Svenskt Vatten
UTVECKLING

Rapport
Nr 2023-3

# Rening av dagvatten i flytande våtmark – reningseffektivitet i olika miljöer

Maria Greger
Maria Schück

Svenskt Vatten
UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området.

Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB

POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma
BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma
TELEFON 08-506 002 00
E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten
UTVECKLING

**Bibliografiska uppgifter**
Nr 2023-3

| | |
|---|---|
| RAPPORTENS TITEL | Rening av dagvatten i flytande våtmark – reningseffektivitet i olika miljöer |
| TITLE OF THE REPORT | Remediation of stormwater with floating wetlands — its remediation efficiency in various environments |
| FÖRFATTARE | Maria Greger och Maria Schück, Stockholms universitet |
| RAPPORTNUMMER | 2023-3 |
| ANTAL SIDOR | 22 |
| SAMMANDRAG | Rening av dagvatten med flytande våtmarker kan bli en naturlig och ekonomisk lösning på ett stort miljöproblem. Projektet visar att det finns potential att rena förorenat vatten från tungmetaller och klorid med flytande våtmarker i svenskt klimat. Eftersom växternas reningsförmåga varierar i olika miljöer är det viktigt att välja rätt växtarter för den tilltänkta miljön och kanske blanda arter för att få stabil effekt. |
| ABSTRACT | Treatment of stormwater with floating wetlands can become a natural and economical solution to a major environmental problem. The report gives advice and recommendations for the purification to be as effective as possible in different environments and under varied environmental conditions. |
| SÖKORD | Dagvatten, rening, tungmetaller, klorid, flytande våtmarker, växter, vägsalt, temperatur |
| KEYWORDS | Storm water, remediation, heavy metals, chloride, floating wetlands, plants, road salt, temperature |
| MÅLGRUPPER | Kommunala VA-organisationer, de som arbetar med dagvattenhantering och med planering av samhällsbyggande |
| RAPPORT | Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se |
| UTGIVNINGSÅR | 2023 |
| UTGIVARE | ©Svenskt Vatten AB |
| REFERENS | Greger M. och Schück M. (2023). Rening av dagvatten i flytande våtmark – reningseffektivitet i olika miljöer. SVU-rapport 2023-3. Stockholm, Svenskt Vatten. |

## Om projektet

| | |
|---|---|
| PROJEKTNUMMER | 19-110 |
| PROJEKTETS NAMN | Hållbar dagvattenrening med flytande våtmark |
| PROJEKTETS FINANSIERING | Svenskt Vatten Utveckling (SVU), Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) |

# Förord

Detta är etapp 2 av ett projekt som handlar om att använda flytande våtmarker för att rena dagvatten från tungmetaller och salt. Projektet har drivits av Stockholms universitet i samarbete med NCC, som ett doktorandprojekt som i sin helhet påbörjades i mars 2017 och slutfördes i oktober 2022. Projektets första del, etapp 1 (SVU-rapport 2019-24, Rening av dagvatten i flytande våtmark – val av växter), inriktades på kartläggning av lämpliga växtarter ur den svenska floran och utmynnade i september 2019 i en licentiatavhandling. Etapp 2 utmynnade i oktober 2022 i en doktorsavhandling. Doktorand var agronom Maria Schück, huvudhandledare docent Maria Greger, Stockholms universitet, och biträdande handledare professor Staffan Hintze, KTH och NCC/Trafikverket. Resultaten har succesivt diskuterats med en referensgrupp.

Jag vill rikta ett stort tack till Staffan Hintze. Tack också till vår referensgrupp som gett oss värdefulla inspel under projektets gång. Den har bestått av Kyösti Tuutti, Skanska och SBUF, Godecke Blecken, LTU, Thomas Gerenstein, Trafikverket, Lotta Berntzon, Huddinge kommun, Lena Kautsky, SU, Lena Furuhovde, Bjerking, Eva Vall, Stockholm Vatten och Avlopp, Pontus Cronholm, Naturvårdsverket, Nils Rydén, Peab och LTH, Jessica Thorsell, SVOA, Magnus Hallberg, Trafikverket, Nina Lans, Naturvårdsverket, Yvonne Bergensund, Skanska, Robert Furen, NCC och LTU, och Jeanette Sveder Lundin, Skanska.

Jag vill även tacka opponent professor Hans Brix, Universitetet i Åhus, och betygskommittéledamöter professor Antonia Liess, Halmstad högskola, professor Henrik Aronsson, Göteborgs universitet, samt professor Maria Viklander, LTU, för värdefulla synpunkter på projektet under Marias disputation. Sist men inte minst vill jag tacka Emre Boynukisa, medförfattare till en av våra artiklar, och Mikaela Boltenstern, som båda gjort sina mastersarbeten i projektet.

Maria Greger

# Innehåll


Förord ... 2
Sammanfattning ... 4
Summary ... 5

**1 Inledning ... 6**
**2 Syfte ... 8**
**3 Metod ... 9**
3.1 Växternas förmåga att rena tungmetaller från vatten vid olika temperaturer och salthalter ... 9
3.2 Ackumulerade tungmetallers effekt på tungmetallupptag ... 9
3.3 Material till flottar ... 10
3.4 Pilotförsök i fält ... 11
3.5 Statistisk behandling ... 11
**4 Resultat och diskussion ... 12**
4.1 Inverkan av temperatur och salt på reningseffekten ... 12
4.2 Effekten av växtens inre metallkoncentration på reningsförmågan ... 14
4.3 Flottkonstruktioner ... 15
4.4 Pilotfältförsöket ... 16
**5 Slutsatser ... 19**

Referenser ... 20

# Sammanfattning

**Rening av dagvatten med flytande våtmarker kan bli en naturlig och ekonomisk lösning på ett stort miljöproblem. Projektet visar att det finns potential att rena förorenat vatten från tungmetaller och klorid med flytande våtmarker i svenskt klimat. Eftersom växternas reningsförmåga varierar i olika miljöer är det viktigt att välja rätt växtarter för den tilltänkta miljön och kanske blanda arter för att få stabil effekt.**

Dagvatten innehåller föroreningar som tungmetaller och klorid från bland annat fordonstrafik, vägsalt, byggmaterial och industrier. Skyfall har blivit vanligare och rörsystemen räcker inte till för de stora vattenmängderna. Det har anlagts en del öppna dagvattenlösningar som dammar och våtmarker, men reningen från tungmetaller är dålig med dagens metoder och reningen av klorid från vägsalt är i det närmaste obefintlig. För att öka reningseffekten kan man använda flytande våtmarker som består av en flytenhet i vilken man planterat växter som växer med rötterna ner i vattnet. Rötterna ökar både den bakteriella aktiviteten och sedimenteringen av partiklar.

I en tidigare etapp av projektet identifierade forskarna arter som är bra på att rena vatten från klorid och tungmetaller i svenskt klimat: slokstarr *(Carex pseudocyperus)*, jättestarr *(Carex riparia)* och rörflen *(Phalaris arundinacea)*. I etapp 2 användes dessa arter för att undersöka hur reningsförmågan hos växterna påverkas 1) av temperatur och salthalt i vattnet, och 2) av att det redan finns ackumulerade tungmetaller i växten. Man ville också undersöka andra möjliga material för tillverkning av våtmarksflottar än spunnen PET-plast som används i dag och som gör att tillförseln av mikroplast till vattenmiljön kan öka. Ett pilottest visade att det går att bygga flytande, hållbara och miljövänliga våtmarksflottar av bambustammar eller plaströr.

Projektet visade att temperatur, salthalt och metallkoncentration i vattnet påverkar växternas förmåga att avlägsna metaller och klorid, men arterna skiljer sig åt. Växterna tog upp mest koppar från vattnet, följt av zink, bly och kadmium. Rörflen utmärkte sig genom hög tillväxt och högt upptag. Salt i vattnet minskade reningen av kadmium och bly, och låg temperatur gav mindre rening av samtliga undersökta tungmetaller än högre temperaturer.

Växterna tog upp föroreningarna kontinuerligt oavsett om de tidigare ackumulerat ämnet eller inte. Växternas upptag av tungmetaller ökade om den omgivande tungmetallhalten ökade. Om tungmetallhalten i det omgivande vattnet i stället sjönk släppte växterna ut en del av de tungmetaller som tagits upp. Växternas upptag av föroreningar ökar alltså med högre föroreningsbelastning. Flytande våtmarker skulle därför vara mest användbara i vatten med hög föroreningsbelastning, som dagvattendammar med vatten från tungt trafikerade vägar.

Eftersom växterna har olika reningsförmåga under olika förhållanden är det bra att använda en blandning av arter för att ge en stabil behandlingseffekt under varierande förhållanden. Fortsatta studier bör undersöka långtidseffektiviteten i fält hos de flytande våtmarkerna, skördemetodik samt växtarternas förmåga att rena andra typer av föroreningar.

Etapp 1 av projektet är avrapporterat i SVU-rapport 2019-24, Rening av dagvatten i flytande våtmark – val av växter.

# Summary

Stormwater is rainwater and melted snow that contains pollutants such as heavy metals and chloride from vehicle traffic, road salt, building materials, industries, etc. A relatively new method for water purification is floating wetlands, which have given promising results for the purification of eutrophic watercourses, especially in warmer climates. However, knowledge of their ability to clean heavy metals and chloride in our Nordic climate is lacking. Furthermore, the foundation of existing floating wetlands is made of spun PET-plastic, which can increase the supply of microplastics to the aquatic environment.

In a previous project, we have identified species that work well to purify water from chloride (Cl) and the heavy metals cadmium (Cd), copper (Cu), lead (Pb) and zinc (Zn) in the Swedish climate. The purpose of the now reported project was to investigate how the purification ability of plants is affected 1) by temperature and salinity in the water, 2) by heavy metals already accumulated in the plant and 3) to investigate other possible materials for the production of wetland rafts. The project also carried out a pilot test with wetland plants in rafts made of materials other than spun plastic, in two stormwater ponds in Stockholm municipality.

In previous projects, we found that cyperus sedge *(Carex pseudocyperus)* and greater pond sedge *(Carex riparia)* reduced the level of heavy metals in the water and that reed canary grass *(Phalaris arundinacea)* absorbed large amounts of chloride. In the project reported here, we found that the purification ability of these plants was affected to varying degrees by external factors. Salt in the water reduced the purification of Cd and Pb, and low temperature resulted in lower purification of all investigated heavy metals than higher temperatures. The effects varied in degree depending on the species.

The plants took up the pollutants continuously regardless of whether they had previously accumulated the substance or not. The plants' uptake of heavy metals increased if the ambient pollution level increased. But if the heavy metal content in the surrounding water dropped, parts of the heavy metals taken up were released.

Under field conditions, there were clear differences in uptake patterns between metals, sites and species. The plants took up the most Cu, followed by Zn, Pb and Cd from the water. The concentration of metals in the water was relatively similar for both sites, except for Zn. This resulted in higher Zn plant uptake at the site with the highest Zn concentration, in line with our findings from previous studies.Reed canary grass distinguished itself through high growth and high uptake. Under the field conditions, the wetland construction was used which appeared to be functional, had good buoyancy, had the least environmental impact and was durable. The construction was built from plastic pipes, chicken wire and coconut fiber.

The project shows that there is potential to purify polluted water from heavy metals and chloride with floating wetlands in a Swedish climate and that it is important to choose species that have a high purification capacity for the intended environment. Further studies should examine the long-term field effectiveness of the floating wetlands, harvesting methodology, and the ability of these species to clean other types of pollutants. The results from the project are of great importance for those who work with existing stormwater treatment facilities in society as well as for those who plan new stormwater treatment systems for community building.

# 1 Inledning

Dagvatten är nederbörd som tillfälligt rinner på hårdgjorda tak och markytor och för med sig partiklar, näringsämnen och föroreningar. Under ett år regnar det 500–1 000 mm i Sverige. Skyfall har blivit allt vanligare och ökar mängden förorenat dagvatten som måste omhändertas, ett stort problem som på sikt måste lösas. Vattenmängderna är för stora för dagens rörsystem. De stora vattenmängderna kräver dagvattenanläggningar med öppna lösningar i form av konstruerade våtmarker, som omhändertar och renar dagvatten, inplanerade i samhällsbyggandet. Förutom slutna rörsystem innefattar dagens dagvattenhanteringssystem dagvattenbrunnar med filterinsatser, perkolationsanläggningar, översilningsytor, infiltrationsdammar, dammar, meandrande kanaler, beväxta markbäddar och våtmarker. De stora vattenmängderna kan inte magasineras utan måste renas och släppas vidare ut i recipienter.

Reningsmetoden är för närvarande att sedimentera partiklar, med vilka en del bundna föroreningar och fosfor följer, samt att omvandla kvävet mikrobiellt till kvävgas i dammar. Men dagvattnet innehåller även metaller, som till olika hög grad passerar ut till recipienten (Andersson et al. 2012); metallreningen är mycket eftersatt. Metaller som zink, koppar och kadmium anses vara det värsta problemet, men även bly kan vara problem. Dessutom passerar klorid från vägsalt ut till största delen orenat till recipienten (Andersson et al. 2012).

På senare tid har en del dagvattenanläggningar i form av dagvattendammar, magasin och konstruerade våtmarker anlagts som omhändertar och försöker rena dagvatten. Våtmarker har stora öppna ytor med ett mindre antal växter i strandkanten för att stimulera den bakteriella aktiviteten, men till största delen för att göra anläggningarna landskapsarkitektoniskt mer attraktiva. Målet med anläggningarna är att förbättra kvaliteten på vattnet som går ut i recipienten.

För att öka reningseffekten kan man använda flytande våtmarker som består av en flytenhet i vilka man planterat växter som växer med rötterna ner i vattnet. Rötternas närvaro ökar den bakteriella aktiviteten. Dessutom ökar rötternas närvaro sedimenteringen av partiklar. Reningen av vattnet från tungmetaller är dålig och av klorid i den närmast obefintlig med nuvarande metoder och måste förbättras. Detta går att lösa med hjälp av växter som har högt upptag av dessa ämnen. Upptagningsförmågan måste fungera väl när dagvattnets vägsalthalter ökar efter vårens snösmältning samt under varierande temperaturer, eftersom vårt lands temperaturer förändras ganska mycket över året.

Växterna planteras i flytblock och flyter omkring på vattnet tills flytblocken avlägsnas. De flottar som används kommersiellt idag kommer bland annat ifrån BioHaven® USA och bygger på återvunnen PET plast som malts ner och byggts porösa flytblock av. Dessa flytblock görs hål i, för plantering av pluggplantor med ovanvattensväxter och låter hela systemet flyta på vattnet. Flytblocken kopplas samman för att täcka en större yta (och volym). Växternas rötter, men även plasten i sig, fungerar här som hemvist för den mikrobiella floran som ger den kväverenande effekten. Själva idén är emellertid gammal och flytande skumplastskivor har använts inom växtfysiologisk forskning under större delen av 1900-talet. De flytande våtmarkerna kan läggas i och tas upp efter önskemål och rötterna upptar en stor volym av vatten som kan renas. Men det finns en negativ aspekt. Ett av de senaste stora miljöhoten i hav och sjöar är mikropartiklar av plast, som härrör från den stora mängden plast som slängts i naturen. Dessa partiklar, som flyter omkring i vattnet tas upp av vattenlevande organismer och påverkar dessa och de som äter dem. Att använda ett naturfrämmande material som porös stålullsliknande plast i en våtmark som ska renas är därför inte tilltalande. Den porösa stommen i flytblocket kommer genom mekanisk, kemisk, och fysikalisk påverkan under en längre tid släppa

ifrån sig mikropartiklar av plast. Dessutom är det sannolikt att materialet, som är inert, så småningom kommer att slamma igen.

Det projekt som redovisas i denna rapport är Etapp 2. I Etapp 1 fann vi våtmarksväxtarter som är bra på att rena bort tungmetaller och vägsalt från vatten (Greger & Schück 2019). Mekanismen bakom detta ligger i växtens biomassatillväxt. Vi fann att slokstarr *(Carex pseudocyperus)*, jättestarr *(Carex riparia)* och rörflen *(Phalaris arundinacea)* är arter med förmågan att rena vatten från dessa föroreningar (Schück & Greger 2022). I Etapp 2 använde vi dessa arter för att närmare undersöka inverkan av yttre påverkan på rening av salt och tungmetaller i flytande våtmarker samt material till flottkonstruktionen.

# 2 Syfte

Målet med projektet som helhet, dvs. etapp 1 och 2, var att ta fram teoretiska och praktiska förutsättningar för flytande våtmarker för rening av dagvatten från tungmetaller och klorid (vägsalt).

Syftet med etapp 2 var att undersöka:

1. hur temperatur och salthalt i vattnet påverkar växternas reningsförmåga,
2. hur en redan ackumulerad mängd metaller i växterna påverkar deras möjlighet till fortsatt rening,
3. undersöka andra möjliga flottmaterial än spunnen plast, samt
4. utföra en pilotstudie i fält med flottar i dagvattendammar.

# 3 Metod

## 3.1 Växternas förmåga att rena tungmetaller från vatten vid olika temperaturer och salthalter

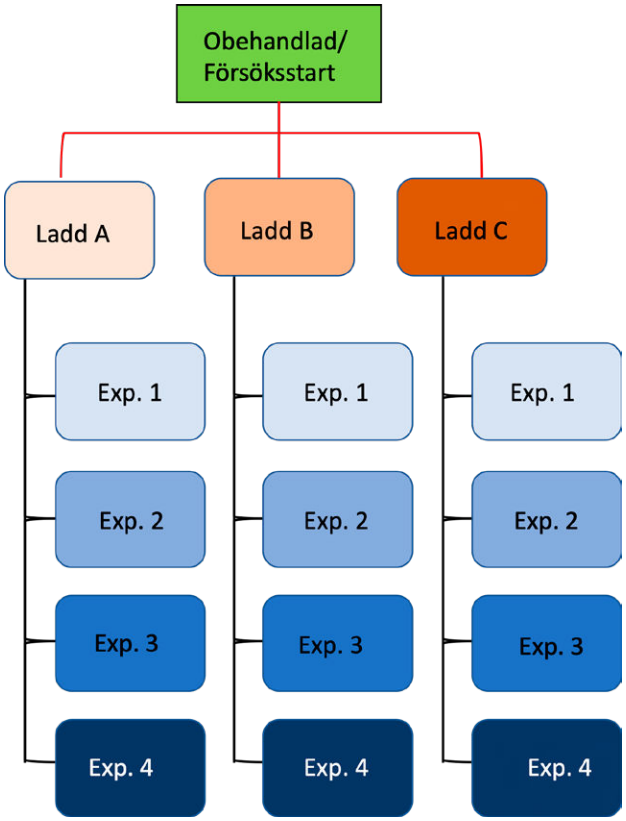
Effekten av temperatur och salthalt undersöktes på slokstarr *(Carex pseudocyperus)*, jättestarr *(Carex riparia)* och rörflen *(Phalaris arundinacea)*. Försöket utfördes i växthus med 5, 15, och 25 °C. Efter acklimatisering i växthus odlades växterna i flytblock i en vattenlösning med låg näringshalt (hydroponisk odling), och exponerades därefter i fem dagar för en lösning innehållande 1,2 µg Cd $L^{-1}$, 68,5 µg Cu $L^{-1}$ , 78,4 µg Pb $L^{-1}$, 559 µg Zn $L^{-1}$ och 0, 60 resp 600 mg Cl $L^{-1}$, en föroreningsmängd baserat på halterna i dagvatten från högtrafikerad väg (Billberger 2011). Detta resulterade i 27 olika kombinationer av te mperatur, salthalt och växtart, vilket möjliggjorde studier av eventuella interaktioner mellan dessa faktorer. Försöket avslutades efter 5 dygn och växterna analyserades på tungmetaller med atomabsorptionsspektrofotometri (AAS) och på klor med jonkromatografi (IC).

## 3.2 Ackumulerade tungmetallers effekt på tungmetallupptag

Effekten av i växten redan ackumulerat metaller på fortsatt rening av metaller från vatten undersöktes i slokstarr *(Carex pseudocyperus)*. Försöket utfördes i växthus vid 15 °C. Växterna odlades i flytblock i en vattenlösning med låg näringshalt (hydroponisk odling). Därefter laddades de med metaller genom upptag av 3 olika koncentrationer (A–C) tungmetallblandning under 5 dagar (Tabell 3.1). Efter detta exponerades de laddade växterna för 4 olika koncentrationer (1–4) av tungmetallblandningen i 5 dagar (Tabell 3.1). Metallerna tillsattes som $CdCl_2$, $CuCl_2$, $PbCl_2$, and $ZnCl_2$. Försöket avslutades efter 5 dygn. Växter både från laddning och exponering analyserades på tungmetaller med atomabsorptionsspektrofotometri (AAS).

| Metall | Laddning, µM | | | Exponering, µM | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | 1 | 2 | 3 | 4 |
| **Kadmium (Cd)** | 0 | 0,25 | 1 | 0 | 0,002 | 0,05 | 0,5 |
| **Koppar (Cu)** | 0 | 0,25 | 2 | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,5 |
| **Bly (Pb)** | 0 | 0,5 | 5 | 0 | 0,05 | 0,1 | 1 |
| **Zink (Zn)** | 0 | 5 | 30 | 0 | 0,5 | 1 | 10 |

**Tabell 3.1**
Tungmetallhalter som växterna 1) laddades med (A, B, C) och sedan 2) exponerades för (1, 2, 3, 4). Metallerna tillsattes som $CdCl_2$, $CuCl_2$, $PbCl_2$, and $ZnCl_2$.




**Figur 3.1**
Schematisk översikt av experimentlayouten. Före starten av experimentet analyserades obehandlade växter för att mäta bakgrundsmetallnivåer. Efter exponering för de tre olika laddningsbehandlingarna (Ladd) och efter exponering för de fyra exponeringsbehandlingarna (Exp.) analyserades växterna på metallhalter.

## 3.3 Material till flottar

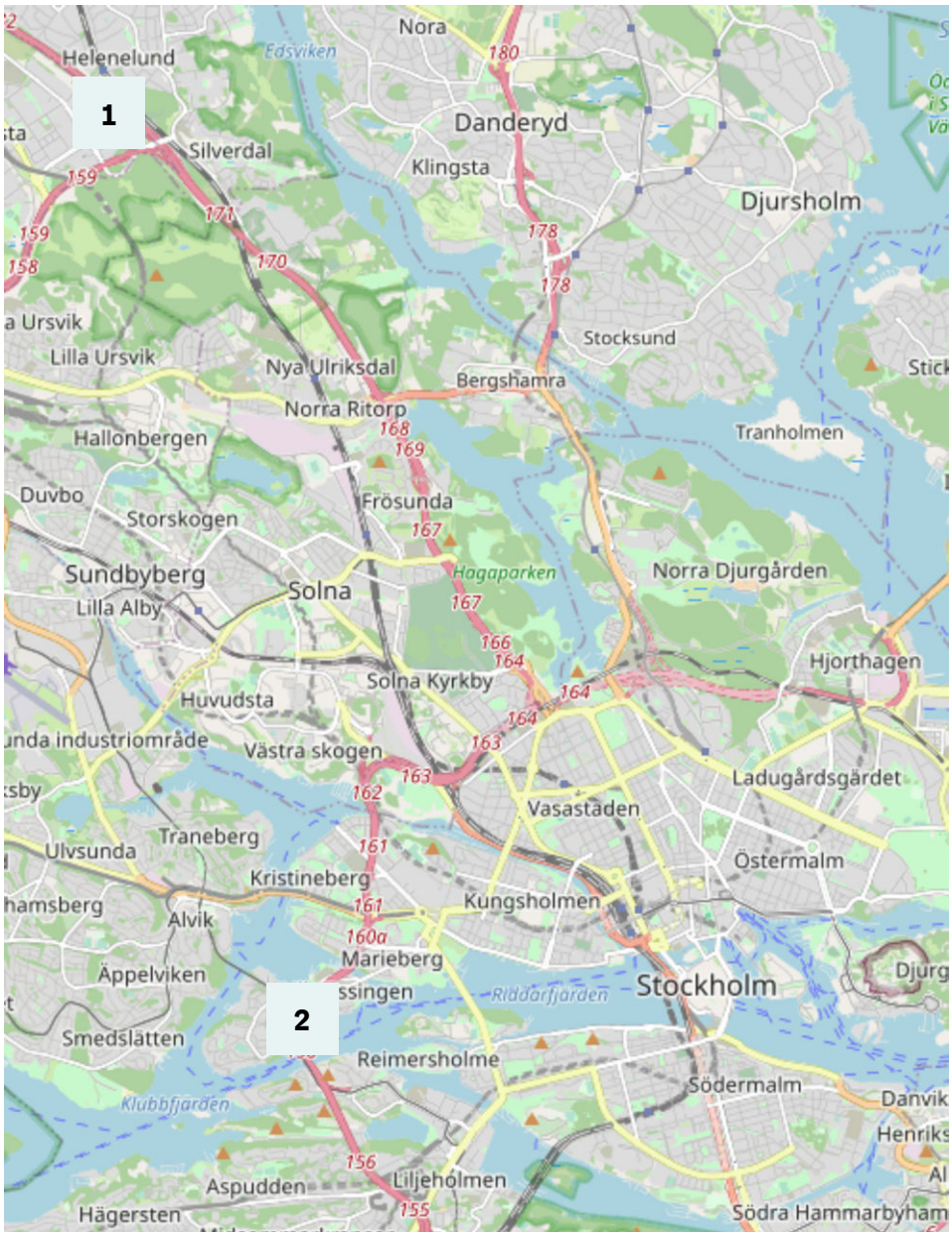
Olika material, som inte skulle avge mikroplastpartiklar och som till stor del var naturmaterial, användes i flottkonstruktioner (Figur 3.2). De flottkonstruktioner som testades var A) av granslanor, B) av bamburör med lecakulor i nät och C) av plaströr med kokosmatta i hönsnät. Bamburörskonstruktionen testades även utan bamburör, dvs. enbart lecakulor i nät, och plaströrskonstruktionen testades också med lecakulor i rören för ökad flytkraft. Det senare visade sig vara onödigt då flotten hade tillräcklig flytkraft utan lecakulor.

Flottarna testades för flytkraft under 1,5 månads tid i en växthusdamm.

**Figur 3.2**
Modeller av testade flottar. A: brända slanor av gran, som bundits samman med samma teknik som används vid gärdesgårdstillverkning. B: bambustammar, lecakulor i stålnät. C: PVC-plaströr med hönsnät och kokosmatta. Foto: Mikaela Boltenstern.

## 3.4 Pilotförsök i fält

Flottkonstruktion C fungerade bäst och användes som modell i ett pilotförsök i fält. Flottarna som användes var 0,58*1,07 m. De bestod av ramar gjorda av 75 mm avloppsrör av polypropen för att ge flytkraft. Galvaniserade hönsnät fästes under och ovanför ramen för att stödja en kokosfibermatta i tre lager. I kokosmattan monterades 6 plantor av vardera av de tre arterna. Två flottar användes och lades ut i dagvattendammar; den ena i Silverdal, Kista, och den andra i Lilla Essingen, båda under E4an 7 juli 2020 (Figur 3.3). Efter 12 veckor, den 29 september, togs flottarna omhand och växterna analyserades på tungmetaller med atomabsorptionsspektrofotometri (AAS).




**Figur 3.3**
Karta över Stockholm som visar Silverdal dagvattendamm (1) och Lilla Essingen dagvattendamm (2). © OpenStreetMap contributors, använd under Open Data Commons Open Database License.

## 3.5 Statistisk behandling

Resultaten har behandlats statistiskt i programmet R version 3.5.1.

Växthusförsöken gjordes i 5 upprepningar. Pilotstudien gjordes med en flotte per plats, två platser och 6 upprepningar i varje flotte.

# 4 Resultat och diskussion

## 4.1 Inverkan av temperatur och salt på reningseffekten

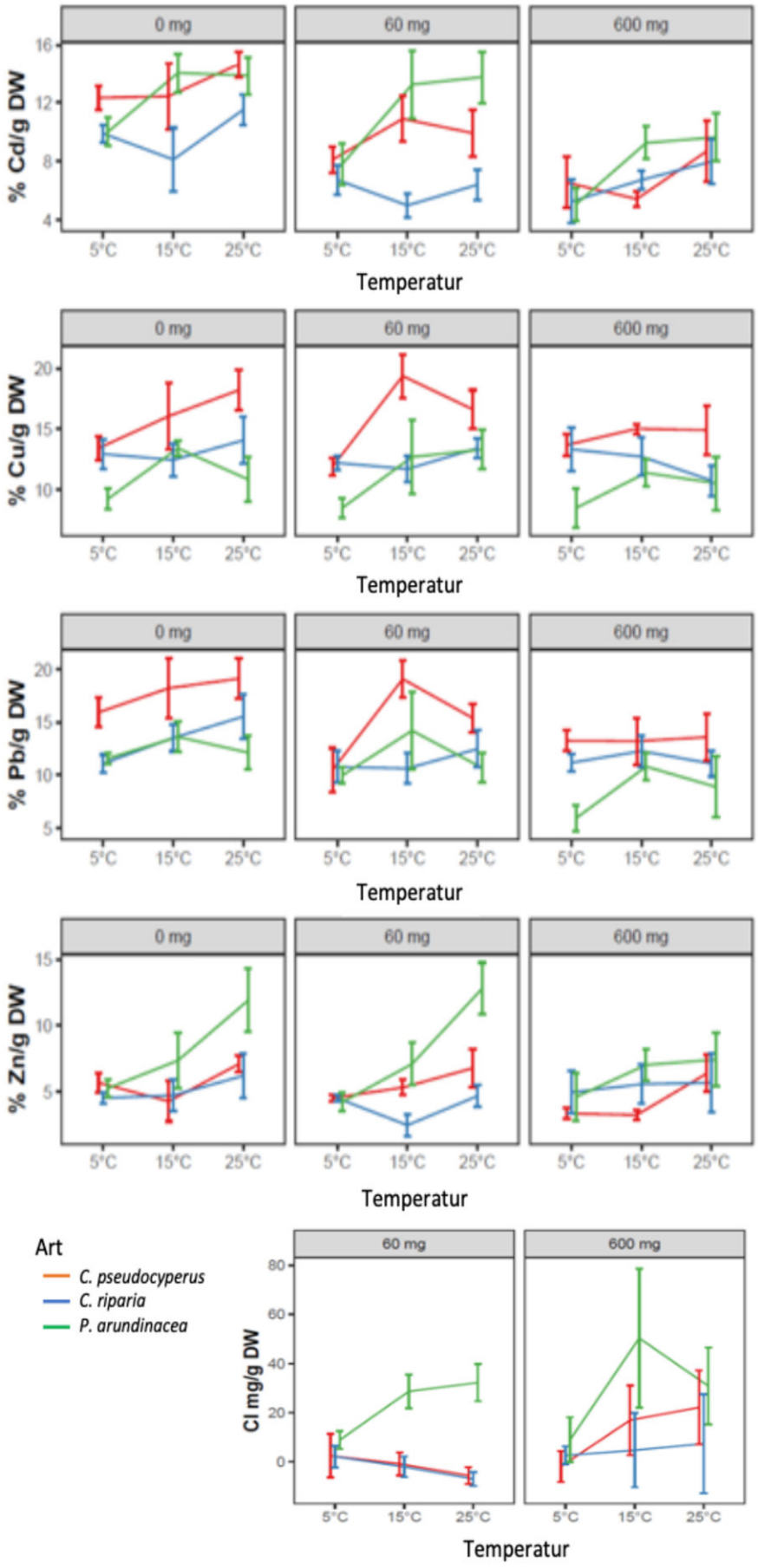
Hög temperatur ökade generellt reningseffektiviteten av tungmetaller jämfört med en låg temperatur (Figur 4.1). Kloridreningen ökade också med ökad temperatur för *P. arundinacea*, men för *Carex*-arterna endast vid höga salthalter. Avlägsnandet av ämnena i undersökningen ökade med ökande temperatur från 5 °C till 15 °C, men var lika mellan 15 °C och 25 °C. Intervallet 5–15 °C är viktigt eftersom det inkluderar medeltemperaturen för många vår- och höstmånader i Sverige.

Vid temperaturer under 5 °C kommer reningskapaciteten sannolikt att minska ytterligare eftersom omsättningen av växter minskar för att sluta vid lägre temperaturer. Denna effekt av sjunkande temperaturer minskar frisättningen av syre genom rötterna, vilket bromsar biofilmsprocesser och växters aktiva upptag av ämnen som metall- och kloridjoner (Brunham och Bendell 2011; Nsenga Kumwimba et al. 2021).

Åtgärder för att öka metall- och kloridavlägsnande under vintrar kan vara att öka retentionstid, val av köldtoleranta växter, mekanisk luftning, bioaugmentering där man tillsätter köldtoleranta mikrober och tillsats av absorberande filtermaterial till våtmarksflotten. För att stödja adsorptions- och sedimentationsprocesser är det dessutom viktigt att välja växter med stora rotsystem för att skapa så mycket kontakt mellan växterna och vattnet som möjligt. Dessutom kommer en hög mängd ovanjordisk biomassa att gynna ett mildare mikroklimat och resultera i högre överlevnad (Vymazal 2011).

Under delar av året är salthalterna i vattnet högre än under övriga året, speciellt efter vinterns utspridning av vägsalt. Kloridhalten minskade upptagseffektiviteten av bly och kadmium generellt (Figur 4.1). Däremot påverkade inte salthalten reningseffektiviteten av klorid, koppar och zink. Vi fann ingen interaktionseffekt mellan salt och temperatur på reningseffektiviteten av tungmetaller och klorid. Däremot påverkades de undersökta växtarterna i olika grad av salthalt och temperatur, där hög temperatur exempelvis gav en kraftig ökning av Zn-upptaget hos *P. arundinacea*.

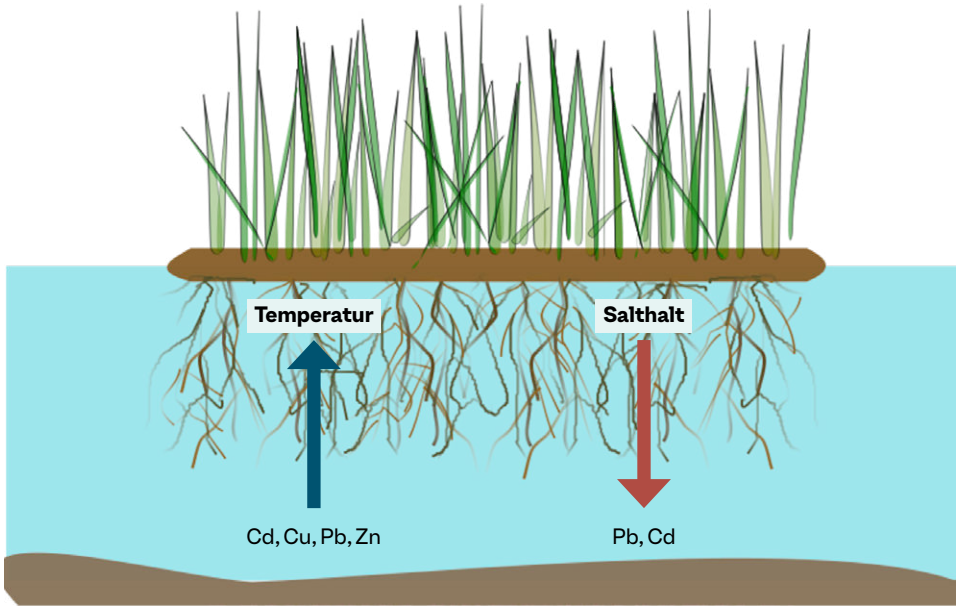
Salt är känt för att minska metallackumulering, men dess effekter skiljer sig åt mellan växtarter och mellan metaller (Fritioff et al. 2005). En flytande våtmark som renar vatten som innehåller vägsalt kan förväntas ha ett lägre borttag av vissa metaller så länge salthalten är förhöjd. Den totala avskiljningsförmågan kan också försämras eftersom Na+ från vägsaltet ökar mobiliseringen av Cd och Zn från sedimentet, och därmed ytterligare ökar tungmetallhalten i vattnet (Greger et al. 1995; Du Laing et al. 2008).




**Figur 4.1**

Effekten av salt (0, 60, 600 mg) och temperatur på upptaget av klorid och tungmetaller från vatten under fem dygn (% bortförda metaller per g torr växtbiomassa (DW)). Initiala metallkoncentrationerna var 1,2 µg Cd $L^{-1}$, 68,5 µg Cu $L^{-1}$, 78,4 µg Pb $L^{-1}$, och 559 µg Zn $L^{-1}$; n = 5, ±SE.

(Schück och Greger 2023)




**Figur 4.2**
Schematisk figur på hur temperatur och salthalt påverkar upptaget av metaller i växter. Blå pil, ökat upptag; röd pil, minskat upptag.

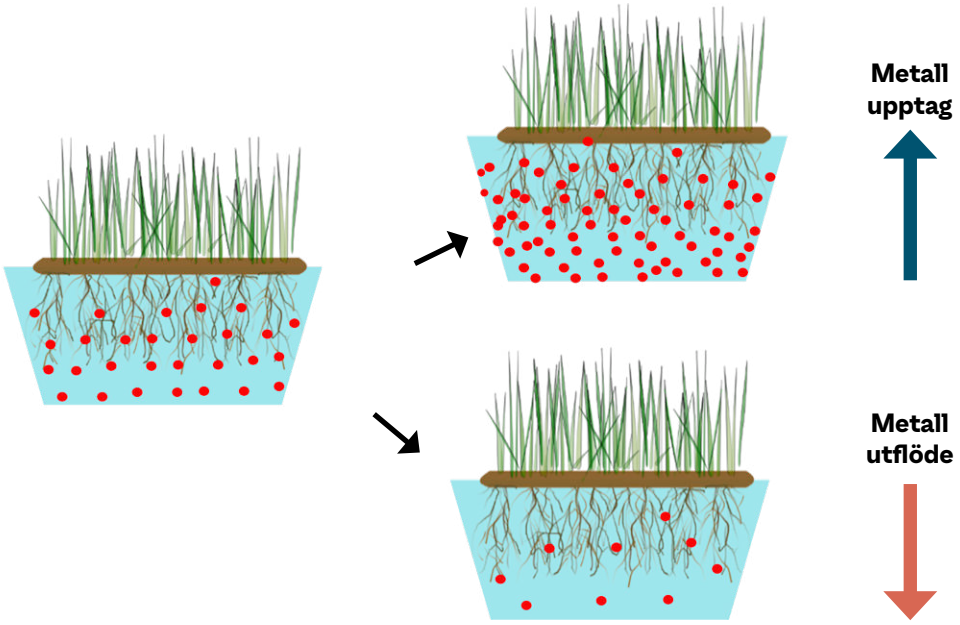
## 4.2 Effekten av växtens inre metallkoncentration på reningsförmågan

Vattenrening med växter gör att de renande växternas inre metallkoncentration ökar. Frågan var om detta inverkar på fortsatt reningseffektivitet. Resultaten visar att så länge den externa koncentrationen är högre än den interna så tar växterna upp mer metaller (Tabell 4.1). Om den externa lösningen istället är lägre än den i växterna finns tendenser att växterna släpper ifrån sig metaller för att utjämna metallkoncentrationerna och uppnå jämvikt. Ju högre metallkoncentration i vattnet desto högre metallupptag i växterna, vilket stämmer överens med andra studier (Deng et al. 2004).

**Tabell 4.1**
Förändringar i tungmetallkoncentrationen i vattnet efter fem dagars exponering med Carex pseudocyperus. Orangemarkerat visar minskning (utflöde) och grönmarkerat visar ökning (upptagning). Växterna var innan exponeringen laddad i vatten med 0, låg resp hög koncentration av metaller. Växterna exponerades för 0, låg, medium resp. hög koncentration av metaller (se Tabell 3.1 för mer information). n=5.

| Laddning | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Noll | | | | Låg | | | | Hög | | | |
| | | Exponering | | | | | | | | | | | |
| | | Noll | Låg | Medium | Hög | Noll | Låg | Medium | Hög | Noll | Låg | Medium | Hög |
| Förändring i lösningskonc., % | | | | | | | | | | | | | |
| Cd | | 0 | – | – | – | – | -99 | -80 | 100 | – | -100 | -95 | -50 |
| Cu | | 0 | 400 | 900 | 2 400 | -92 | -60 | -20 | 100 | -99 | -95 | -90 | -75 |
| Pb | | 0 | – | – | – | – | -90 | -80 | 100 | – | -99 | -98 | -80 |
| Zn | | 0 | 1 567 | 3 233 | 33 233 | -100 | -90 | -80 | 100 | -100 | -98 | -97 | -67 |

Mekanismerna bakom dessa förändringar i vävnadskoncentration är inflödet och utflödet av metalljoner mellan celler, cellvägg och det omgivande vattnet (White 2011). En del av metallen binds dock hårt till cellväggarna eller sekvestreras i vakuoler som en avgiftningsmekanism för överskott av metaller, eller används i metaboliska processer (Küpper och Andresen 2016). Dessa processer resulterar i en nettoackumulering av metall för växter.




**Figur 4.3**
Schematisk bild på hur upptaget varierar om där finns lite resp. mycket metaller i vattnet. Röda punkter är metaller. Bilden visar vad som händer när växter förexponeras (laddas) i metaller och sedan överförs i en lösning med antingen låg metallkoncentration (nedan) eller hög koncentration (ovan) av metaller.

Nyquist och Greger (2007) använde liknande koncentrationer och exponeringstid, men fann inget läckage av Cu och Zn, endast av Cd, för undervattensväxten *Elodea canadensis*. Landberg et al. (2011) fann att förexponering av den undersökta metallen begränsade ytterligare upptag av Cd men inte Zn i *Salix viminalis*. Sricoth et al. (2018) ändrade inte koncentrationen i lösningen utan utförde upprepad dosering under 15 dagar av höga koncentrationer av Cd och Zn och fann en minskning av reningskapaciteten. Detta tyder på en metallmättnad i vävnaderna hos alla sex våtmarksväxtarter, som de studerade. På liknande sätt gjorde Weiss et al. (2014) och använde lägre koncentrationer och såg en minskning av metallupptaget i rotvävnaden hos *Scirpus validus* efter 30 dagar för Cd, Cu, Pb och Zn. Däremot kan växterna fortsätta att växa under en lång exponering, vilket kan motverka växtvävnadsmättnad genom den biologiska utspädningseffekten det för med sig och därmed ökas växternas upptag och lagringskapacitet. Detta understryker vikten av att välja arter anpassade till platsens förutsättningar.

## 4.3 Flottkonstruktioner

Resultaten visar att alla flottarna hade tillräcklig flytkraft, enbart granflottens flytförmåga minskade något med tiden (Tabell 4.2). Den med bäst flytförmåga var plaströrsflotten. Den kostade dock mest att tillverka, men var samtidigt den enklaste att bygga. Den billigaste, men svåraste att sätta samman var granflotten. Bambuflotten kunde flyta bra utan bamburören och då blev den också billigare att göra. Ingen av dessa flottar bör ge ifrån sig mikroplaster under användningsperioden.

**Tabell 4.2**
Jämförelse av flottkonstruktioner. Grönt, bra; gult, medel; rött, sämst.

| Flotte | Kostnad, kr | Flytkraft, kg/flotte | Ändring i flytkraft, kg/flotte | Miljövänlig | Konstruktions-svårighet | Varaktig |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bambu | 296 | 1,4 | oförändrad | +/- | +/- | +++ |
| Plaströr | 729 | 5,6 | oförändrad | +/- | +++ | +++ |
| Gran | 0 | 2,8 | -1,5 | +++ | --- | +++ |
| Leca | 25 | 1,4 | oförändrad | +++ | +/- | +++ |

Enligt Headley och Tanner (2006) har alla våtmarksväxter förmågan att etablera självflytande med tiden. Därför är den stödjande flottkonstruktionen endast nödvändig i början. Om ett självflytsystem är målet för en flytande våtmarksetablering är granflotten den perfekta konstruktionen eftersom den kan brytas ner med tiden, men ändå ge stöd under det första året. Kärnveden absorberar vatten långsammare än splintveden, detta eftersom kärnveden har en högre andel hartsämnen och mer slutna porer än splintveden (Esping, 1992). Förmodligen i det här fallet har splintveden absorberat vatten och är mättad, kärnveden är dock fortfarande omättad och kommer att vara det under en längre tid än splintveden, vilket ändrar flytkraften på sikt (Tabell 4.2).

Bambu är ett av världens mest använda material tack vare sin lätthet och styrka (Farrelly, 1984). Bambu har historiskt använts för flottkonstruktioner och flera andra typer av produkter med vattenkontakt. Bambu är dock inte särskilt beständig mot vatten och bryts ned snabbt om den inte behandlas. Enligt Wahab et al (2009) har obehandlade bamburör en hållbarhet på ett år i vatten.

Leca (Light Expanded Clay Aggregates) är gjort av expanderad lera och är både ett miljövänligt material och har bra flytförmåga (Leca, 2020). Leca tillverkas i Sverige och är billigt att köpa, därav har flotten med Leca ett billigt pris när den är utan bambu (Tabell 4.2). De många fördelarna gör Leca till ett bra fyllnadsmaterial att använda i en flytande våtmarksflotte.

## 4.4 Pilotfältförsöket

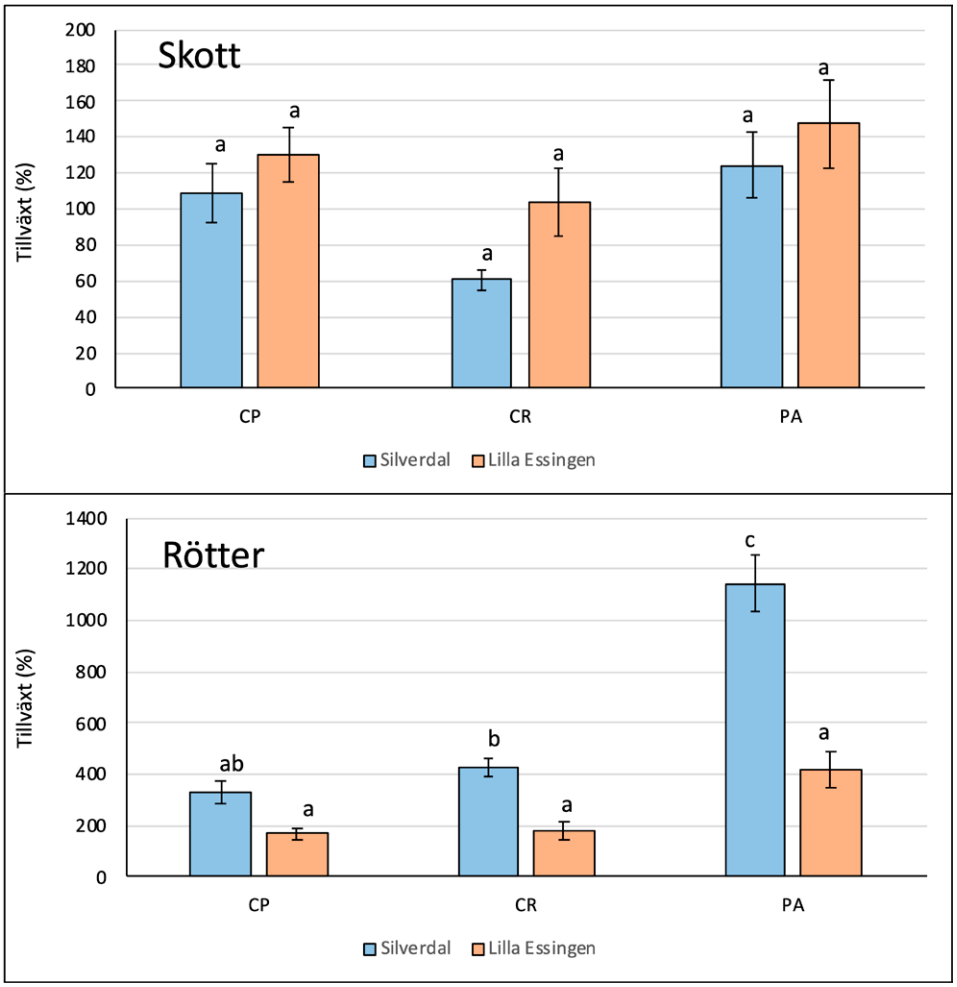
Pilotstudien testade hur de utvalda växtarterna och flotten fungerar i fält (Figur 4.4). De två dagvattendammarna hade vatten där föroreningsgraden varierade (Tabell 4.3). Vattnet i dammen på Lilla Essingen innehöll möjliga oljiga föroreningar som fastnade i rötternas biofilm. Föroreningen var troligtvis en orsak till att rötterna hos växterna växte sämre på Lilla Essingen än i Silverdal (Figur 4.5). I övrigt växte alla växtarter bra i de båda vattnen.

**Figur 4.4**
En av de två flottar, innan utsättning, som användes i pilotstudien. Foto: Maria Schück

Runt rötterna bildas biofilmer som tillsammans med rötterna tar bort föroreningar genom adsorption, absorption och biotransformation till mindre giftiga metallformer (Headley och Tanner 2006; Jasu och Ray 2021). Den kraftiga biofilmen på rötterna på växter som vuxit på Lilla Essingen kan vara orsaken till att dessa växter ändå hade en god biomassatillväxt (Figur 4.5).

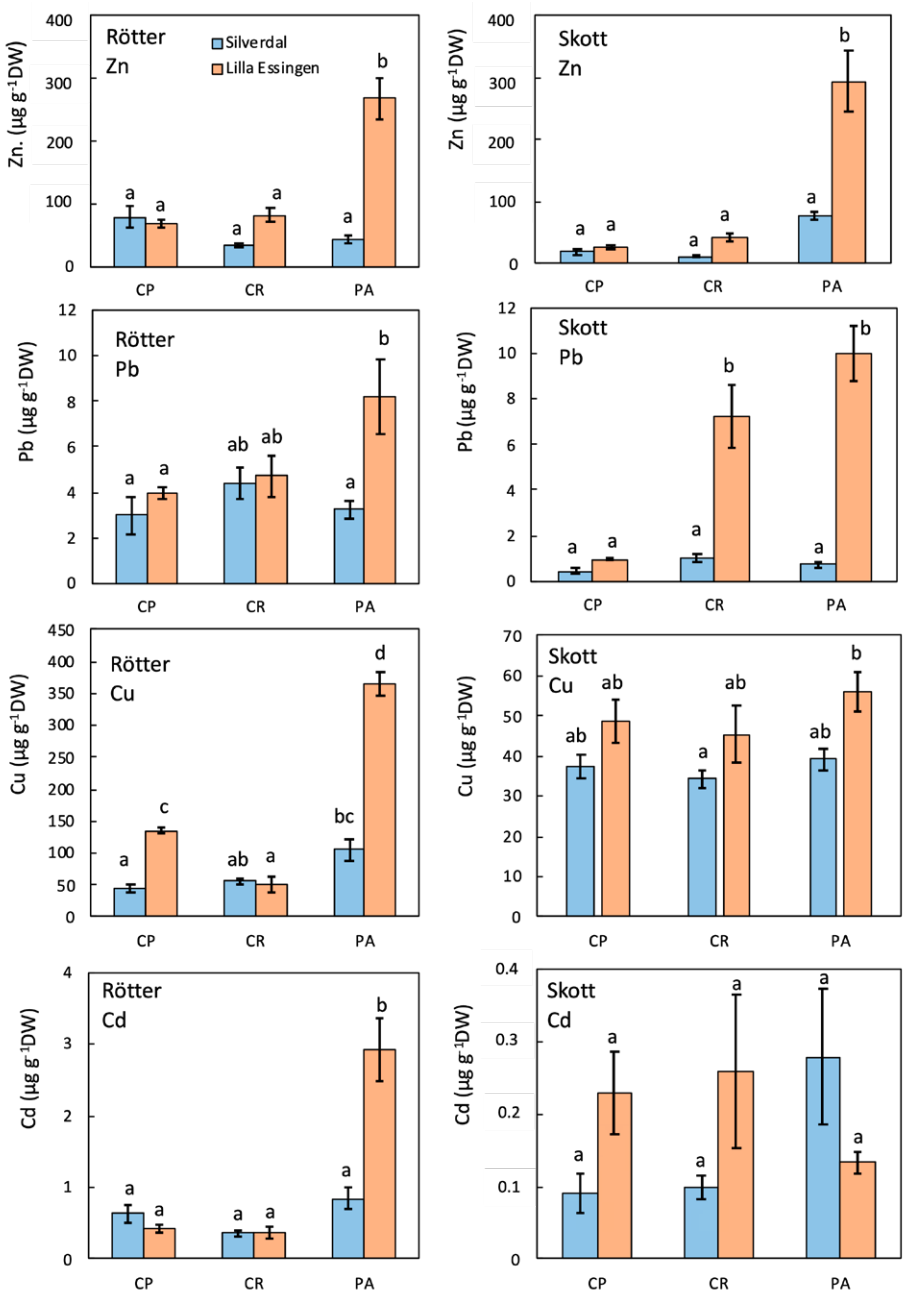
| | Cd | Cu | Zn | Pb |
|---|---|---|---|---|
| | µg/L | µg/L | µg/L | µg/L |
| **Medelhalt** | | | | |
| Lilla Essingen | 0,13±0,05 | 181±44 | 53±6 | 5,3±0,7 |
| Silverdal | 0,10±0,02 | 180±25 | 14±4 | 3,9±1,3 |
| **Intervall** | | | | |
| Lilla Essingen | 0,01–0,20 | 45–300 | 35–71 | 3–7 |
| Silverdal | 0,05–0,15 | 100–250 | 3–20 | 1–8 |

**Tabell 4.3**
Metallhalter i vattnet i dagvattendammarna i Silverdal och Lilla Essingen mellan 7 juli och 29 september 2020.




**Figur 4.5**
Tillväxt under fältförsöket, angivet som % av startvikten, i rötter och skott hos Carex pseudocyperus (CP), Carex riparia (CR) och Phalaris arundinacea (PA). Växtflottarna placerades i dagvattendammar i Silverdal och Lilla Essingen. Olika bokstäver indikerar signifikanta skillnader ($p < 0,05$) mellan arter och platser. n=6, ±SE.
(Boynukisa et al. 2023)

Växterna tillväxte bra och hade inte några symptom på näringsbrist eller toxisk påverkan. Välmående plantor tar också upp metaller bra. Metallupptaget var i de flesta fallen störst från vattnet på Lilla Essingen, även då halterna i vattnet inte var signifikant skilt från det i Silverdal, som i fallet med Cd och Cu (Figur 4.6). *Phalaris arundinacea* var den som skillnaden mellan platserna syntes bäst på. Denna art hade också i de flesta fallen störst upptag av metallerna.




**Figur 4.6**
Netto metall-koncentrationen, angivet som metallmängd som tagits upp under försöksperioden / gram biomassa, i rötter och skott hos *Carex pseudocyperus* (CP), *Carex riparia* (CR) och *Phalaris arundinacea* (PA). Olika bokstäver indikerar signifikanta skillnader ($p < 0,05$) mellan arter och platser. n=6, ±SE
(Boynukisa et al. 2023)

Andra faktorer som påverkar metallupptaget som inte mäts i denna studie inkluderar skillnader i ljusförhållanden (van Gelderen et al. 2018) och vattenkvalitet utöver metallinnehåll, exempelvis näringsnivån (Göthberg et al. 2004), pH (Li et al. 2015) och vattenhastighet (Weiss et al. 2014).

Březinová och Vymazal (2015) visade att mängden metaller i våtmarksväxten *P. arundinacea* varierar under säsongen och att olika metaller har maximala koncentrationer i växten vid olika tider på året eftersom växtrötterna saktar ner vattenhastigheten (Marchand et al. 2010). Denna effekt ökar uppehållstiden för metallerna i vattnet, vilket ökar sedimentationen och ger mer tid för interaktion mellan växter och metaller. Nätverk av tunna rötter har också större ytaareor, som kan absorbera och adsorbera fler metaller (Li et al. 2015).

# 5 Slutsatser

Eftersom växterna har olika upptagsstyrka under olika förhållanden rekommenderas att använda en blandning av arter för att ge en stabil behandlingseffekt under varierande förhållanden. Då kan både salttoleranta arter med lägre ackumulering av metaller och högackumulerande arter, men med lägre kloridtolerans, samverka.

Det är viktigt att använda växter som fungerar i den givna miljön. Av den orsaken bör man välja salttoleranta växter i vatten med hög salthalt, även om de inte har högst metallreningsförmåga. *Phalaris arundinacea* har exemeplvis hög rening av Cl, Cd och Zn men låg Cl-tolerans jämfört med de andra arterna. Men om Cl-koncentrationen överstiger 500 mg Cl $L^{-1}$ skulle *C. riparia* istället föredras för vattenrening eftersom denna art är mer salttolerant, trots att *C. riparia* har sämre tungmetallreningsförmåga. Att använda *P. arundinacea* för rening i så höga salthalter skulle minska den totala växtackumuleringen på lång sikt på grund av dålig tillväxt.

Det går att bygga flytande, hållbara och miljövänliga våtmarksflottar som inte frigör mikroplaster. Flottar med bambustammar eller plaströr blir stabilare än de som består av spunnen plast som används idag.

Ansamlingen av föroreningar i växter ökar med en högre föroreningsbelastning. Således skulle de flytande våtmarkerna vara mest användbara i vatten med hög föroreningsbelastning, såsom dagvattendammar med vatten från tungt trafikerade vägar. Det är väsentligt att ge tillgång till våtmarken för skörd och underhåll som ersättning av döda växter eller muddring av sediment. Eftersom borttagningseffektiviteten sannolikt ändras mellan årstider på grund av skillnader i temperatur, salthalt och föroreningsbelastning kan de flytande våtmarkerna kombineras med andra behandlingsmetoder om det är viktigt att uppnå en viss reningskapacitet.

Externa faktorer påverkar växternas reningsförmåga. Temperatur, salthalt och metallkoncentration påverkar förmågan att avlägsna metaller och klorid, men omfattningen skiljer sig åt mellan arterna. Det är därför viktigt att välja arter som har högt avlägsnande i den avsedda miljön för att maximera effektiviteten hos de flytande våtmarkerna. Det finns också goda möjligheter att använda naturmaterial eller plastmaterial, med liten risk för mikroplastspridning, i flottarnas konstruktion.

# Referenser


Andersson et al. 2012. NOS-dagvatten. Uppföljning av dagvattenanläggningar i fem Stockholmskommuner. SVU-rapport 2012-02.

Billberger, M., 2011. Road runoff – Advice and recommendations for choosing environmental measures (in Swedish). Borlänge, Sweden.

Boynukisa, E., Schück, M. & Greger, M., 2023. Differences in Metal Accumulation from Stormwater by Three Plant Species Growing in Floating Treatment Wetlands in a Cold Climate. Water air and Soil Pollution, 234:235

Březinová T, Vymazal J (2015) Evaluation of heavy metals seasonal accumulation in Phalaris arundinacea in a constructed treatment wetland. Ecological Engineering 79:94–99.

Brunham W, Bendell LI (2011) The Effect of Temperature on the Accumulation of Cadmium, Copper, Zinc, and Lead by Scirpus acutus and Typha latifolia: A Comparative Analysis. Water Air Soil Pollut 219:417–428.

Deng H, Ye ZH, Wong MH (2004) Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. Environmental Pollution 132:29–40.

Du Laing G, De Vos R, Vandecasteele B, et al (2008) Effect of salinity on heavy metal mobility and availability in intertidal sediments of the Scheldt estuary. Estuar Coast Shelf Sci 77:589–602.

Esping, B., 1992. Trätorkning. 1a, Grunder i torkning, 2e ed. Trätek Graphic Systems AB, Göteborg.

Farrelly, D., 1984. The book of Bamboo. Thames and Hudson, Great Britain, London.

Fritioff Å, Kautsky L, Greger M (2005) Influence of temperature and salinity on heavy metal uptake by submersed plants. Environ Pollut 133:265–274.

Greger M. & Schück M. 2019. Rening av dagvatten i flytande våtmark – val av växter. — Report to Svenskt Vatten Utveckling. 2019-24.

Greger M, Kautsky L, Sandberg T (1995) A tentative model of Cd uptake in Potamogeton pectinatus in relation to salinity. Environ Exp Bot 35:215–225.

Göthberg A, Greger M, Holm K, Bengtsson B-E (2004) Influence of Nutrient Levels on Uptake and Effects of Mercury, Cadmium, and Lead in Water Spinach. Journal of Environment Quality 33:1247.

Headley, T.R., Tanner, C.C., 2006. Application of Floating Wetlands for Enhanced Stormwater Treatment: A Review 101.

Jasu A, Ray RR (2021) Biofilm mediated strategies to mitigate heavy metal pollution: A critical review in metal bioremediation. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 37:102183.

Küpper H, Andresen E (2016) Mechanisms of metal toxicity in plants. Metallomics 8:269–285.

Landberg T, Jensén P, Greger M (2011) Strategies of cadmium and zinc resistance in willow by regulation of net accumulation. Biol Plant 55:133–140.

Leca, 2020. Materialegenskaper | Leca Sverige [WWW Document]. URL https://www.leca.se/teknisk-info/materialegenskaper/egenskaper-en-13055-2/ (accessed 12.15.20).

Li J, Yu H, Luan Y (2015) Meta-Analysis of the Copper, Zinc, and Cadmium Absorption Capacities of Aquatic Plants in Heavy Metal-Polluted Water. International Journal of Environmental Research and Public Health 12:14958–14973.

Marchand L, Mench M, Jacob DL, Otte ML (2010) Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements: A review. Environmental Pollution 158:3447–3461.

Nsenga Kumwimba M, Batool A, Li X (2021) How to enhance the purification performance of traditional floating treatment wetlands (FTWs) at low temperatures: Strengthening strategies. Sci Total Environ 766:142608.

Nyquist J, Greger M (2007) Uptake of Zn, Cu, and Cd in metal loaded Elodea canadensis. Environ Exp Bot 60:219–226.

Schück, M. & Greger, M., 2022. Chloride removal capacity and salinity tolerance in wetland plants. – Journal of Environmental Management, 308:114553.

Schück, M. & Greger, M., 2023. Salinity and temperature influence removal levels of heavy metals and chloride from water by wetland plants. Environmental Sciences and Pollution research, doi.org/10.1007/s11356-023-26490-8

Sricoth T, Meeinkuirt W, Saengwilai P, et al (2018) Aquatic plants for phytostabilization of cadmium and zinc in hydroponic experiments. Environ Sci Pollut Res 25:14964–14976.

van Gelderen K, Kang C, Pierik R (2018) Light Signaling, Root Development, and Plasticity. Plant Physiol 176:1049–1060.

Vymazal J (2011) Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: A review. Hydrobiologia 674:133–156.

Wahab, R., Sulaiman, O., Aminuddin, M., W.Samsi, H., Khalid, I., 2009. Bamboo as an Eco-friendly Material for Use in Aquaculture Industry in Malaysia. J. Sustain. Dev. 1.

Wang, C.-Y., Sample, D.J., Bell, C., 2014. Vegetation effects on floating treatment wetland nutrient removal and harvesting strategies in urban stormwater ponds. Sci. Total Environ. 499, 384–393.

Weiss P, Westbrook A, Weiss J, et al (2014) Effect of Water Velocity on Hydroponic Phytoremediation of Metals. Int J Phytoremediation 16:203–217.

White PJ (2011) Ion Uptake Mechanisms of Individual Cells and Roots: Short-distance Transport. Elsevier Ltd.

## Publikationer genererade ur projektet

### Artiklar

Boynukisa, E., Schück, M. & Greger, M., 2023. Differences in Metal Accumulation from Stormwater by Three Plant Species Growing in Floating Treatment Wetlands in a Cold Climate. *Water air and Soil Pollution*, 234:235

Schück, M. & Greger, M., 2023. Salinity and temperature influence removal levels of heavy metals and chloride from water by wetland plants. *Environmental Sciences and Pollution research*, doi.org/10.1007/s11356-023-26490-8

Maria Schück & Maria Greger. Effect of tissue concentration on accumulation and distribution of Cd, Cu, Pb, and Zn in *Carex pseudocyperus* L. *Manuskript inskickat till International Journal of Phytoremediation*.

### Doktorsavhandlingar

Maria Schück 2022. Floating treatment wetlands for stormwater management. Plant species selection and influence of external factors for heavy metal and chloride removal in a cold climate. *Doktorsavhandling, Stockholms universitet*.

### Examensarbeten

Emre Boynukisa 2022. Metal accumulation properties of three wetland plants growing in floating treatment wetlands. *Examensarbete, Stockholms*

*Universitet*

Mikaela Boltenstern. 2021. Improvement of floating wetlands for PFAS phytoremediation. PFAS toxicity-test with *Carex rostrata* and floating wetland raft designs. *Examensarbete, Stockholms Universitet*.

### Artiklar genererade ur etapp 1 av projektet

Maria Schück. & Maria Greger 2020. Plant traits related to the heavy metal removal capacities of wetland plants. *International Journal of Phytoremediation* 22: 427-435.

Maria Schück. & Maria Greger 2020. Screening the capacity of 34 wetland plant species to remove heavy metals from water. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17: 4623.

Maria Schück. & Maria Greger 2022. Chloride removal capacity and salinity tolerance in wetland plants. *Journal of Environmental Management*, 308: 114553.

Maria Greger & Maria Schück 2019. Rening av dagvatten i flytande våtmark – val av växter. SVU Rapport 2019-24.

Maria Schück 2019. Heavy metal removal by floating treatment wetlands: Plant selection. Licentiatavhandling, Stockholms universitet.

Svenskt Vatten
UTVECKLING

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
POSTADRESS BOX 14057, 167 14 Bromma
BESÖKSADRESS Gustavslundsvägen 12, 167 51 Bromma
TELEFON 08-506 002 00
E-MAIL svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se