

# **Silver i ytbeläggningar**

## **- Funktion och miljöpåverkan**



**LUNDS  
UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Byggnadsmaterial**

Examensarbete:  
Hilda Lindquist

© Copyright Hilda Lindquist

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2015

## Sammanfattning

Syftet med examensarbetet var att undersöka om användandet av silver i ytbeläggningar kan vara ett alternativ till biocidprodukter som finns på marknaden idag, samt om silver i ytbeläggningar för inomhusbruk kan vara ett alternativ för att minska spridningen av smitta på sjukhus. Examensarbetet har utförts som en litteraturstudie där fakta om mikrobiell påväxt har sammanställts. Vidare har forskningsrapporter om kolloidalt silver i jonform och silvernanopartiklar analyserats för att undersöka om dess egenskaper skulle kunna vara effektiva till de ändamål som undersökts. Eftersom silver är en tungmetall har även forskningsrapporter om dess toxicitet analyserats, bland annat för att se hur urlakningsprocesserna ser ut.

Resultatet av studien visade att silver som antimikrobiellt ämne och alternativ biocid har en effektivitet som är värd att forska mer kring. Kolloidalt silver i jonform ansågs effektivt mot att hämma bakterietillväxt av bland annat *Clostridium difficile* som är en vanlig infektion som uppkommer vid antibiotikabehandling och som de senaste åtta åren har lett till 572 dödsfall i Sverige. Silvernanopartiklar påvisade effekt mot olika typer av mikroalger, men behöver testas mer utförligt mot svampar så som blånad och mögel. Nya metoder behöver forskas fram för att på ett mer effektivt sätt binda silvret i ytbeläggningen eller färgmatrisen för att minska eller förhindra att urlakning sker som idag bidrar till att silver och nanomaterial sprids till våra vattenmiljöer. Kan detta uppfyllas innebär det att vi når ett stadi där biocidprodukter hämmar tillväxt under en längre tid och samtidigt urlakas mindre än vad de organiska biociderna som finns på marknaden idag gör.

Nyckelord: Biologisk påväxt, mikrobiell påväxt, silvernanopartiklar, silverjoner, kolloidalt silver i jonform, urlakning, giftighet

## Abstract

The aim of this diploma work was to investigate whether the use of silver in coatings can be an alternative to the biocidal products available on the market today, as well as if silver in coatings for indoor use may be an option to reduce the spread of infections in hospitals. The thesis has been made as a literature study in which facts about microbial growth has been compiled. Furthermore, research on ionic colloidal silver and silver nanoparticles was analyzed to investigate if its properties could be effective against the investigated purpose. Since silver is a heavy metal, research about its toxicity has been analyzed to know how the processes of leaching works today.

The results of the study showed that silver as an antimicrobial substance and as an alternative biocid has an efficiency which is worth more research. Ionic colloidal silver was considered as an effective treatment for inhibiting bacterial growth such as *Clostridium difficile* which is a common infection caused by antibiotic treatment that by the past eight years has caused 572 deaths in Sweden. Silver nanoparticles demonstrated an efficacy against different types of mirco-algae but needs to be tested furthermore against blue stain, mold and fungi. New methods need to be found in order to more effectively bind the silver in the coating matrix to reduce or prevent the process of leaching that today disseminate silver and nano materials to the aquatic environment. If this can be fullfilled, we can reach a stage where the biocidal products can inhibit growth for a longer time, but with less leaching, than the organic biocides available on the market today does.

Keywords: Biological fouling, microbial fouling, silver nanoparticles, silver ions, ionic colloidal silver, leaching, toxicity

## **Förord**

Examensarbetet, som omfattar 22,5 högskolepoäng, har skrivits på avdelningen för Byggnadsmaterial på Lunds Tekniska Högskola. Arbetet omfattar det sista momentet på högskoleingenjörsutbildningen inom Byggteknik på Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg.

Examensarbetet är ett resultat av min nyfikenhet och ambition att lära mig nya saker och upptäcka nya kunskapsområden.

Tack till min handledare Sanne Johansson, avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola.

Hilda Lindquist

Malmö den 11 juni 2015

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Syfte och frågeställningar</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3 Metod</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Avgränsningar</b> .....	<b>2</b>
<b>1.5 Definitioner och förkortningar</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Litteraturstudie</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Biologisk påväxt på fasader</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 Allmän problembeskrivning .....	4
2.1.2 Olika sorters organismer på fasader .....	4
2.1.2.1 <i>Alger</i> .....	4
2.1.2.2 <i>Lavar</i> .....	5
2.1.2.3 <i>Mossor</i> .....	6
2.1.2.4 <i>Mögel</i> .....	6
<b>2.2 Virus och bakterier i sjukhusmiljöer</b> .....	<b>7</b>
2.2.1 Allmän problembeskrivning .....	7
2.2.2 Vårdrelaterade infektioner (VRI).....	7
2.2.2.1 <i>Vanligt förekommande sjukhusinfektioner</i> .....	7
2.2.2.2 <i>Clostridium difficile-infektion (CDI)</i> .....	8
2.2.2.3 <i>Meticillinresistenta gula stafylokocker (MRSA)</i> .....	8
2.2.2.4 <i>Vankomycinresistenta enterokocker (VRE)</i> .....	9
2.2.3 Resistenta bakterier.....	9
2.2.4 Exempel på bakteriespridning på sjukhus .....	10
<b>3 Metod</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Silver</b> .....	<b>11</b>
3.1.1 Historia och bakgrund.....	11
3.1.2 Kolloidalt silver.....	12
3.1.2.1 <i>Kolloidalt silver i jonform (ICS)</i> .....	12
3.1.2.2 <i>Silvernanopartiklar (Ag-NP)</i> .....	15
<b>3.2 Miljöpåverkan</b> .....	<b>19</b>
3.2.1 Detta säger Kemikalieinspektionen .....	19
3.2.2 Urlakning .....	20
3.2.3 Nanoteknologins toxicitet.....	21
<b>4 Analys och diskussion</b> .....	<b>23</b>
<b>5 Slutsatser</b> .....	<b>26</b>
<b>6 Litteraturförteckning</b> .....	<b>27</b>

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Mikroorganismer av olika sorter som växer på ytor kan vara problematiska och ett exempel är den påväxt som kan uppkomma på våra byggnader. Detta är ett problem som alltid har funnits och det är inte sällan man stöter på fasader, staket och tak- och markbeläggningar som mer eller mindre är täckta av svampar, mögel och alger, något som skapar estetiska och ekonomiska problem. Ett annat problem är mikroorganismer (bakterier och virus) i offentliga lokaler som väntrum, dagis och matbespisningar. Bakterierna kan utveckla resistens mot antibiotika och bakterierna benämns då som resistenta bakterier, något som innebär stora problem i många delar av världen. I denna rapport behandlas problemen med mikroorganismer på ytor och hur problemen kan minskas genom att använda färger med silver som biocid.

Konventionella biocider i färg har använts länge, men effekten av dem har börjat ifrågasättas. Man försöker därför hitta nya metoder för att förhindra mikrobiell påväxt och användandet av silver som potentiell biocid undersöks. Historiskt sett är användningen av silver i medicinska sammanhang väldokumenterad och forskning har påvisat att silver har en toxicitet mot ett brett spektra av mikroorganismer (Brett, 2006; Lansdown, 2006). Forskningen om silvrets miljöpåverkan är komplex och visar varierande resultat, men man kan konstatera att silver, som är ett naturligt förekommande grundämne, trots detta inte är skonsamt för vår miljö (Naturskyddsföreningen, 2012).

## 1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med rapporten är fördjupa branschens kunskap om den funktion som silver kan ha i ytbeläggningar som ersättning för, alternativt komplement till, de konventionella biocider som idag finns på marknaden. För att kunna göra detta har en litteraturstudie om mikrobiell påväxt gjorts för att fördjupa kunskapen inom de problem som vi har idag, både utomhus och inomhus. De problem som uppstår utomhus är den biologiska påväxt som uppstår på fasader, tak och markbeläggningar och som de flesta kan relatera till. Problemen inomhus är främst på sjukhus där bakteriespridning periodvis är ett stort problem som i sin tur kan framkalla problem med resistenta bakterier.

Rapporten tar även upp den miljöpåverkan som silver har när det används och urlakas från ytbeläggningar. Nedan följer de frågeställningar som jag ställt mig.

- I. Vilka problem står vi inför idag gällande mikrobiell påväxt?
- II. Har silver en funktion som kan ersätta de konventionella biociderna som finns på marknaden idag?
- III. Vilka konsekvenser kan silver, som är en tungmetall, ha på miljön?

### **1.3 Metod**

Rapporten har utförts som en litteraturstudie där relevant fakta om biologisk- och mikrobisk påväxt sammanställs. Rapporten fortsätter sedan med ett Metod-avsnitt där jag fördjupar mig i de egenskaper som silver besitter när det gäller funktion i ytbeläggningar, påväxt på fasader och organismers möjlighet att utveckla resistens. Vidare undersöks de miljöpåverkningar som silver kan ha vid användning i ytbeläggningar. Rapporten utgår från vetenskapliga artiklar i den mån det går. Fakta om mikrobiella angrepp av bakterier och virus har hämtats hos folkhälsomyndigheten.

### **1.4 Avgränsningar**

Syftet med rapporten är att ta reda på den funktion som silver kan ha i ytbeläggningar. I en studie som har undersökts har silvret jämförts med en typ av organisk biocid, men syftet med rapporten är inte att jämföra dessa två komponenter. Därför kommer heller inte de organiska biocidernas funktion att tas med i rapporten.



## 1.5 Definitioner och förkortningar

<i>Nanopartiklar</i>	Partiklar med storleken 12 nm ( $12 * 10^{-9}$ m) eller mindre
<i>Fungicider</i>	Konserveringsmedel och skydd mot svampar
<i>Algicider</i>	Konserveringsmedel och skydd mot alger
<i>Biocider</i>	Samlingsnamns för skydd mot biologiska organismer
<i>Multiresistenta Bakterier (MRB)</i>	Bakterier som är motståndskraftiga mot ett flertal antibiotika så att etablerade antibiotikaalternativ inte längre kan användas för behandling
<i>SP</i>	SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
<i>Aerob</i>	En tillväxtprocess där organismen behöver tillgång till syre för sin fortlevnad
<i>Anaerob</i>	En tillväxtprocess där organismen inte behöver tillgång till syre för sin fortlevnad
<i>Bioackumulering</i>	En process där miljögifter ansamlas i levande organismer
<i>Lipider</i>	Fetter och fettliknande ämnen som är en del i cellmembranet hos levande organismer och fungerar som signalmolekyler och markörer för celldöd
<i>Xenobiotika</i>	Beteckning på kroppsfrämmande ämnen, till exempel miljögifter

## **2 Litteraturstudie**

### **2.1 Biologisk påväxt på fasader**

#### **2.1.1 Allmän problembeskrivning**

Biologisk påväxt på fasader är idag ett omfattande problem, framför allt ett problem som drabbar relativt nybyggda målade fasader av puts men även markbeläggningar och takpannor. Påväxten, som kan bestå av alger, lavar, mögel och mossa, syns ofta som missfärgningar och nedsmutsning (Parnham, 1997). Missfärgningarna orsakas av olika typer av mikroorganismer där det är cellerna som innehåller mörka pigment. Generellt sett visar sig påväxt av mögelsvampar som mörkgrå eller svarta strimmor, medan alger orsakar gröna eller röda fläckar på ytorna. Kombinationen av olika arter kan dock orsaka ett annorlunda utseende som kan göra det svårt att avgöra vilken typ av påväxt som fasaden drabbats av, något som kan orsaka problem när fasaden ska saneras (Johansson & Capener, 2015). Påväxten ger estetiska problem med fasaderna som gör att fastighetsägare får spendera mycket tid och pengar på rengöring och reovering (Chew & Ping, 2003).

För att en organism ska kunna leva och växa krävs det tillgång på vatten och näring. Tillgången till vatten är den huvudsakliga faktorn till att mikroorganismer ska kunna leva och skulle fasaden inte vara utsatt för vatten skulle heller inget kunna växa på den. Men genom regn och fukt tillförs vatten alla fasader med en viss variation under året. Dock kan många organismer leva i perioder utan tillgång till fritt vatten (Johansson & Capener, 2015).

#### **2.1.2 Olika sorters organismer på fasader**

##### **2.1.2.1 Alger**

Alger är ett samlingnamn för en grupp av en- och flercelliga organismer som utviner energi genom fotosyntes. De är en av de vanligaste förekommande organismerna på fasader då de är oberoende av underlaget de växer på. De tar hjälp av fotosyntesen och omvandlar solljus till energi och behöver på så sätt inte någon näringstillförsel från underlaget. Av algerna finns det olika grupper som utmärker sig på olika sätt. Grönalger består av cirka 5000 arter i Sverige som både kan vara encelliga och flercelliga. Grönalgerna förekommer på alla typer av fasadmateriel men främst på norrsidan och andra skuggiga ytor.

Anledningen till att påväxten blir som störst på dessa ställen beror på att dessa ytor är fuktigare under längre perioder. Rödalg är en röd grönalga som förekommer på ljusa, mineraliska underlag, främst på kalkhaltiga ytor (Barberousse et al, 2007).

Grönalgen bildas snabbt på de delar av fasaden där fuktbelastningen är stor. Alger är den påväxt som kommer snabbast, men också den som är lättast att bli av med. De viktigaste miljöfaktorerna som styr påväxten är temperaturen, näringstillförseln och pH-värdet. Effekten av pH-värdet är dock svårt att bedöma då det ofta korrelerar med de andra faktorerna men generellt sett tolererar grönalgen ett bredare spektrum av pH-värde, vilket gör att det är den typ av alg som dominerar på fasader (Hoffmann, 1989).

### *2.1.2.2 Lavar*

Lavar består av en alg i symbios med en svamp och/eller en bakterie där algen utvinner energi genom fotosyntes som svampen drar nytta av. Svampen ger skydd till algen som därmed gör att laven kan leva på platser som annars hade varit svårt för enskilda alg- och svamporganismer. De har extremt god överlevnadsförmåga när de väl fått fäste och de kan klara av flera kraftiga uttorkningar. De kan skydda sig mot uttorkning genom att producera ämnen som hindrar strukturen från att kollapsa vid uttorkning. Vanligast är sten och bark och olika typer av fasadmateriell och här bidrar regnvattnet till att lösa ut ämnen från underlaget som laven måste tåla eller som den kan dra nytta av i sin näringsupptagning. När laven har fått fäste producerar den lavsyror och oxalsyror som kan påverka underlaget. Detta kan leda till en mekanisk nedbrytning, till exempel vittring. En art av lav som besitter den kunskapen extra mycket är den så kallade skorplaven (Johannesson, 2003).

Lavar avlägnas i allmänhet genom applicering av kemiska produkter kombinerat med mekaniska metoder. Algicider och fungicider, som är skyddsmedel mot alger och svampar, har funnits länge (Lloyd, 1971). De biocider som används bör endast verka mot påväxten, men ha en långvarig effekt. Viktigt att tänka på är att kemiska lösningar bör ha ett neutralt pH-värde för att undvika att underlagen, som ofta är mineraliska, förstörs. Biociderna kan appliceras med hjälp av sprutning eller målning (Richardson, 1976).

### 2.1.2.3 Mossor

Det finns cirka 1000 olika arter av mossor i Sverige. De består av en stam med blad och i vissa fall av en bål. Mossor är växter och fortplantar sig med sporer, precis som lavar, svampar och alger, men med skillnad att sporererna är relativt kortlivade. Detta innebär att spridningen är högst beroende av en fuktig och näringsrik omgivning. Mossor kan delas in i grupper beroende på vilka krav de har på kalktillgång och pH-värde:

- I. Kalkkrävande (basicola)
- II. Kalkgynnade (subneutrofila)
- III. Kalkskyende (acidofila)
- III. Indifferentia

I den indifferentia gruppen finns det mossor som växer lika bra i sura och basiska miljöer.

I byggnadssammanhang är mossa vanligt förekommande på takpannor, till exempel den så kallade takmossan (*Torula ruralis*). Takmossan tillhör de kalkgynnade mossorna (Johannesson, 2003).

### 2.1.2.4 Mögel

Tillväxten av mögelsvampar på målade träfasader upplevs med stor oro när de uppkommer eftersom de kan innebära en förkortning av den estetiska livslängden. Mögel är en syntetisk grupp av mikroskopiska svampar, där svamparna har sitt eget rike. Svampar är beroende av organiska ämnen från underlaget de växer på och får på så sätt sin näring. Näringen kan finnas både i materialet eller i smuts som sitter på ytan men för att mögeltillväxt ska kunna ske på nedsmutsade ytor måste fuktförhållandet vara rätt (Gravesen et al, 1994).

Eftersom svampar är beroende av näringstillförseln, medan till exempel alger är beroende av sin fotosyntes och solljus för att bilda näring, har svamparna en fördel av att kunna växa på mörka och skuggiga delar av fasaden. En ojämn fördelning av näring på ytan kan medföra en fläckvis påväxt (Johansson et al, 2015).

## 2.2 Virus och bakterier i sjukhusmiljöer

### 2.2.1 Allmän problembeskrivning

Virus och bakterier, som går under samlingsnamnet mikrober, finns överallt och är spridningsbenägna. Bakterier är encelliga organismer som förökar sig genom delning och virus förökar sig med hjälp av levande organismer vars ämnesomsättning de utnyttjar. Till skillnad från bakterier så förökar sig inte virus i livsmedel och vatten, men kan spridas med hjälp av dem. Vissa mikrober utvecklar överlevnadsformer, sporer, som är svåra att förstöra (Kärkkäinen, 2013).

Förökningen hos mikroberna beror på deras levnadsmiljö, vari de vanliga faktorerna som fukthalt, temperatur och syretillgång tillhör. Bakterier kan spridas både som direkt och indirekt kontaktsmitta, där direkt spridning till exempel är via händerna och den indirekta spridningen kan vara via textilier och föremål så som möbler, krokar, dörrhantag och så vidare (Linköpings kommun, 2014).

### 2.2.2 Vårdrelaterade infektioner (VRI)

#### 2.2.2.1 Vanligt förekommande sjukhusinfektioner

Bakterier som överlever behandling av penicillin eller annan antibiotika kallas resistenta bakterier. Infektioner som *Clostridium difficile* (CDI), Meticillinresistenta gula stafylokocker (MRSA) och Vancomycinresistenta enterokocker (VRE) är de som ökar mest. Fyra dödsfall av *Clostridium difficile* typ 27 skedde år 2014. Under 2013 ökade förekomsten av Vancomycinresistenta enterokocker (VRE) med 49% och Meticillinresistenta gula stafylokocker (MRSA) med 17%. Folkhälsomyndigheten menar att resistenta bakterier blir ett allt större problem i den svenska sjukvården och i samhället. Tarmbakterier med ESBL har även ökat mellan 2012 och 2013 med 13% och den mycket elakartade ESBL-CARBA ökade från 23 fall till 39 fall under samma tidsspann (Folkhälsomyndigheten, 2014).

#### 2.2.2.2 Clostridium difficile-infektion (CDI)

*Clostridium difficile*-infektion (CDI) är en vanlig infektion som uppkommer vid antibiotikabehandling och/eller annan behandling som påverkar den normala tarmfloran. Under 2013 minskade antalet utbrott av Clostridium difficile men i det stora hela har allvarlighetsgraden av CDI ökat de senaste 10 åren (Folkhälsomyndigheten, 2014). De senaste åtta åren har 572 personer i Sverige avlidit av *Clostridium difficile*, 26 av dem i Gävleborg, uppger Svergies radio (P4 Gävleborg, 2015). Ökad användning av antibiotika är även här en av orsakerna. Mer att läsa om detta finns under avsnitt 2.2.4.

#### 2.2.2.3 Meticillinresistenta gula stafylokocker (MRSA)

Gula stafylokocker är en av våra vanligaste omgivningsbakterier och de flesta vuxna och barn bär periodvis på bakterierna. Hos sjukvårdspersonal är även bakterierna vanliga. Gula stafylokocker finns i eksem och sårinfektioner och skapar problem med var och bölder. Även infektioner efter operationer är vanligt men gula stafylokocker kan även orsaka lunginflammation, hjärnhinneinflammation och infektioner i skelett och leder (Folkhälsomyndigheten, 2014).

Meticillinresistenta gula stafylokocker (MRSA) är alltså gula stafylokocker som blivit resisitenta mot metacillin. Ser man över lång tid har Meticillinresistenta gula stafylokocker (MRSA) varit ett utpräglat vårdrelaterat problem som benämnts som ”sjukhussjukan”. Sker en etablering av denna resisitenta bakterie på ett sjukhus kan de vara mycket svåra att bli av med. Detta, ihop med sviktande hygienrutiner, kan leda till att patienter och personal kan bli så kallade ”friska bärare” av bakterien. Har de smittade personerna inga kroniska sår eller eksem blir de vanligtvis bara tillfälliga bärare av bakterien, men bakterierna kan övervintra i hudens talgkörtlar, något som kan leda till en värre infektion ihop med en senare sårskada (Folkhälsomyndigheten, 2014).

#### 2.2.2.4 Vankomycinresistenta enterokocker (VRE)

År 2007 ökade smittor av Vankomycinresistenta enterokocker (VRE) markant på svenska sjukhus. Begreppet VRE innebär att enterokocker utvecklats resistens mot Vankomycin. Utbrott av VRE har sedan 2014 förekommit på sjukhus i Gävle, Halmstad, Hässleholm, Jönköping, Kungälv och Stockholm. Enterokocker tillhör den normala bakterierfloran hos friska individer. De kan orsaka infektioner hos äldre människor och personer med nedsatt immunförsvar och Enterokockinfektioner förekommer också hos individer som fått upprepade antibiotikakurer. Enterokocker är mycket motståndskraftiga mot antibiotika, vilket innebär att det endast finns ett fåtal typer av antibiotika som hjälper. Enterokocker har mycket god förmåga att vidhäfta till olika typer av material och är svåra att städa bort. Detta har lett till att dessa bakterier har etablerat sig i sjukhusmiljöer, och de har under de senaste åren blivit ett av de största vårdrelaterade problemen på många håll i världen (Folkhälsomyndigheten, 2014).

#### 2.2.3 Resistenta bakterier

Bakterier som överlever behandling av penicillin eller annan antibiotika kallas resistenta bakterier. Fenomenet av resistens har uppkommit när bakterier genom anpassning och evolution utvecklats till sätt att skydda sig mot läkemedel, till exempel genom att förstärka sina cellmembran så att läkemedel inte kommer in i cellen eller genom att skapa proteiner som slår tillbaka mot antibiotika och därmed förhindrar medicinen från att ha effekt. Detta innebär att människor som inte har ett tillräckligt starkt immunförsvar kan avlida i infektioner av resistenta bakterier som i sina icke-resistenta former hade varit lättbehandlade med penicillin (Nordin & Norman, 2012).

Den första antibiotikan kom på 1900-talets mitt och efter det har det skapats flera olika typer av antibiotika, skulle inte en typ fungera som behandling finns möjligheten att testa en annan typ. Dock är antalet antibiotika begränsat och det finns idag bakterier som är resistenta mot mer än ett antibiotikum, så kallade multiresistenta bakterier. I fattiga länder där det inte finns lika stora möjligheter att skifta typ av antibiotika är dödligheten i resistenta bakterieinfektioner större. Detta, eftersom risken att bakterier utvecklar resistens ökar ju mer en viss typ av antibiotika används (Nordin & Norman, 2012).

Hur sprids då resistenta bakterier? På samma sätt som andra bakterier sprids resistenta bakterier både genom direkt- och indirekt kontakt, till exempel via händer, kläder och utrustning. Bakterier sprids särskilt lätt i sjukhusmiljöer med bristande hygienrutiner och överbeläggningar. Eftersom det verkar omöjligt att stoppa utvecklingen av resistens mot antibiotika är det viktigt att just spridningen av bakterier i sjukvården minskar. På samma sätt som resistens uppkommer vid hög antibiotikaanvändning, borde en minskad användning leda till motsatsen, det vill säga att resistensen minskar. Detta är något som forskningen får visa längre fram och fram till dess kan mer resurser gå till bättre vårdhygien för att minska spridningen (Nordin & Norman, 2012).

#### 2.2.4 Exempel på bakteriespridning på sjukhus

Ett nytt utbrott av Vankomycinresistenta enterokocker (VRE) rapporterades i september 2013 på Gävle sjukhus. Smittspridningen fortsatte under 2014 och totalt smittades 297 personer i Gävleborg och ytterligare 23 personer från andra län. Åtgärder som förbättrade hygienrutiner, vård på enkelrum, förändrade och förbättrade städrutiner uppges vara anledningen till att smittspridningen upphört (Folkhälsomyndigheten, 2015).

I januari 2014 registrerades för första gången i Sverige den resistenta bakterien *Clostridium difficile* typ 27, detta på Växjö centrallasarett. Analyser och övervakning visade att utbrottet i Växjö var geografiskt begränsat, men att det fanns skäl till en stärkt övervakning runt om i landet. Utbrottet orsakade fyra dödsfall, alla på Växjö centrallasarett. Det fanns inga tecken på att smittan spridits vidare efter det och man vidtog speciella städrutiner för att förhindra detta (Folkhälsomyndigheten, 2014).



## 3 Metod

### 3.1 Silver

#### 3.1.1 Historia och bakgrund

Silver är en metall som främst är känd för dess användning i smycken, men användandet har de senaste åren ökat inom andra områden. Bland annat finns numera silver i textilier, skor, kylskåp och i plaster som exempelvis skärbräddor, tandborstar och petflaskor för att verka antibakteriellt. I jonform har silver bakteriedödande egenskaper och marknaden för antibakteriella produkter ökar (Kemikalieinspektionen, 2014). Historiskt sett är den medicinska tillämpningen av silver som ett potentiellt antibiotikum väldokumenterat. Det antimikrobiella värde som silver kan ha spåras till antikens Grekland och Rom (Brett, 2006; Lansdown, 2006). I nyare tillämpningar används silver i samband med infektioner och brännskador (Lansdown, 2006; Fox & Modak, 1974). Trots dessa tillämpningar av silver som antimikrobiellt medel finns det tveksamheter inför återkomsten av silver på den medicinska marknaden.

Att silver finns naturligt på jorden innebär inte att ämnet är ofarligt för människan och omgivningen. Var ämnet förekommer, i vilken koncentration det finns och vilken kemisk form det har är avgörande för hur ämnet kommer att bete sig. När det gäller silver i antibakteriella medel används i ökad grad nanosilver, det vill säga silverpartiklar i nanostorlek. Det som är riskabelt med nanosilver är att det ofta uppstår helt nya fysikaliska, kemiska och biologiska egenskaper hos partiklarna, egenskaper som ur ett hälsoperspektiv inte är utredda, men passerar generallt biologiska barriärer lättare än större partiklar och har en högre reaktivitet jämfört med andra partiklar. Slutsatsen dras då att giftigheten hos nanopartiklarna är högre (Naturskyddsföreningen, 2012).

Huruvida egenskaperna hos silvret fungerar finns det delade meningar om. Antibakteriella studier med kolloidalt silver i jonform har gett varierat resultat (Van Hasselt et al, 2004; Chopra, 2007; Kim et al, 2007). Dock skulle silver kunna vara ett effektivt och billigt sätt jämfört med nuvarande antimikrobiella medel, samt att behandlingsalternativen för antibiotikaresistens skulle kunna öka (Chopra, 2007).

Eftersom användandet av biocider har blivit ifrågasatt av samhället letar industrin efter alternativ till de vanliga biociderna i fasadsystem. Med hänsyn

till silvrets höga giftighet mot ett brett spektra av mikroorganismer och dess låga giftighet mot människor, har silvret setts som ett möjligt alternativ.

Världsproduktionen av silver uppgår till 28 000 000 kg per år. Under 2008 gick 0,5% till biocidprodukter. Cirka 91% av dem användes i jonform och de resterande 9% användes som Silvernanoartiklar (Ag-NP) (Kemper, 2008). Användandet av silver i ytbeläggningar för inom- och utomhusbruk är fortfarande begränsat (Hund-Rinke et al, 2008).

### 3.1.2 Kolloidalt silver

Kolloidalt silver är silverpartiklar i metallisk form som svävar omkring i en lösning. I produkter med kolloidalt silver kan silver till viss del också finnas i form av joner (salter i lösning) (Livsmedelsverket, 2015).

#### 3.1.2.1 Kolloidalt silver i jonform (ICS)

I en studie gjord av (Morrill et al, 2013) har olika stammar av bakterier, svampar och virus odlats under mångcykliska tillväxtbetingelser, både i närvaro och frånvaro av kolloidalt silver i jonform (85-95% joner och resterande partiklar). Syftet med studien var att bedöma den antimikrobiella effekten av kolloidalt silver i jonform. Resultaten visade att kolloidalt silver i jonform var effektivt på att hämma tillväxten av alla bakterier som testades. Både under aeroba och anaeroba förhållanden fanns det en markant tillväxthämning. För svamparna varierade effekterna mellan de olika släktena och fler tester skulle behöva göras. För odlingen av virus ansågs inte studierna lyckade då tillväxthämningen inte var effektiv. De organismer som testades finns i Tabell 1.

**Tabell 1. Organismerna som testades mot kolloidalt silver i jonform (ICS) av Morrill et al (2013).**

<b>Bakterier</b>	<b>Svampar</b>	<b>Virus</b>
<i>Bacillus cereus</i>	<i>Candida albicans</i>	Reovirus typ 1
<i>Bacteroides vulgatus</i>	<i>Cryptococcus neoformans</i>	Encephalomyocarditis virus
<i>Clostridium difficile</i>		
<i>Escherichia coli</i>		
<i>Lactobacillus acidophilus</i>		
<i>Mycobacterium smegmatis</i>		
<i>Shigella sonnei</i>		
<i>Salmonella typhimurium</i>		
<i>Staphylococcus aureus</i>		
<i>Streptococcus pyogenes</i>		

För alla kulturerna tillsattes silvret vid en temperatur på 37°C och sedan varierade längden på testerna för de olika organismerna. Vid bestämda tidpunkter togs odlingsprover för kontroll av tillväxt. Resultaten visade stor skillnad mot tidigare studier där kolloidalt silver i jonform visat bristande effekt (Brentano et al, 1996; Van Hasselt et al, 2004). För studierna på bakterier var resultaten likartade för *S. typhimurium*, *S. sonnei*, *S. aureus* och *S. pyogenes* där det krävdes flera behandlingar för att hämma tillväxten. Koncentrationer på mellan 0,75 och 3 ppm var effektiva, men efter 6-9 timmar fanns där en viss tillväxtökning igen. För koncentrationer på 3 ppm fanns en avsevärd minskning av bakteriekoncentrationerna efter avslutad behandling. Bakterien *M. Smegmatis* var den enda bakterien som visade fortsatt tillväxt efter både singeldos och multidos, men överlag var studien framgångsrik vad gäller tillväxthämning av bakterier med multidoser. Att *M. Smegmatis* var svårare att behandla menar författarna av studien kan bero på dess syrafasta karaktär som gör att kulturen blir mer resistent mot effekterna av kolloidalt silver i jonform.

För att ytterligare utvärdera den antibakteriella aktiviteten i samband med kolloidalt silver i jonform gjordes tester där bakteriekulturer odlades under anaeroba betingelser i närvaro och frånvaro av silver. *Lactobacillus acidophilus*, som är en frivillig anaerob bakterie, odlades under anaeroba förhållanden uppvisade en markant tillväxthämning likt de andra bakterierna. Resultaten blev likartade vid odling under aeroba betingelser. Vidare testades *B. Vulgatus* och *C. difficile* som är strikt anaeroba bakterier och tillväxthämningen ansågs lyckad även här. Dock krävdes flera behandlingar för att förhindra bakterietillväxten hos *C. difficile*. Sammantaget visade studien på att den antibakteriella effekten hos silver inte associeras med syretillgång, vilket även stärker tidigare forskning (Lok et al, 2007).

För testerna på virus visade resultaten på en ineffektivitet att stoppa tillväxt och spridning, då endast en liten minskning av tillväxt skedde. Författarna av studien menar att det kan bero på metoden som användes, då tidigare studier har varit lyckade (Silvestry-Rodriguez et al, 2007). Här undersöktes endast tre olika typer av virus och det kan vara så att den antibakteriella effekten endast är begränsad till specifika virus. Fler studier med fler virus skulle kunna expandera kunskapen om silvets funktion mot virus.

Vid testerna av kolloidalt silver i jonform på svampar användes liknande metoder som för bakterieanalyserna. Effekten visade sig inte lyckad för *C. albicans*, vilket visar en rak motsats mot tidigare studier (Kim et al, 2009) som författarna av studien menar ha utförts likartat. Dock användes en annorlunda sammansättning av silver vilket tyder på en varierande känslighet hos olika organismer mot olika sammansättningar hos silver. För *C. neoformans* fanns en väsentlig tillväxthämning, men effekten var inte lika stark som hos bakterierna som testades.

Baserat på de studier som här gjorts verkar kolloidalt silver i jonform ha en antimikrobiell funktion mot ett brett spektrum av aeroba och anaeroba bakterier. I studien föreslås kolloidalt silver i jonform även som en tänkbar behandling mot infektioner som *C. difficile* (CDI) och *E. coli*. De data som framkommer av studien påvisar att kolloidalt silver i jonform är mest effektivt som ett förebyggande antibakteriellt medel (Morrill et al, 2013).

### 3.1.2.2 Silvern nanopartiklar (Ag-NP)

Silvern nanopartiklar (Ag-NP) har en stor specifik yta som gör att dess kontakt med bakterier och virus kan maximeras. Det gör det möjligt att reducera koncentrationen av silver och ändå uppnå antimikrobiella egenskaper. Dock har alla partiklar av nanostorlek annorlunda kemiska, fysiska och biologiska egenskaper som kan skilja sig avsevärt från dess normala storlek och detta bör beaktas med hänsyn till miljön. I tidigare forskning har toxiciteten mot alger huvudsakligen berott på närvaron av fria silverjoner i cellerna. Effekten av det kolloidala silvret hos växter är inte helt utredd men det har visat sig att flertalet nanomaterial framkallar en intensiv och störande stress mot balansen mellan oxidations- och antioxidationsprocessen hos växten (Klaine et al, 2008; Hu et al, 2009). Den forskning som finns tillgänglig idag visar oftast bara resultat från undersökningar gjorda under kortare perioder. Problemet med detta är att den toxiska effekten mot överlevnad och återhämtning efter en lång tid av förhindrad påväxt endast kan fastställas efter en lång tid av undersökningar (Ipatova et al, 2014). Samtidigt menar Mueller & Nowack (2008) att ytbeläggningar som färg är en av de största källorna till att silvern nanopartiklar (Ag-NP) släpps ut i miljön.

I en nyligen publicerad studie av Künniger et al (2014) undersöktes funktionen av silvern nanopartiklar jämfört med konventionella organiska biocider på träfasader av gran (*Picea abies*). Fyra vattenbaserade fasadsystem benämnda som antimikrobiella användes och applicerades enligt tillverkarens rekommendationer. Fasadelementen sattes upp vertikalt och var exponerade mot Sydväst (220°) från juni 2009 till juni 2010. Avrinningsvattnet samlades in via hängrännor och analyserades efter varje regnhändelse. De organismer som testades i studien finns i Tabell 2 nedan.

**Tabell 2. Organismerna som testades mot silvernanopartiklar och organiska biocider i studien utförd av Künninger et al (2014).**

<b>Blånad</b>	<b>Mögel</b>	<b>Alger</b>
<i>Aureobasidium pullulans</i>	<i>Aspergillus versicolor</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>
<i>Sclerophoma pithyophila</i>	<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	<i>Chlorella emersonii</i>
	<i>Penicillium purpurogenum</i>	<i>Stichococcus bacillaris</i>
	<i>Phoma sp.</i>	<i>Pleurococcus sp.</i>
	<i>Alternaria sp.</i>	<i>Anacystis montana</i>

Fasadsystemen som testades kan vi benämna som 1,2,3 och 4. Fasadsystem 1,2 och 3 innehöll silvernanopartiklar och fasadsystem 4 innehöll konventionella, organiska biocider. Studien påvisade att endast fasadsystem 4 stod emot de testade organismerna. Endast de organiska biociderna var effektiva för att skydda fasaderna mot mögel, blånad och alger, något som bekräftas både av mikroskopiska analyser och genom att studera fasadelementen. Resultaten av studien påvisade att silvernanopartiklar inte skyddar fasader mot angrepp. Användning av silvernanopartiklar som alternativ biocid i beläggningar är därför tveksam. Istället rekommenderas i studien konventionella biocider i beläggningar som kan uppnå skyddande effekt, men under en begränsad tidsperiod, och som är en snabb nedbrytbar substans som förmodligen minimerar bördan för vattenmiljön (Künninger et al 2014).

Mikroalgers benägenhet att utveckla en resistens mot kolloidala silvernanopartiklar har studerats av Ipatova et al (2014). Kolloidala silvernanopartiklar har studerats under ett år för att undersöka dess effekt mot tillväxt och struktur hos mikroalgerna *S. quadricauda* och *M. arcuatum*. Koncentrationer mellan 0,0001-1,0 mg/l testades och silvret var toxiskt vid en koncentration på 0,1 mg/l och högre. Varaktigheten hos toxiciteten var beroende av koncentrationen. För både *S. quadricauda* och *M. arcuatum* återskapades cellerna gradvis efter en behandling med en koncentration på 0,1 mg/l. Den algostatiska effekten av kolloidalt silver

ansågs lyckad. Den huvudsakliga processen för algers anpassning till högre koncentrationer (0,1-0,5 mg/l) av silvernanopartiklar beror av antalet resistenta celler som finns i algen från början. De resistenta cellerna uppstår oavsiktligt vid plötsliga mutationer som kan förekomma innan kontakten med silver sker och dessa mutationer har bättre skydd mot toxiska ämnen.

Antalet celler av *S. quadricauda* och *M. arcuatum* i närvaro av kolloidalt silver i koncentrationerna 0,01; 0,001 och 0,0001 mg/l skiftade under studien med  $\pm 25\%$ . Vid en koncentration på 0,1 mg/l observerades en minskning av antalet celler hos *S. quadricauda* under en längre period än hos *M. arcuatum*. En mikroskopisk analys visade på en massdöd av celler under denna period, främst hos *S. quadricauda*. Efter experimentet observerades en ökning av cellantalet. Av *S. quadricauda* observerades detta först efter 21 dagar, medan *M. arcuatum* observerades öka efter endast 9 dagar. Undersökningarna som gjordes med koncentrationer i intervallen 0,0001-0,1 mg/l visade att toxiciteten hos kolloidalt silver blev uppenbar vid koncentrationer på 0,1 mg/l och att den toxiska effekten är mer uttalad och långvarig hos *S. quadricauda* än hos *M. arcuatum*. För båda arternas del återhämtade cellerna sig gradvis efter tillväxthämningen och strukturen blev densamma som i utgångsläget.

I samma studie gjordes ett annat experiment under två månader där *S. quadricauda* utsattes för högre koncentrationer på 0,5 och 1,0 mg/l av kolloidalt silver. Det visade på en mer långvarig algostatisk effekt. Koncentrationer på 1,0 mg/l visade på en fullkomlig tillväxthämning där cellerna inte återhämtade sig efteråt och mikroskopiska analyser visade att alla cellerna dog. Vid 0,5 mg/l överlevde endast 1% av cellerna och därefter återhämtade de sig (Ipatova et al, 2014).

Ipatova et al (2014) menar att cellerna hos mikroalger är invecklade, heterogena och innehåller känsliga och resistenta celler. När toxiska föreningar kommer i kontakt med mikroalgen elimineras mottagliga celler. Dock kan antalet celler efter en tid öka på grund av överlevnaden av de resistenta cellerna. I undersökningen hade den toxiska effekten av kolloidala silvernanopartiklar mot alger en försämring mot cellernas livskraft. Vid upprepande toxisk behandling upptäcktes en ökning av resistenta celler hos *S. quadricauda* och en förbättrad tillväxt jämfört med en engångsbehandling. Inom vissa gränser kan alger överleva under stressförhållanden som orsakas av miljöförstöring, dels på grund av fysiologisk anpassning (acklimatisering) i samband med en förändring av dess gener och dels genom en naturlig

anpassning. Fysiologisk anpassning begränsas av växtmiljöernas villkor och den genetiska anpassningen gör det möjligt för växterna att överleva extrema omgivningsvillkor. Växter kan utvecklat strategier för att skydda sig mot överskott av metaller på cellulär, subcellulär och molekylär nivå. Mikroalger kan överleva miljöföroreningar av tungmetaller med hjälp av interna och/eller externa mekanismer för avgiftning som utvecklats av omgivningens anpassning till förhöjda metallhalter. I svagt förorenade miljöer kan mikroalger överleva på grund av fysiologisk anpassning. Vid en låg nivå av föroreningar kan dess effekter kompenseras. I en undersökning orsakade låga koncentrationer av kolloidalt silver (0,0001-0,01mg/l) en fysiologisk anpassning av mikroalgerna. Men när koncentrationen blir högre, blir den fysiologiska anpassningen otillräcklig och då kan endast den genetiska variationen säkerställa en överlevnad. När populationer för första gången stöter på xenobiotika kan detta vara dödligt för populationen. I ett sådant fall kan endast ovanliga mutationer försäkra en överlevnad av mikroalgen. Uppenbarligen är den viktigaste anledningen till algens anpassning till högre koncentrationer av kolloidala silvernanopartiklar (0,1-0,5mg/l) urvalet av resistenta celler som finns i den ursprungliga populationen.



## 3.2 Miljöpåverkan

### 3.2.1 Detta säger Kemikalieinspektionen

Kemikalieinspektionen menar att silver i jonform har miljöfarliga egenskaper. Vattenmiljön kan utsättas för skadliga långtidseffekter och både tillväxt och fortplantning försämras om de utsätts för silverjoner.

Kemikalieinspektionen anser att halter på under 1 µg/l är skadliga för tillväxt och fortplantning. Silverjoner i konsumentprodukter bidrar även till en spridning till miljön, även om den är diffus. Spridningen sker via avloppsvatten och avloppsslam och hur mycket som släpps ut beror på hur silverjonerna används och Kemikalieinspektionen ställer sig frågan om fördelarna med silverbehandlade produkter kan väga upp den negativa påverkan som de kan ha på miljön. De menar även att produkter som är avsedda för att döda bakterier och mikrober är att betrakta som bekämpningsmedel (Kemikalieinspektionen, 2014).

Produkter som frigör silver eller silverjoner är att betrakta som en biocidprodukt och kräver godkännande om den har som ändamål att förebygga bakterietillväxt och smuts, detta enligt EU:s biocidförordning (EU) nr 528/2012. En sådan produkt måste även märkas. Biocidegenskaperna kan benämnas som ”antimicrobial”, ”free of bacteria”, ”for lasting freshness”, ”hygieniskt skydd”, ”keeps the natural hygienic balance”, ”behandlad mot lukt”, ”skyddad mot missfärgning” och så vidare. Produkten ska märkas med:

- att varan innehåller en biocidprodukt med silver
- orsaken till behandlingen
- namnet på det silverämne som används
- namnet på det nanomaterial som används (om det är tillämpligt)
- relevanta bruksanvisningar och eventuella nödvändiga försiktighetsåtgärder

I ett översynsprogram för biocider ligger Sverige nu som utvärderande medlemsland för silverföreningar. Detta för att utvärdera de risker som kan finnas för hälsa och miljö ihop med användandet av silver som biocider. Detta kommer att resultera i en riskbedömningsrapport av Europeiska kommissionen som senare kommer att ligga till grund för om silverföreningar ska godkännas som biocider i framtiden. Läget idag är att de biocidprodukter som innehåller silverföreningar som inte är godkända och inte är under utvärdering inom översynsprogrammet inte får säljas i Sverige. Efter den 1 mars 2017 får

produkter som är behandlade med silver inte finnas på marknaden om inte silverföreningen är godkänd för den användning som produkten i fråga har uppgett (Kemikalieinspektionen, 2014).

### 3.2.2 Urlakning

I studien av Künniger et al (2014) (avsnitt 2.1.2.2) visade tester från avrinningsvattnet att cirka 1% av de organiska biociderna lakades ur från en kvadratmeter fasad under ett år. Silverkoncentrationen lakades ur kraftigare, som högst 34%. Mindre än 2% av detta var silver i jonform. Avrinningsvattnet kom från hängrännor och samlades in efter varje regnperiod under ett år. Det testades mot sin giftighet, där avrinningsvattnet med de högsta koncentrationerna av silver användes. De visade ingen akut toxicitet mot vattenorganismer, något som kan bero på att det var väldigt lite silver som lakades ur och att det inte var i jonform som är mest giftigt. Koncentrationen av silver var från början låg, och detta i kombination med att silvret inte uppträdde som fria silverjoner i ytbeläggningen kan ha orsakat resultatet. Som väntat reagerade vattenorganismerna mot de organiska biociderna.

Studien visade att silver och organiska biocider urlakades olika mycket från fasaden. Silver observerades inte som nanopartiklar i avrinningen, varken separat, fäst eller inbäddad i små partiklar av organiskt bindemedel. Ingen förstärkt akut risk för vattenmiljön observerades för koncentrationer under 50 ppm, men uppgifter om bestående risk saknas (Künniger et al, 2014).

I en studie gjord av Kaegi et al (2010) undersöktes urlakning av silvernanopartiklar i en utomhusfärg. Färgen applicerades på en mineralisk fasad och exponerades för normala väderförhållanden under ett år. Samtidigt installerades en väderstation för att mäta vindhastighet, vindriktning och lufttemperatur. I nederkant av fasaden monterades en ränna för uppsamling av avrinningsvattnet som senare skulle analyseras. Under de första två månaderna kunde koncentrationen av silver bestämmas utifrån avrinningsvattnet, men mot slutet av försöket fanns mätbara koncentrationen endast i ett fåtal avrinningsprov. Analysen av proverna visade på en kraftig minskning av silverkoncentrationen de första åtta månaderna. Urlakningen för hela studien var cirka 30%, varav 80% av detta var under de första två månaderna.

Frisättningen av silvernanopartiklar (Ag-NP) representerade i denna studien en direkt väg till vattenmiljön och observerades alltid bunden till ett organiskt bindemedel. Dock kan detta inte utesluta frisättning av enskilda nanopartiklar. En senare biologisk nedbrytning av det organiska bindemedlet skulle kunna leda till en frisättning av enskilda silvernanopartiklar och bör beaktas i riskbedömningar. Författarna menar dock att silvernanopartiklar även kan omvandlas till Ag<sub>2</sub>S vid urlakningsprocessen. Detta sker genom reaktion med svaveldioxid i atmosfären. En sådan omvandling redan i färgen skulle avsevärt minska den antibakteriella effekten hos silvernanopartiklarna (Kaegi et al, 2010).

### 3.2.3 Nanoteknologins toxicitet

Nanoteknologin har de senaste decennierna vuxit och blivit en använd beståndsdel i ett brett spektrum av produkter. År 2014 var silvernanopartiklar (Ag-NP) den största gruppen nanobaserade konsumentprodukter med mer än 55%. Globalt uppskattas produktionen av silverbaserade nanomaterial till ca 500 ton per år och förutspås öka gradvis de närmsta åren. Men redan har flera konsumentprodukter innehållande nanopartiklar skapat potentiella negativa konsekvenser för miljön. Trots forskning är lite känt om nanoteknikens biotillgänglighet och toxicitet i vattenmiljön och studier om nanotoxikologi är bristande. Forskning kan göras på biomarkörer som exempelvis krabbor och kan användas till toxikologiska studier. De är känsliga mot miljöpåverkande faktorer, finns i riklig mängd och är på grund av att de är bottenlevande organismer benägna att ta upp föroreningar och bioackumulera (Walters et al, 2014).

När det gäller ekotoxikologiska bedömningar är det viktigt att förstå att egenskaperna hos nanopartiklarna styr dess giftighet. Partikelstorlek och yta är viktiga egenskaper som påverkar biotillgängligheten och toxiciteten och när partikelstorleken minskar, ökar dess ytarea och en större del atomer eller molekyler blir synliga. När dessa sedan släpps ut i miljön bildar nanopartiklarna kolloidala suspensioner som grupperas och lättare tas upp av bottenlevande organismer på grund av att de blir mindre rörliga. Toxiciteten hos nanomaterialet minskar dock vid denna gruppering. Generellt antas det att nanopartiklarnas gruppering är starkare i marint vatten än i sötvatten på grund av den låga jonstyrkan som finns i sötvatten (Walters et al, 2014).

Studien av Walters et al (2014) gjordes för att beskriva den kunskap som hittills finns tillgänglig om Ag-NP och dess toxicitet som kan vara ett potentiellt problem för miljö och hälsa. Baserat på tidigare forskning föreslås rekommendationer för hur kunskapen om nanotoxikologin kan utvecklas genom att använda krabbor som testorganismer. Forskning om nanotoxikologin är småskalig, trots att miljöfrågan idag blir viktigare och viktigare. Fördelningen av föroreningarna hos testorganismer är till stor del okänd, men hos krabbor vet man att de binds i gälar och vävnader och vidare forskning är därför av intresse. Det finns en uppfattning om att kemiska data är otillräckliga för att på ett tillförlitligt sätt bedöma de potentiella riskerna av föroreningar i vattenmiljön. Det kan leda till en exponering för miljöpåverkande faktorer som kan resultera i förändringar i vattenmiljön. Därför används biomarkörer i ekotoxikologiska studier för att i ett tidigt stadiet övervaka och signalera en början till förgiftning hos de vattenlevande organismerna. Detta för att identifiera och kvantifiera graden av exponering samt de biologiska effekterna av föroreningen. Föroreningshalterna mäts i gälarna och vävnaderna och yttre och inre exponering jämförs. Ag-NP är känt för att skada cellulära lipider, kolhydrater, protein och DNA som kan leda till stressreaktioner, inaktivering av enzymer, mutationer och celldöd.

Studier har även visat att toxiciteten hos föroreningarna i krabbans vävnader är dos- och tidsberoende. Miljöstressfaktorer såsom pH och salthalt är kända för att påverka balanserna hos vattenlevande organismer vilket resulterar i fysiologiska förändringar. Forskning har visat att toxiciteten varierar beroende på salthalt. Lägre toxicitet vid högre salthalter. Vidare har vattenlevande organismers svar på miljöpåfrestningar visat sig genom att öka den cellulära koncentrationen av protein mot stress då stressprotein är en av de viktigaste cellulära mekanismerna för att förebygga och reparera de negativa effekterna av miljöpåfrestningar (Walters et al, 2014).

## 4 Analys och diskussion

Världsproduktionen av silver uppgår till omkring 28 000 000 kg per år och 2008 gick 0,5% av detta till biocidprodukter. I vilken form silvret förekommer i när det gäller biocidprodukter kan variera, men generellt är det som kolloidalt silver i jonform (ICS) eller som silvernano-partiklar (Ag-NP). De olika kemiska föreningarna visar sig ha olika egenskaper och när det gäller nanosilver har alla partiklar olika egenskaper som innebär att koncentrationen och förekomsten är avgörande för hur ämnet kommer att bete sig. Detta innebär således att man inte vet hur den kemiska föreningen beter sig vid eventuell urlakning och kontakt med miljön. Trots att silvret har en egenskap när den är bunden i en ytbeläggning som till exempel färg visar forskning att den kemiska föreningen inte nödvändigtvis kommer att frigöras på samma sätt. Unika föreningar kan uppstå vid urlakning och detta visar att forskningen behöver utvecklas för att användningen av silver som tänkbar biocid ska kunna användas med vetskapen om hur miljön påverkas.

Kolloidalt silver i jonform har visat sig vara effektivt på att hämma bakterietillväxt hos bland annat *Clostridium difficile*, *Escherichia coli* och *Salmonella typhimurium*. Generellt var koncentrationer mellan 0,75 och 3 ppm effektiva för de bakterier som testades. Vissa organismer behövde bara en singeldos som behandling medan andra krävde en multidos. En bakterie som visade fortsatt tillväxt även efter en multidos var *Mycobacterium smegmatis*. Författarna av studien menade att en bakomliggande orsak till att tillväxten var svår att hämma var bakteriens syrafasta karaktär som gör det lättare att skapa resistens mot exempelvis silver.

Det kolloidala silvret i jonform testades även för tillväxtprocesser under aeroba och anaeroba betingelser, det vill säga vid tillgång och avsaknad av syre. Bakterier, som till exempel *Clostridium difficile* som är strikt anaeroba, testades med tillgång till syre trots att de inte är i behov av det. Tillväxthämningen visade sig även i denna undersökning vara lyckad och den antibakteriella effekten hos silver associeras således inte med syretillgång, något som stärker tidigare forskning. Författaren av studien menar därmed att kolloidalt silver i jonform kan ses som en tänkbar behandling mot bland annat *Clostridium difficile* och *Escherichia coli* då det kolloidala silvret i jonform ansågs mest effektivt som ett förebyggande antibakteriellt medel. När det gäller svampar och virus var det kolloidala silvret i jonform inte lika effektivt

på att hämma tillväxt. Hos de svampar som testades varierade effekterna och resultaten är motstridiga mot de tester som tidigare gjorts. I de tidigare studierna användes en annan typ av sammansättning hos silvret, vilket visar att de enskilda organismerna kan vara känsliga mot sammansättningen. Antingen kan det vara så att svampar är känsliga mot en viss typ av sammansättning av silver, eller så kan det vara så att just kolloidalt silver i jonform inte är mest effektiv mot svampar. Studien på virus visade även den en otillräcklig effekt trots att tidigare studier varit lyckade. Tillväxthämningen verkar vara osäker beroende på vilka typer av virus som exponeras för silvret.

Silvernanopartiklar (Ag-NP) har en stor, specifik yta som gör att dess kontakt med bakterier och virus kan maximeras vilket gör det möjligt att reducera koncentrationen av silver och ändå uppnå antimikrobiella egenskaper. Mikroalgerna *S. quadricauda* och *M. arcuatum* testades med olika koncentrationer för att undersöka när en toxicitet och tillväxthämning skedde hos organismerna. Studien ansågs lyckad och en toxicitet fanns vid koncentrationer på 0,1 mg/l. Varaktigheten på tillväxthämningen antogs bero på koncentrationens mängd. Koncentrationer på 0,5 mg/l och 1,0mg/l testades även och ansågs effektiva mot tillväxthämning där cellerna inte återhämtade sig efter behandling, men skillanden mellan de två koncentrationerna var inte tillräckligt stor för att det skulle vara befogat att använda en så hög koncentration som 1,0 mg/l. Slutsatsen som kan då dras är att effekten hos silvernanopartiklar ökar linjärt till och med strax över 0,5 mg/l, men sedan planar effekten ut.

Resistens hos celler kan uppkomma när de anpassar sig till högre koncentrationer av silvernanopartiklar, men är beroende av antalet befintliga resistenta celler. Hos exempelvis alger uppkommer de resistenta cellerna oavsiktligt vid plötsliga mutationer som senare kan ha ett bättre skydd mot toxicitet. När det gäller mikroalger kan de generellt sett överleva miljöföroreningar av tungmetaller med hjälp av interna och externa mekanismer som avgiftar organismen. De har utvecklat strategier som gör att de kan skydda sig mot överskott av exempelvis metaller på cellulär nivå. I svagt förorenade miljöer kan mikroalgen överleva på grund av fysiologisk anpassning, vilket innebär att de behandlingar man använder inte får ha en för låg koncentration då det endast skapar en anpassning hos organismen.

Kemikalieinspektionen menar att silver i jonform har miljöfarliga egenskaper som kan utsätta vattenmiljön för skadliga långtidseffekter hos både tillväxt och fortplantning. De ställer sig frågan om fördelarna med silverbehandlade produkter kan väga upp den negativa påverkan som de kan ha på miljön. Som det ser ut idag är inte forskningen tillräcklig vad gäller silvrets bindning i färgsystemen. Urlakningen från fasader är idag alldeles för hög där cirka 30% av silvernanopartiklarna lakas ur det första året. Den största delen lakades ur de första två månaderna och sedan avtog urlakningen. Detta innebär att det silver som använts i färgsystemen inte varit tillräckligt bra bundet i färgmatrisen, men är svårt att vidare diskutera då det inte framkommer hur silvret varit bundet. Studier visade att nanopartiklarna inte alltid observerades i avrinningsvattnet, vilket innebär att en omvandling av sammansättningen skedde vid urlakningen eller vid kontakt med fasaden. Bindningen av silvret i färgsystemen är alltså även avgörande för hur partiklarna omvandlas i färgen och vid eventuell urlakning. I en studie hittades vid urlakningen silvernanopartiklarna sammansatta med ett organiskt bindemedel, vilket innebär en frisättning av silvernanopartiklarna till miljön då det organiska bindemedlet tids nog bryts ned. Detta är anledningen till att den största källan till att silvernanopartiklar släpps ut i miljön idag påstås vara färg. Återigen måste forskningen hitta sätt att binda partiklarna.

Forskningen om nanotoxikologin går framåt men det anses invecklat och tar tid. Hittills har biomarkörer som exempelvis krabbor använts för att se hur föroreningarna påverkar levande organismer och de resultat som framkommit visar att föroreningarna binds i gälar och vävnader som kan vara skadligt för cellerna där bland annat DNAt påverkas. För krabbans vävnader har forskningen visat att toxiciteten hos föroreningarna är dos- och tidsberoende och gällande silvernanopartiklar kan de skapa stressreaktioner hos organismen som vidare kan leda till mutationer. Liknande resultat hittades även för växter där forskning visar att nanomaterial framkallar en intensiv och störande stress mot balansen mellan oxidations- och antioxidationsprocessen i växten (Klaine et al, 2008; Hu et al, 2009). Vad gäller vattenlevande organismer har de genom en viss anpassning hittat försvarsmekanismer för att förebygga och reparera effekter av miljöpåfrestningar.

## 5 Slutsatser

Resultaten som diskuterades i ovanstående kapitel leder mig till slutsatsen att silver som alternativ biocid och antimikrobiellt ämne har en effektivitet som är värd att forska mer på. Vi står inför många problem med påväxt idag, både vad gäller utomhus och inomhus. Med biocidprodukter för utomhusbruk som idag inte är tillräckligt kraftfulla och med avsaknad av medel för bakteriespridning på sjukhus och vårdinrättningar behövs nya medel som är effektiva längre och som samtidigt inte innebär en påfrestning på miljön. Nya metoder för att binda silvret behöver tas fram som gör att urlakningen minskar och i bästa fall inte innehåller något silver. Kan detta uppfyllas innebär det att vi når ett stadie som är bättre än det utgångsläge vi står vid idag där biocidprodukterna inte uppfyller de krav som ställs och samtidigt har en viss urlakning till miljön.



## 6 Litteraturförteckning

Barberousse, H., Ruot, B., Yéprémian, C. & Boulon, G. (2007). An assessment of facade coatings against colonization by aerial algae and cyanobacteria. *42*, ss. 2555-2561.

Brentano L., Margraf H. et al (1996). Antibacterial efficacy of a colloidal silver complex. *Surgical Forum*, *17*, ss. 76–78.

Brett, D. A. (2006). A discussion of silver as an antimicrobial agent: Alleviating the confusion. *Ostomy/Wound Manage*, ss. 34-41.

Chew, M. Y., & Ping, T. P. (2003). *Staining of facades*. Singapore: World scientific publishing.

Chopra, I. (2007). The increasing use of silver-based products as antimicrobial agents: A useful development or a cause for concern? *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, *59*, ss. 587-590.

Folkhälsomyndigheten. (2014). *Clostridium difficile årsrapport 2013*. Stockholm: Folkhälsomyndigheten.

Folkhälsomyndigheten. (den 6 Januari 2014). *Clostridium difficile typ 027 (Växjö 2014)*. Hämtat från Folkhälsomyndigheten: <http://www.folkhalsomyndigheten.se> den 16 April 2015.

Folkhälsomyndigheten. (den 10 Juni 2014). *Oroande spridning av resistent bakterier på svenska sjukhus*. Hämtat från Folkhälsomyndigheten: <http://www.folkhalsomyndigheten.se> den 13 April 2015.

Folkhälsomyndigheten. (den 5 Juni 2014). *Sjukdomsinformation om meticillinresistent gula stafylokocker (MRSA)*. Hämtat från Folkhälsomyndigheten: <http://www.folkhalsomyndigheten.se> den 13 April 2015.

Folkhälsomyndigheten. (2014). *Vankomycinresistent enterokocker - VRE*. Stockholm: Folkhälsomyndigheten.

Folkhälsomyndigheten. (den 30 Januari 2015). *Vankomycinresistent enterokocker (Gävleborg 2013-2014)*. Hämtat från Folkhälsomyndigheten: <http://www.folkhalsomyndigheten.se> den 17 April 2015.

Fox, C., & Modak, S. (1974). Mechanism of silver sulfadiazine action on burn wound infections. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 5, ss. 582-586.

Gravesen, S., Frisvad, J. C., & Samson, R. A. (1994). *Microfungi*. Köpenhamn: Munksgaard.

Hoffmann, L. (1989). Algae of terrestrial habitats. *The botanical review*, 55 (2), ss. 77-105.

Hund-Rinke, K., & Marscheider-Weidemann, F. (2008). Beurteilung der gesamtumweltexposition von silberionen aus biozid-produkten. *Umweltbundesamt Dessau-Rosslau*, s. 100.

Hu, X., Cook, S., Wang, P., & Hwang, H.M (2009). In vitro evaluation of cytotoxicity of engineered metal oxide nanoparticles. *Science of the total environment*, 407, ss. 3070–3072.

Ipatova, V. I., Spirkina, N. E., & Dmitrieva, A. G. (2014). *Resistance of microalgae to colloidal silver nanoparticles*. Biological Faculty. Moscow: Moscow State University.

Johannesson, B. (2003). *Mikrobiell påväxt på fasader*. Lund: Lunds Tekniska Högskola.

Johansson, P., & Capener, C.-M. (2015). *Missfärning av byggnaders fasader. En kunskapsöversikt*. Borås: SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.

Künniger, T., Gerecke, A. C., Ulrich, A., & Huch, A. (2014). Release and environmental impact of silver nanoparticles and conventional organic biocides from coated wooden façades. *Environmental Pollution*, 184, ss. 464-471.

Kärkkäinen, T. (den 15 Augusti 2013). *God hygien - säkra livsmedel*. Hämtat från Edu.fi: <http://www.edu.fi> den 30 03 2015.

Kaegi, R., & Sinnet, B. (2010). Release of silver nanoparticles from outdoor facades. *Environmental Pollution*, 158 (9), ss. 2900-2905.

Kemikalieinspektionen. (2011). *Antibakteriella ämnen läcker från kläder vid tvätt*. Sundbyberg: Kemikalieinspektionen.

Kemikalieinspektionen. (2006). *Kiseldioxid (2006)*. Hämtat från Kemikalieinspektionen: <http://www.kemi.se> den 10 April 2015.

Kemikalieinspektionen. (den 26 November 2014). *Silver*. Hämtat från Kemikalieinspektionen: <http://www.kemi.se> den 22 April 2015.

Kemper, M. (2008). *Umweltexposition von biozidem Silber aus produkten*. Institut für wasser und gewässerentwicklung. Universität Karlsruhe.

Kim, J., Kuk, E., & Yu, K. (2007). Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 3, ss. 95-101.

Kim K., Sung W., Suh B. et al (2009). Antifungal activity and mode of action of silver nano-particles on *Candida albicans*. *Biometals*, 22, ss. 235–242.

Klaine, S.J., Alvarez, P.J.J., Batley et al (2008). Nanomaterials in the environment: behavior, fate, bioavailability and effects. *Environmental toxicology and chemistry*, 27, ss. 1825–1851.

Lansdown, A. (2006). Silver in helth care: Antimicrobial effects and safety in use. *Current problems in dermatology*, 33, ss. 17-34.

Linköpings kommun. (2014). *Riktlinjer för hälso- och sjukvård*. Linköping: Linköpings kommun.

Livsmedelsverket. (den 8 Mars 2015). *Kolloidalt silver*. Hämtat från Livsmedelsverket: <http://www.livsmedelsverket.se> den 23 April 2015.

Lloyd, A. O. (1971). An approach to the testing of lichen in hibitors. *Biodeterioration of materials*, 2, ss. 185-191.

Lok C., Ho C., Chen R. et al (2007). Silver nanoparticles: Partial oxidation and antibacterial activities. *Journal of biological inorganic chemistry*, 12, ss. 527–534.

Morrill, K., May, K., Leek, D., & Landland, N. (2013). Spectrum of antimicrobial activity associated with ionic colloidal silver. *The journal of alternative and complementary medicine*, 19 (3), ss. 224-231.

Mueller, N. C., & Nowack, B. (2008). Exposure modeling of engineered nanoparticles in the environment. *Environmental science & technology*, 42, ss. 4447-4453.

Naturskyddsföreningen. (den 20 Augusti 2012). *Vanliga frågor om silver i kläder*. Hämtat från Naturskyddsföreningen: <http://www.naturskyddsforeningen.se> den 23 April 2015.

Nordin, K., & Norman, C. (den 23 Juni 2012). *Tema Resistent bakterier*. Hämtat från Den nationella forskningsportalen: <http://www.forskning.se> den 7 April 2015.

P4 Gävleborg. (den 16 Mars 2015). *P4 Gävleborg*. Hämtat från Svergies Radio: <http://www.sverigesradio.se> den 13 April 2015.

Parnham, P. (1997). *Prevention of premature staining of new buildings*. London: E & FN Spon.

Richardson, B. A. (1976). Control of moss, lichen and algae on stone. *The conservation of stone* (ss. 225-231). Bologna: Centro Conservazione Sculture all' Aperto.

Silvestry-Rodriguez N., Sicairos-Ruelas E. et al (2007). Silver as a disinfectant. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 191, ss. 23–45.

Walters, C. R., Pool, E. J., & Somerset, V. S. (2014). Ecotoxicity of silver nanomaterials in the aquatic environment: A review of literature and gaps in nano-toxicological research. *Journal of environmental science and health*, 49, ss. 1588-1601.

Van Hasselt, P., Gashe, B. A., & Ahmad, J. (2004). Colloidal silver as an antimicrobial agent: Fact or fiction. *Journal of wound care*, 13, ss. 154-155.