hang Tam P, Chiu JF, Che CM 2005. Proteomic analysis of the mode of antibacterial action of silver nanoparticles. Journal of proteome research **5**: 916 – 924.
Masrahi A, VandeVoort RA, Arai Y. 2014. Effects of Silver Nanoparticle on soil-nitrification processes. Archives of Environmental Contamination and Toxicology **66:** 504 – 513
Matsumura Y, Yoshikata K, Kunisaki S, Tsuchido T. 2003. Mode of bactericidal action of silver zeolite and Its comparison with that of silver nitrate. Applied and environmental microbiology. **69**: 4278 – 4281.
McShan D, Ray CP, Yu H. 2014. Molecular toxicity mechanism of nanosilver. Journal of food and drug analysis **22**: 116 – 127.
Morones JR,Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Tapia Ramirez J, Yacaman MJ. 2005.The bactericidal effect of silver nanoparticles. Nanotechnology **16:** 2346 – 2353.

Morones JR, Winkler JA, Spina CS, Collins JJ. 2013. Silver enhances antibiotic activity against gram-negative bacteria. Science Translational Medicine **4**: 190ra8.

Morris, J, Willis J. 2007. U.S. Nanotechnology White Paper. Environmental Protection Agency. WWW – dokument http://www.epa.gov/osainter/pdfs/nanotech/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf. Hämtad 2015 – 01 – 11.

Naturvårdsverket. 2014. Användningsmöjligheter för avloppsslam. WWW – dokument http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Avlopp/Avloppsslam/Anvandningsmojligheter-for-avloppsslam/ Hämtad 2015 – 02 – 10.

Panacek A, Kvitek L, Prucek R, Kolar M, Vecerova R, Pizurova N, Sharma VK, Nevecna T, Zboril R. 2006. Silver colloid nanoparticles: synthesis, characterization, and their antibacterial activity Journal of physical chemistry B **110**: 16248 – 16253.

Park HJ, Kim JY, Kim J, Lee JH, Hahn LS, Gu MB, Yoon J. 2009 Silver-ion-mediated reactive oxygen species generation affecting bactericidal activity. Water research **43**: 1027 – 1032.

Reid G & Wong P 2005. Soil bacteria. Soil Biology basics WWW – dokument http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0017/41642/Soil_bacteria.pdf Hämtad 2014 – 02 – 23.

Russell, A. D.; Hugo, W. B. 1994. Antimicrobial activity and action of silver. Progress in Medical Chemistry. **31**: 351 – 370.

Shah V, Jones J, Dickman J, Greenman S. 2014. Response of soil bacterial community to metal nanoparticles in biosolids. Journal of Hazardous Materials **274:** 399 – 403.

Singh KR & Kundu S. 2014. Review on changing natural nitrogen cycle: special reference to kingdom of Saudi Arabia. International Journal of Engineering Science Invention Research & Development **1:** 2349 – 6185.

Kan ökad användning av syntetiskt nanosilver vara en potentiell fara för mikrobiella samhällen i mark?: etisk bilaga

Sabina Rimfors

Självständigt arbete i biologi 2015

Det finns flera etiska aspekter kring användningen av syntetiskt nanosilver i konsumentprodukter och inom sjukvården. Utifrån mitt litteraturarbete anser jag att den främsta frågan är om fördelarna med att använda nanosilver är fler än de konsekvenser det kan få på bakterier i marken, vilket kan leda till obalans i ekosystemet och störa biokemiska processer.

Ur ett antropocentriskt perspektiv kan man peka på de fördelar som finns med att använda nanosilver. Det som gör nanosilver attraktivt för människan är att det går att skapa produkter som har antibakteriella egenskaper vilket motverka tillväxt av bakterier. Vi kan också få träningskläder och sockar som lanseras som luktfria vilket är tilltalande. Då vi vet att bakterier kan orsaka sjukdomar finns det en skräck för bakterier i samhället och hygien är något som skattas högt. En annan fördel som är förespråkad är möjligheten att använda nanosilver för att bekämpa multiresistenta bakterier, vilka anses vara ett av de största framtida hoten mot människan. Då nanosilver kan påverka miljön måste man väga nytta mot risk i användningen av nanosilver. Från det biocentriska perspektivet kan man tala om de potentiella rubbningarna av ekosystemet som kan uppkomma vid utsläpp av nanosilver. Då nanosilver är ett bakteriedödande medel finns det en risk att det kan slå ut många bakterier i naturen vilket kan få stora konsekvenser på lång sikt och då inte bara för ekosystemet men också för människan.

Forskningsetik

Vid sökandet av artiklar till min litteraturstudie har jag försökt att använda mig av så ny forskning som möjligt för att inte få daterad information, då informationen utvecklas kontinuerligt. Publikationerna som jag funnit har jag tagit från väletablerade tidskrifter då de anses vara tillförlitliga källor samt använt mig av studier som haft många citeringar. Dock är vissa av studierna väldigt nya och har ännu inte fått några citeringar men jag har valt att ta med dessa ändå för att kunna presentera så mycket forskningsresultat som möjligt inom mitt valda område. Jag har undvikit att ta med egna åsikter från författarna och bara tittat på resultaten av forskningen för att inte få vinklade resultat. Detta för att jag upptäckt att de finns två läger, de som förespråkar användningen av nanosilver och de som är skeptiska till användningen. I arbetet har jag varit noga med källhänvisningar för att det inte skall missuppfattas vad som kommer från de studier jag presenterar. Detta för att det också ska vara tydligt när jag för ett eget resonemang eller presenterar information som är allmänt känt.