

Rening av dagvatten i flytande våtmark - val av växter

Maria Greger
Maria Schüick



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.

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Rening av dagvatten i flytande våtmark – val av växter
Title of the report:	Remediation of stormwater from heavy metals and chlorine with plants in floating wetlands
Författare:	Maria Greger och Maria Schück, Stockholms Universitet
Rapportnummer:	2019-24
Antal sidor:	32
Sammandrag:	Flytande våtmarker för rening av dagvatten kan bli en naturlig och kostnads-effektiv lösning på ett stort miljöproblem för samhället. Rapporten ger råd och rekommendationer dels för valet av växter till flytande våtmarker, dels för anläggning och skötsel av växterna.
Abstract:	The report describes how wetland plants differ in, and which plant properties control, an effective purification of water from cadmium, copper, zinc, lead and chlorine.
Sökord:	Dagvatten, rening, tungmetaller, klor, flytande våtmarker, växter
Keywords:	Storm water, remediation, heavy metals, chlorine, floating wetlands, plants
Målgrupper:	Kommunala VA-organisationer, de som arbetar med dagvattenhantering och med planering av samhällsbyggande
Omslagsbild:	Maria Greger, Stockholms Universitet
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2019
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	29-106
Projektets namn:	Nyckeltal reningsverk
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling

Förord

Skyfall har blivit allt vanligare i Sverige orsakade av den senaste tidens väderförändringar. Regn, som sköljer över hårdgjorda ytor, för från dessa med sig föroreningar som koppar, bly, kadmium och zink, vägsalt, en del oljor och andra organiska föroreningar samt partiklar, kväve och fosfor och blir till s.k. dagvatten. Skyfallen ökar drastiskt mängden förorenat dagvatten som måste omhändertas i dagvattenanläggningar, vanligen i slutna rörsystem, som inte klarar de stora vattenmängderna. Det är därför nödvändigt med öppna lösningar, som dammar och våtmarker, och att planera in sådana i samhällsbyggandet.

På senare tid har en del dagvattenanläggningar i form av konstruerade våtmarker anlagts som omhändertar och renar dagvatten. Principen är att sedimentera partiklar, med vilka en del bundna föroreningar följer, i en sedimentationsbassäng samt att omvandla kvävet mikrobiellt till kvävgas i dammar. Våtmarker har stora öppna ytor med ett mindre antal växter i strandkanten för att stimulera den bakteriella aktiviteten samt för att göra anläggningarna landskapsarkitektoniskt mer attraktiva. Växter i sig kan dock utföra ett reningsarbete i de öppna vattenytorna och genom upptag rena vattnet från även annat än kväve, om rätt växter används. Idén med de nyligen introducerade flytande våtmarker, som består av en flytenhet i vilket planterade våtmarksväxter växer med rötterna ner i vattnet, har här en stor roll att fylla.

Reningen av vattnet från tungmetaller är idag dålig och av klor i det närmast obefintlig med nuvarande metoder och måste förbättras. Detta går att lösa med hjälp av växter som har högt upptag av dessa ämnen. Målet med projektet, som redovisas i denna rapport och som finansierats av SBUF och till viss del av SVU, var att finna växter som är bra på att rena bort både tungmetaller och klor. Projektet kommer i nästa fas undersöka de renande växterna i flytande våtmarker, ackumuleringsförmågan samt hur vägsalt och temperatur påverkar växternas reningsförmåga. Dessutom tar vi fram en flotte, konstruerad av naturmaterial. Tanken är att vi i slutänden har en metod där de flytande våtmarkerna kan användas för effektiv rening av förorenat vatten. Våtmarkerna kan, efter en tids renande, bytas ut mot nya och de gamla tas om hand för destruktion.

Projektet som helhet är fyraårigt, påbörjades i mars 2017 och beräknas slutföras våren 2021. Projektets första del har inriktats på kartläggning av lämpliga växtarter ur den svenska floran. Det har drivits av Stockholms Universitet i samarbete med NCC, som ett doktorandprojekt, vilket i september 2019 utmynnade i en licentiatavhandling och en vetenskaplig publikation, ett manuskript samt en litteratursammanställning (State of the art-rapport). Doktorand är agronom Maria Schück, huvudhandledare docent Maria Greger, Stockholms universitet och biträdande handledare professor Staffan Hintze, KTH och NCC. Resultaten har succesivt diskuterats med en referensgrupp.

Jag vill rikta ett stort tack till Staffan Hintze, NCC. Tack också till vår referensgrupp bestående av Kyösti Tuutti, Skanska och SBUF, Godecke Blecken, LTU, Thomas Gerenstein, Trafikverket, Lotta Berntzon, Sweco, Lena Kautsky, SU, Lena Furuhovde, Bjerking, Eva Vall, Stockholm Vatten och Avlopp, Pontus Cronholm, Naturvårdsverket, Nils Rydén, Peab och LTH, och Jeanette Sveder Lundin, Skanska, som gett oss värdefulla inspel under projektets gång.

Stockholm 6 september 2019

Maria Greger

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
1 Inledning	9
2 Bakgrund	10
3 Syfte	12
4 Metod	13
5 Resultat och diskussion	15
5.1 Rening av tungmetaller.....	15
5.2 Rening av klorid	16
5.3 Egenskaper kopplade till reningseffektivitet	17
5.4 Summering av resultat och diskussion.....	19
6 Råd och rekommendationer för valet av växter till flytande våtmarker	20
6.1 Arter med hög reningsförmåga.....	20
6.2 Arter med låg reningsförmåga	22
6.3 Anläggning och skötsel av växterna	22
7 Slutsatser och fortsatt arbete	24
8 Referenser	25
9 Artiklar genererade ur projektet	27

Sammanfattning

Flytande våtmarker för rening av dagvatten kan bli en naturlig och kostnadseffektiv lösning på ett stort miljöproblem för samhället. Rapporten ger råd och rekommendationer dels för valet av växter till flytande våtmarker, dels för anläggning och skötsel av växterna.

Klimatförändringar och tilltagande urbanisering förväntas leda till större volymer av dagvatten och ökade föroreningshalter av bland annat tungmetaller och klorid från trafik, byggmaterial, industrier och vägsalt. Flytande våtmarker har hittills använts mest för att minska kväve- och fosforhalter i vatten i varmare länder, men de skulle kunna användas i Sverige för att minska koncentrationen av tungmetaller och klorid i dagvatten.

Flytande våtmarker består av bevuxna flytblock i dagvattendammar. Växterna som placeras i flytblocken är nödvändiga för att reningen ska bli effektiv. Genom rötterna tar de upp en del av föroreningarna som sedan ackumuleras i växterna. Föroreningar fäster också på ytan av rötter och döda växtdelar, samt fällt ut och sedimenterar genom kemiska förändringar i vattnet runt rötterna. Växternas rötter hänger ner i vattnet och minskar vattnets hastighet, vilket ökar sedimentationen av föroreningar som är bundna till partiklar. Växtdelarna eller hela flytblocket med växter och sediment kan efter reningen transporteras bort och tas omhand på ett säkert sätt.

Forskare vid Stockholms universitet har undersökt vilka växtarter som kan användas för effektiv rening av tungmetaller och klorid. De har också identifierat vilka egenskaper hos växterna som är kopplade till hög reningsförmåga. Studien baseras på 34 arter av svenska våtmarksväxter som odlades i flytblock och exponerades under fem dagar för en lösning som innehöll samma föroreningshalter som dagvatten från en högttrafikerad väg (1,2 µg kadmium, 68,5 µg koppar, 78,4 µg bly, 559 µg zink och 55,4 mg klorid per liter).

Slokstarr (*Carex pseudocyperus*) och jättestarr (*Carex riparia*) visade sig snabbast minska koncentrationen av samtliga tungmetaller i lösningen. Ytterligare nio arter minskade snabbt koncentrationen av koppar, bly och zink, men inte av kadmium. När det gäller förmågan att rena klorid var rörflen (*Phalaris arundinacea*) och jättegröe (*Glyceria maxima*) de mest effektiva arterna. Växternas reningsförmåga hängde samman med mängden biomassa, framför allt mängden blad och tunna rötter, samt med växtens transpiration som i sin tur beror på mängden blad. Sambandet med mängden biomassa verkar vara svagare för saltupptag än för upptag av tungmetaller.

Slutsatsen av studien är att växters förmåga att rena vatten från tungmetaller och klorid är god, men att det finns stora skillnader mellan olika växter. Om lämpliga växter väljs kan dagvatten renas från både tungmetaller och klorid med flytande våtmarker med inhemska växter i kallt klimat. Studien ingår som en del i ett större projekt vid Stockholms universitet där syftet är att ta fram en fungerande flytande våtmark under svenska förhållanden.

Summary

Elevated levels of heavy metals and chloride are common in stormwater. This is caused by pollution from traffic, building materials and industrial activities and from the use of road salt during winters. Floating wetlands consisting of plants growing in floating blocks placed in stormwater ponds could potentially reduce the concentration of heavy metals and chloride in the water. So far, however, this type of wetland has mostly been used to reduce the levels of nitrogen and phosphorus in water in countries with warm climates.

The plants in the floating blocks are necessary for the remediation to be effective. The plants absorb some of the pollution through the roots and accumulate in the plant. The pollutants also attach to the surface of roots and dead plant parts and precipitate and settle through chemical changes in the water around the roots. The roots of the plants, which hang in the water, reduce the water velocity, which gives increased sedimentation of pollutants that are bound to particles. When suitable, the plant parts, or the whole floating block including plants, and sediment can be transported from the site and taken care of safely.

The purpose of this study was to investigate which plant species can be used in floating wetlands for efficient remediation of heavy metals and chloride, as well as identify the properties of the plants that are associated with high purification capacity of the plants, in order to more easily identify more suitable species.

The study is based on 34 species of Swedish wetland plants. They were grown in floating blocks hydroponically, and exposed for five days to a solution containing $1.2 \mu\text{g Cd L}^{-1}$, $68.5 \mu\text{g Cu L}^{-1}$, $78.4 \mu\text{g Pb L}^{-1}$, $559 \mu\text{g Zn L}^{-1}$, and $55.4 \text{ mg Cl L}^{-1}$, a quantity of pollutants based on levels in storm water from high traffic.

Cyperus sedge (*Carex pseudocyperus*) and greater pond sedge (*Carex riparia*) were found to rapidly reduce the concentration of all heavy metals in the solution. A further nine species rapidly reduced the concentration of copper, lead and zinc, but not cadmium. The purification ability of the plants was found to be correlated with the amount of biomass, especially the amount of leaves and thin roots, as well as with the transpiration of the plant which in turn depends on the amount of leaves. The ability to purify chloride has been analyzed in the species, and the reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) and reed sweet-grass (*Glyceria maxima*) proved to be the most effective species. Preliminary analyzes show that the correlation between salt absorption and biomass is weaker than for heavy metals.

The conclusion of this study is that the ability of plants to purify water from heavy metals and chloride shows great differences, which can be explained by differences in plant properties. This indicates that purifica-

tion of stormwater from both heavy metals and chloride in cold climates can be achieved with liquid spring fields with native plants.

The study is part of a larger project where the purpose is to develop a functional floating wetland for water cleaning. It has been implemented as a doctoral student project at the Department of Ecology, Environment and Botany, Stockholm University, where Maria Schück was the PhD student who worked practically with the project and Maria Greger served as project manager and supervisor and Staffan Hintze as co-supervisor.

Floating wetlands for the purification of stormwater are a natural and cost-effective solution to a major environmental problem for the society. Climate change and increasing urbanization are expected to lead to both larger volumes of stormwater that need to be handled and to increased levels of pollution in the water. Therefore, open systems are needed, where floating wetlands are a perfect solution for water cleaning and a great help for the municipal water organizations. The results of the project are of great benefit to those who work with stormwater management at different levels and companies that work with planning of community building.

1 Inledning

Behovet av hållbar och effektiv dagvattenhantering ökar. Klimatförändringar och urbanisering leder till ökade mängd skyfall, föroreningar och hårdgjorda ytor, samtidigt som samhällets miljökrav skärps. Flytande våtmarker nyttjar växternas förmåga att rena vatten från föroreningar vilket kan användas för att förbättra dagvattenreningen i befintliga och nya dagvattenanläggningar. Våtmarkerna har därmed potential att kunna vara en del av framtida effektiv och hållbar dagvattenhantering i Sverige.

Denna undersökning är en del av ett större projekt där målet är att ta fram en fungerande flytande våtmark för rening av dagvatten från tungmetaller och klor i dammar och kanaler m.m. Eftersom den viktigaste delen i en flytande våtmark för rening ligger i växternas funktion så var det väsentligt att undersöka olika växters förmåga att minska tungmetall- och kloridhalten i vatten. Dessutom var det viktigt att ta reda på vilka växtparametrar som är kopplade till effektiv rening för att kunna använda dessa vid identifiering av ytterligare välfungerande, renande växtarter. I projektets början sammanställdes befintlig kunskap i en litteraturstudie (Schück), som vi hade som utgångspunkt när vi startade undersökningen. Föreliggande rapport redovisar det vi har kommit fram till.

2 Bakgrund

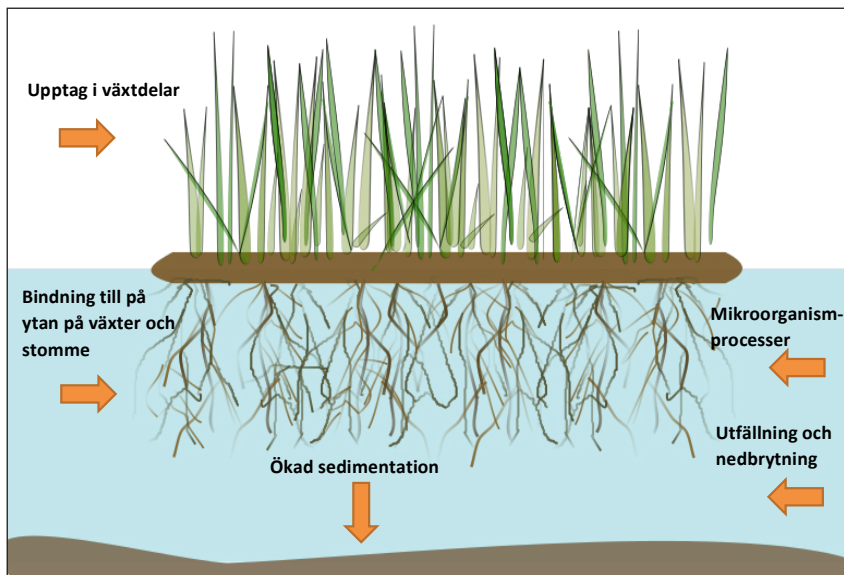
Förhöjda halter av tungmetaller och klorid är vanligt förekommande i dagvatten. Detta är orsakat av föroreningar från trafik, byggnadsmaterial och industriell verksamhet samt från användandet av vägsalt under vintrar.

Dagens hantering av dagvatten inriktas främst på uppsamling och fördröjning av vattenmassorna för att undvika översvämningar, men intresset och behovet för att dessutom rena dagvattnet ökar. Klimatförändringarna och den tilltagande urbaniseringen förväntas leda till både större volymer dagvatten som behöver hanteras och till ökade föroreningshalter i vattnet. Dagvattendammar har visat sig vara dåliga på att rena tungmetaller i löst form som är giftigare för växt- och djurliv än tungmetaller i partikelform. Klorid från vägsalt renas inte alls i nuvarande dagvattensystem, och kan skada betongkonstruktioner och grundvatten samt är giftigt för växter och djur i högre koncentrationer. Genom att komplettera dagvattendammar med flytande våtmarker skulle reningen av dessa föroreningar troligen kunna förbättras.

Flytande våtmarker som består av bevuxna flytblock, som placeras i dagvattendammar, skulle potentiellt kunna minska koncentrationen av tungmetaller och klorid i vattnet. Hittills har dock denna typ av våtmark mestadels använts för att minska halterna av kväve och fosfor i vatten i länder med varmt klimat. Flytande våtmarker är en kostnadseffektiv metod för att optimera dagvattendammars rening av en mängd olika föroreningar, däribland kväve, fosfor, tungmetaller, partiklar, alger och organiska föroreningar. Eftersom de flytande våtmarkerna förankras med en flexibel ankring klarar de att följa med de varierande vattennivåer som ofta uppstår i dagvattendammar.

Växterna som placerats i flytblocken är nödvändiga för att reningen ska bli effektiv (figur 2.1). Växterna tar upp en del av föroreningarna genom rötterna och ackumulerar i växten. Föroreningarna fäster också på ytan på rötter och döda växtdelar samt faller ut och sedimenterar genom kemiska förändringar i vattnet runt rötterna. Växternas rötter, som hänger ned i vattnet, minskar vattenhastigheten, vilket ger ökad sedimentation av föroreningar som är bundna till partiklar. Därefter kan växtdelarna och sedimentet transporteras från platsen och tas om hand på ett säkert sätt.

Några försök i fält och mellanstora försökskär (mesokosm) har genomförts med sikte på att rena vatten från tungmetaller med flytande våtmarker. Försöken har visat medelgod rening av tungmetaller, främst genom ökad sedimentering och upptag i växtdelar (Van de Moortel et al. 2010; Tanner & Headley 2011; Borne et al. 2013; Ladislav et al. 2015; Tara et al. 2019) one of which contained a floating treatment wetland (FTW. Samtliga försök har dock genomförts i varmare klimat än vad som finns i Sverige, som Nya Zeeland, Frankrike, USA, Kina och Pakistan. Fokus i dessa försök har inte legat på jämförelse av olika arters förmåga att rena tungmetaller, och av de arter som använts i försöken är det många av växterna som



Figur 2.1 Flytande våtmarkers princip och reningsmekanismer.

inte trivs i Sverige. Vidare har inga undersökningar, vad vi funnit, gjorts på rening av salt med flytande våtmarker. Orsaken är troligtvis avsaknad av vägsaltproblematiken i de länder där undersökningar utförts.

Växters förmåga att ackumulera föroreningar skiljer sig åt mellan arter, och mellan föroreningar. Därför behöver arternas förmåga testas för att avgöra vilka som är lämpliga att använda i flytande våtmarker. I denna studie har vi jämfört tungmetall- och kloridreningsförmåga hos 34 svenska arter för att identifiera arter som skulle kunna ge effektiv vattenrening i flytande våtmarker under svenska förhållanden.

3 Syfte

Målet med projektet som helhet är att ta fram teoretiska och praktiska förutsättningar för flytande våtmarker för rening av dagvatten från tungmetaller och klorid från vägsalt.

Syftet med denna studie var att undersöka vilka svenska växtarter som ger bästa möjliga rening av bly, kadmium, koppar, klorid och zink från dagvatten, för att kunna utforma rekommendationer om vilka växter som bör användas på flytande våtmarker. Dessutom syftade studien till att identifiera vilka egenskaper hos växterna som är kopplade till hög reningsförmåga hos växterna, för att på så sätt lättare kunna identifiera fler lämpliga arter. Studien ligger också till grund för fortsatta försök med flytande våtmarker inom projektet.

4 Metod

Projektet inriktades på valet av växter i flytande våtmarker för att uppnå effektiv rening av tungmetaller och klorid. Trettiofyra svenska växtarter samlades in (Figur 4.1, Tabell 4.1). De valdes utifrån att de är naturligt förekommande i Sverige, vanliga eller ganska vanliga, perenna och lättodlade. Samtliga växter som valdes är våtmarksväxter, eftersom rötterna klarar en syrefattig miljö som är vanlig under flytande våtmarker (Borne et al. 2014; Pavlineri et al. 2017). Deras förmåga att rena vatten med normalt förekommande koncentrationer av tungmetallerna bly (Pb), kadmium (Cd), koppar (Cu), zink (Zn) och klorid (Cl) i dagvatten har undersökts i

Tabell 4.1 Arter som inkluderats i försöken.

Latinskt namn	Svenskt namn
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	Havssäv
<i>Butomus umbellatus</i>	Blomvass
<i>Carex acuta</i>	Vasstarr
<i>Carex canescens</i>	Gråstarr
<i>Carex elata</i>	Bunkestrarr
<i>Carex flava</i>	Knagglestarr
<i>Carex panicea</i>	Hirsstarr
<i>Carex paniculata</i>	Vippstarr
<i>Carex pseudocyperus</i>	Slokstarr
<i>Carex riparia</i>	Jättestarr
<i>Carex rostrata</i>	Flaskstarr
<i>Carex vesicaria</i>	Blåsstarr
<i>Comarum palustre</i>	Kråkklöver
<i>Dryopteris carthusiana</i>	Skogsbräken
<i>Eleocharis mamillata</i>	Veksäv
<i>Eriophorum angustifolium</i>	Ängsull
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Hampflockel
<i>Glyceria maxima</i>	Jättegröe
<i>Iris pseudacorus</i>	Svärdslilja
<i>Juncus effusus</i>	Veketåg
<i>Leymus arenarius</i>	Strandråg
<i>Lycopus europaeus</i>	Strandklo
<i>Lysimachia thyrsoiflora</i>	Topplösa
<i>Lysimachia vulgaris</i>	Videört
<i>Lythrum salicaria</i>	Fackelblomster
<i>Molinia caerulea</i>	Blåtåtel
<i>Phalaris arundinacea</i>	Rörflen
<i>Phragmites australis</i>	Vass
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>	Blåsäv
<i>Scirpus sylvaticus</i>	Skogssäv
<i>Stachys palustris</i>	Knölsyska
<i>Tripolium pannonicum</i>	Strandaster
<i>Typha latifolia</i>	Bredkaveldun
<i>Veronica beccabunga</i>	Bäckveronika



Figur 4.1
Insamling av havssäv till försök.

denna studie. De fyra tungmetallerna som de exponerades för är de vanligast förekommande i dagvatten i förhöjda halter och mängder.

Försöken har utförts i växthus för att uppnå en stabil miljö där arternas vattenreningsförmåga kan jämföras. 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 $1,2 \mu\text{g Cd L}^{-1}$, $68,5 \mu\text{g Cu L}^{-1}$, $78,4 \mu\text{g Pb L}^{-1}$, $559 \mu\text{g Zn L}^{-1}$, and $55,4 \text{ mg Cl L}^{-1}$, en föroreningsmängd baserat på halterna i dagvatten från högt trafikerad väg (Billberger 2011). Lösningen testades parallellt utan växter som jämförelse (kontrollerad). Vattenprover insamlades vid 0, 0,5, 5, 24 samt 119 timmar och analyserades på tungmetaller med atomabsorptions-spektrofotometri (AAS) och på klor med jonkromatografi (HPLC).

För att undersöka vilka växtfaktorer som är viktiga för vattenrening mättes transpirationen samt biomassan av växtens olika delar (finrötter, grovrötter, rhizom, skott, blad) både som färskvikt och som torrsvikt efter torkning i 105°C .

Resultaten har behandlats statistiskt i programmet R version 3.5.1. För jämförelse av metall- och klorminskning i vattnet med och utan växt användes ANOVA följt av *post hoc* analys med Dunnett's test. Likadant gjordes vid jämförelse mellan växter med låg respektive hög minskning av ämnena i vatten. Korrelationstester utfördes med Spearman rank test och multipel linjär regressionsanalys användes för att utveckla modeller för minskning av metaller. $p < 0,05$ användes som signifikansgräns.

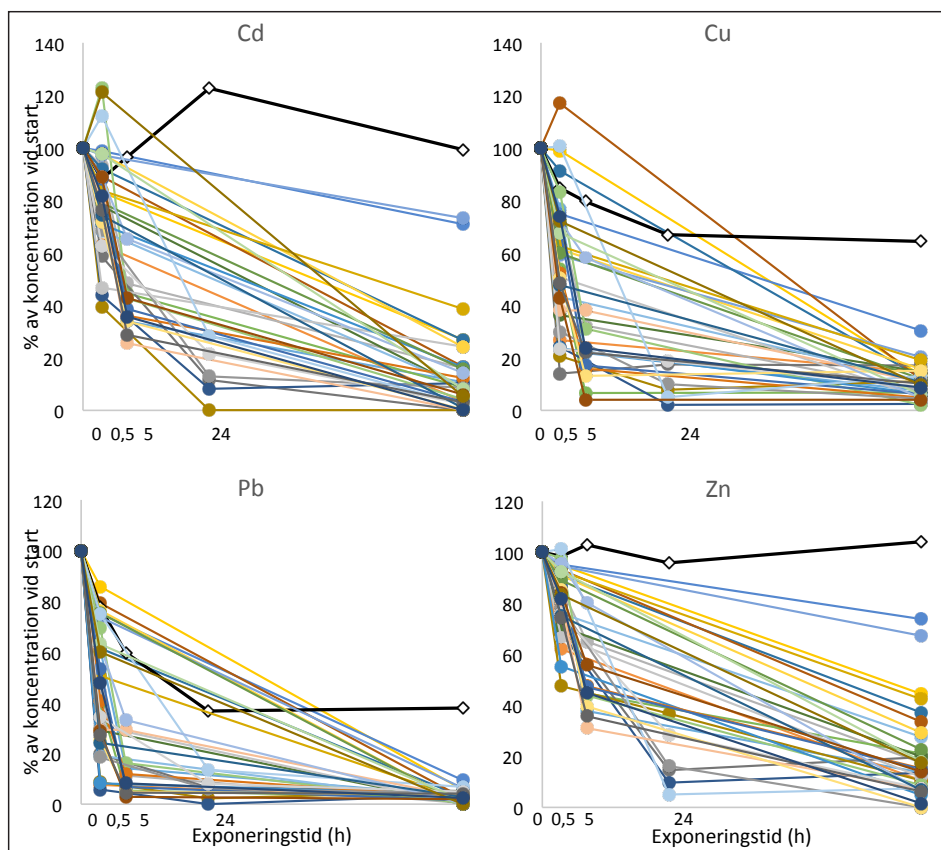
Försöken gjordes i tre upprepningar.

5 Resultat och diskussion

5.1 Rening av tungmetaller

Resultaten visar att växter skiljer sig åt vad gäller rening av vatten från alla de testade tungmetallerna (Figur 5.1). Redan efter 30 minuter fann vi en minskning av kadmium med upp till 60 %, av bly upp till 95 %, av koppar upp till 82 %, av zink med 50 % och klorid med 10 %. Majoriteten av växterna i försöket renar vattnet bättre jämfört med kontrollet utan växter vid samtliga tidpunkter, men med stora skillnader mellan arterna. I de flesta fallen var det slokstarr (*Carex pseudocyperus*) och jättestarr (*C. riparia*) som gav den bästa och snabbaste reningen av tungmetaller. De arter som inte renade vattnet från tungmetaller efter 30 minuter hade dock i de allra flesta fall avsevärt renat vattnet vid senare mättillfällen.

Att bly och koppar renas bort snabbare än zink och kadmium beror på att båda dessa tungmetaller har en kort kvarhållningstid (retentionstid) i vatten jämfört med zink och kadmium. Bly och koppar sedimenterar alltså till botten och binder till ytor snabbare än kadmium och zink, vilket syns när man jämför kontrollerna (dvs. utan växt) mellan de olika tungmetallerna i figur 5.1. Detta betyder att sedimentation och adsorption är faktorer att räkna med för koppar och bly. Växterna främjar sedimentatio-

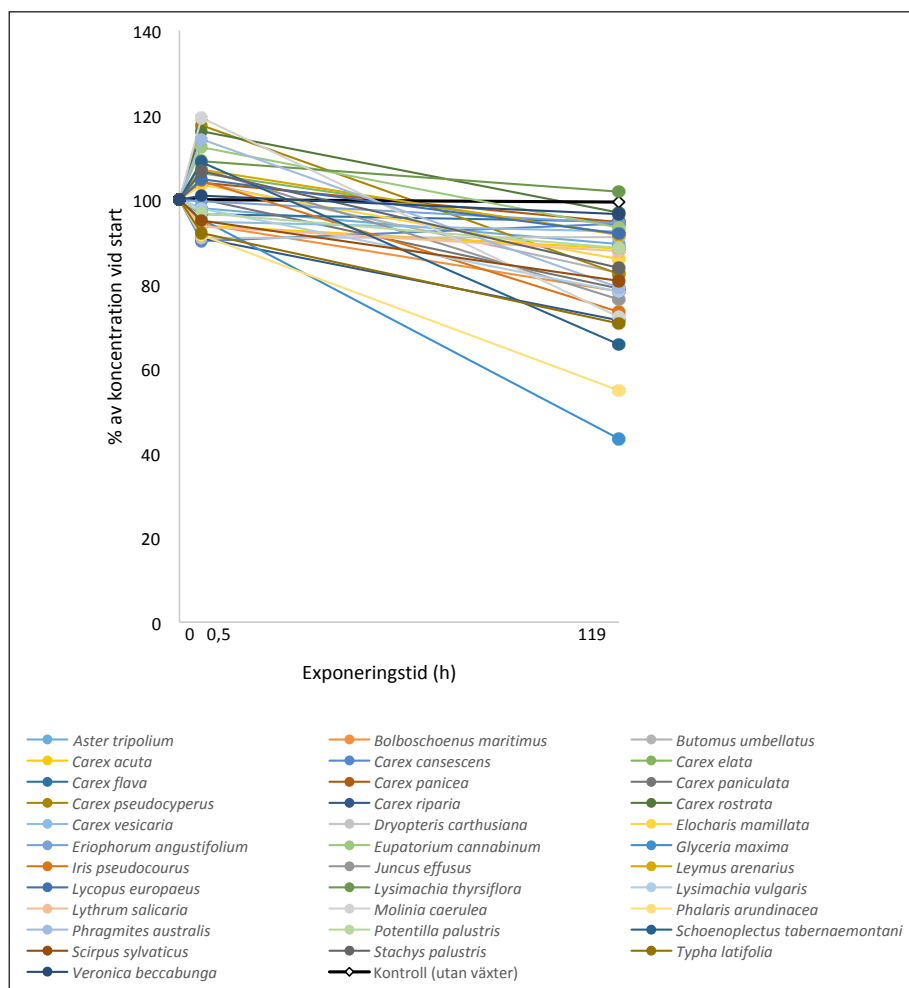


Figur 5.1 Metallminskning i vatten med tiden hos olika våtmarksväxter. Se figur 5.2 för lista över arter. Svart linje med genombrutna rombsymboler är konroller utan växter.

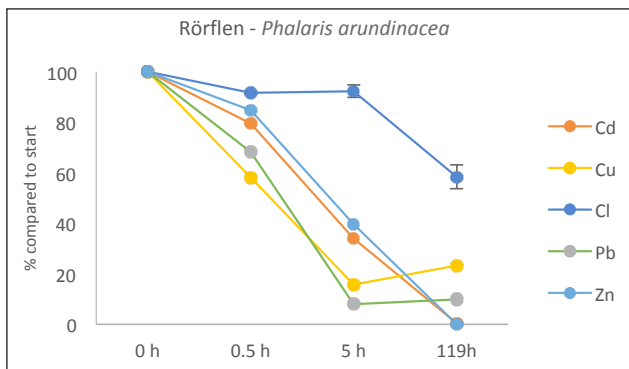
nen av koppar och bly ytterligare genom närvaro av sina rötter (Tanner & Headley 2011; Headley & Tanner 2012) vilket troligen är anledningen till att växterna är effektiva på att rena dessa ämnen.

5.2 Rening av klorid

För klorid är reningen inte procentuellt sett lika god som för metallerna (Figur 5.2 och 5.3). Detta beror troligtvis på att klorhalten är 1 000 ggr högre än metallhalten och att ju högre koncentration desto lägre blir upptagseffektiviteten för ämnen i växten (Greger 2004). Mätt i bortförd mängd är reningen god, framförallt i jämförelse med andra dagvattenreningssystem som inte renar klorid (Semadeni-Davies 2006; Denich et al. 2013; Barbier et al. 2018; Todorov et al. 2018) and winters have lowered removal efficiency due to a combination of an ice cover, cold water and de-icing salts. This study examines the function of the Bäckaslov stormwater pond under the more mild conditions of southern Sweden, where there are several snow and melt cycles per year. Event sampling in the summer of 1997 showed good removal efficiencies for nutrients, total suspended solids (TSS). De arter som gav högst rening av klorid var rörflen (*Phalaris arundinacea*) och jättegröe (*Glyceria maxima*). I figur 5.3 jämförs förmågan hos rörflen att rena metaller respektive klorid.



Figur 5.2 Klorminskning i vatten med tiden hos olika våtmarksväxter.

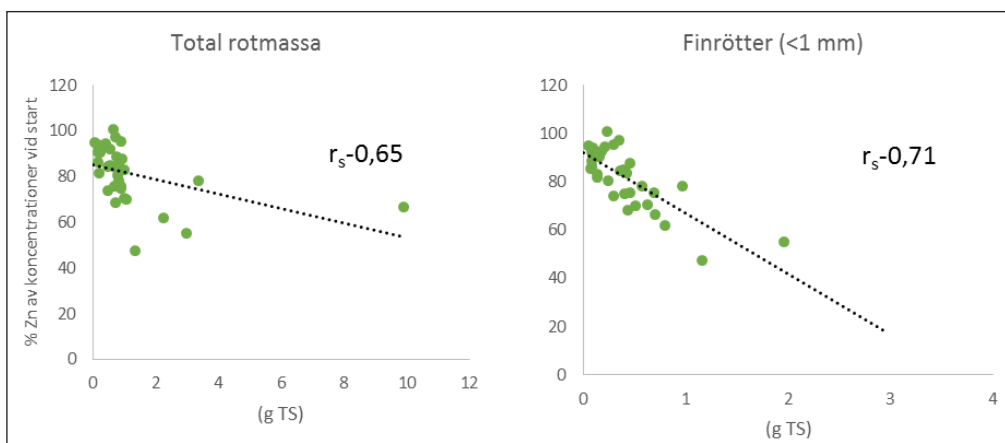


Figur 5.3 Jämförelse mellan bortförelse av klor och metaller från vatten med rörflen, *Phalaris arundinacea*.

5.3 Egenskaper kopplade till reningseffektivitet

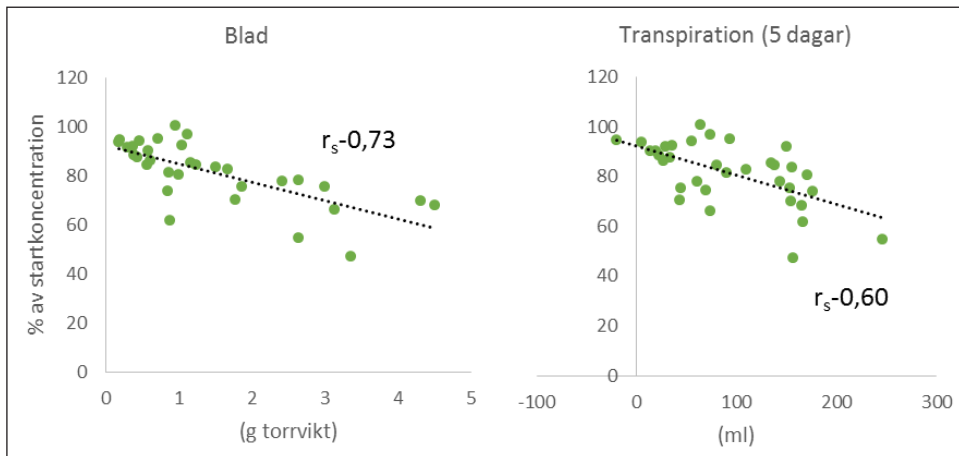
Vilka egenskaper hos växterna som gör att de har mer effektiv metallrening än andra analyserades med bl.a. regressionsanalys. Samma trender erhöles oberoende av tungmetall och tid som proverna togs. Kopplingen mellan rening av klorid och egenskaper skiljde sig däremot åt från reningen av tungmetaller.

Resultaten visar att rotbiomassan är en tydlig faktor. Ju mer total rotbiomassa per volym desto bättre rening av metaller (exempel i Figur 5.4). Av detta är det troligen andelen finrötter som är orsaken eftersom det är finrötterna som tar upp ämnen som tungmetaller hos en växt (Figur 5.4). Ytterligare en möjlig förklaring är att ju mer rotbiomassa desto större yta för adsorption och absorption. Stor rotbiomassa ger även större genomsläpplighet och volym för ackumulering. Dessutom påverkar rotexudat och syre från finrötterna metallernas löslighet och tillgänglighet för växtens upptag från omgivande vatten.



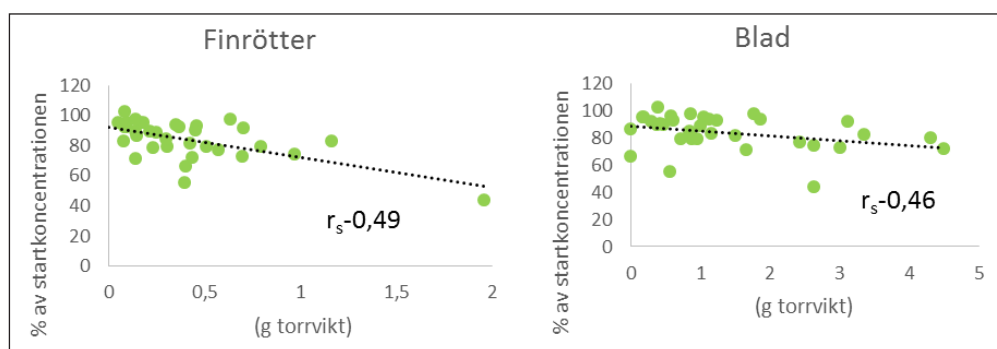
Figur 5.4 Korrelation mellan totala rotvikt respektive finrotsvikt och metallhaltsminskningen i vattnet för samtliga i undersökningen ingående arter. Grafen är ett exempel och visar zinkupptaget efter 30 minuters rening. Linjen är endast för visualisering av korrelationen.

Vi fann även att bladbiomassan korrelerade med minskningen av metaller i vattnet (Figur 5.5). Även transpirationen korrelerade med minskningen och beror antagligen på att transpirationen ökar med bladbiomassan.

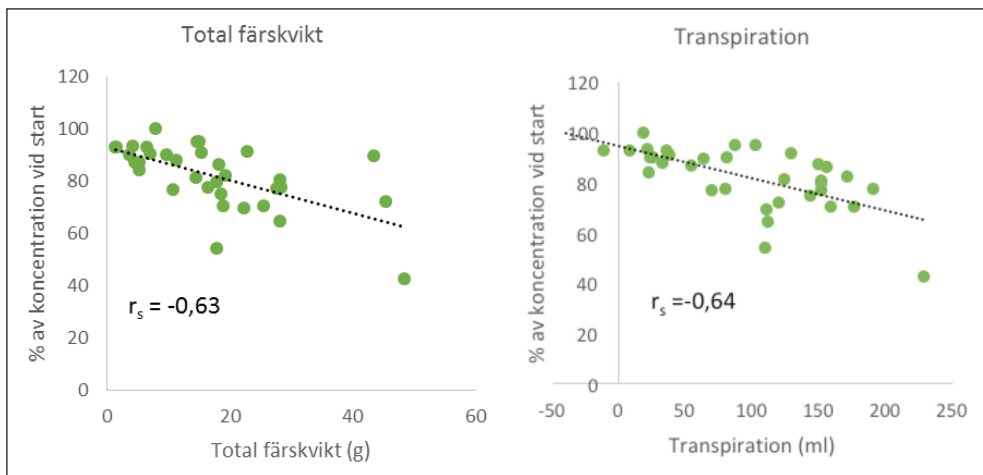


Figur 5.5 Korrelation mellan bladvikt respektive transpiration efter 5 dagar och metallhaltsminskning i vattnet. Grafen baserar sig på alla i undersökningen ingående arter, deras vikter och transpiration. Grafen är ett exempel och visar zink efter 30 minuters rening. Linjen är endast för visualisering av korrelationen.

Korrelationen mellan minskningen av klorid och finrot- respektive bladbiomass är däremot inte lika tydlig som för korrelationen med metaller (Figur 5.6). Korrelationen mellan finrotsbiomassa och metaller ligger mellan -0,67 och -0,71, för blad och klorid är korrelationen -0,49 (Schück & Greger 2019). Detsamma gäller för blad, där korrelationen ligger mellan 0,62 och 0,74 för metaller och 0,46 för klorid. Dock korrelerar hela växtens biomassa och transpiration med klorminskningen i vattnet (Figur 5.7). En orsak kan vara att klor till skillnad från metaller inte binds upp i växten utan finns fritt i cellernas vätska. Klor följer lätt med vattnet från rötter upp till bladen (Guesdon et al. 2016), vilket drivs av transpirationen.



Figur 5.6 Korrelation mellan växtens finrotsbiomassa respektive blad och kloridhaltsminskning i vattnet. Grafen baserar sig på alla i undersökningen ingående arter. Grafen är ett exempel och visar klor efter 119 timmars rening. Linjen är endast för visualisering av korrelationen.



Figur 5.7 Korrelation mellan växtens totala färskvikt, transpiration och kloridhaltsminskning i vattnet. Grafen baserar sig på alla i undersökningen ingående arter. Grafen är ett exempel och visar klor efter 119 timmars rening. Linjen är endast för visualisering av korrelationen.

5.4 Summering av resultat och diskussion

Sammantaget visar växters förmåga att rena vatten från tungmetaller och klorid stora skillnader, vilket kan förklaras med skillnader i växternas egenskaper. Ett antal effektiva arter har identifierats i försöken. Detta indikerar att rening av dagvatten från både tungmetaller och klorid i kallt klimat kan uppnås med flytande vårmarker med inhemska växter om rätt växter används. Preliminära analyser visar att korrelationen mellan saltupptag och biomassa är svagare än för tungmetaller.

6 Råd och rekommendationer för valet av växter till flytande våtmarker

6.1 Arter med hög reningsförmåga

Studien identifierar ett antal arter som ger högt och snabbt upptag av tungmetaller och klorid, och som därmed kan vara lämpliga för användning i flytande våtmarker under svenska förhållanden. Många av dessa arter kännetecknas av stor biomassa, inklusive stora rotsystem och bladmassa. Arternas effektivitet bör utvärderas i långtidsstudier, vilket planeras att genomföras senare i projektet.

Samtliga tungmetaller och klorid

Jättestarr, *Carex riparia* (Figur 6.1a). I våra försök gav den snabb rening av samtliga tungmetaller efter bara 30 minuter, och bibehöll en låg nivå i vattnet till försökets slut. Kloridreningen var långsammare liksom för alla andra undersökta arter, men vid försökets slut hade den minskat kloridhalten med 28 %. Jättestarr är en högvuxen starr som växer i näringsrika våtmarker och sprider sig med utlöpare. Den förekommer naturligt på stora delar av norra halvklotet, inklusive i södra och mellersta Sverige. Arten har testats i en flytande våtmark i fältförsök i norra Frankrike, där den gav hög ackumulering per yta av nickel och zink genom sin stora biomassa och höga tillväxt (Ladislav et al. 2015).



Figur 6.1 Jättestarr, slokstarr och rörflen.

Samtliga tungmetaller

Slokstarr, *Carex pseudocyperus* (Figur 6.1b). I våra försök gav den snabb rening av samtliga tungmetaller efter bara 30 minuter, och bibehöll en låg nivå i vattnet till försökets slut. Slokstarr lyckades inte minska kloridhal-

ten, så därför bör arten inte användas där kloridrening eftersträvas såvida den inte kombineras med kloridrenande arter. Slokstarr är en tuvbildande starr som växer på våt och näringsrik mark. Den förekommer naturligt i framförallt Europa, inklusive i södra och mellersta Sverige. Arten har aldrig tidigare testas för rening av mark eller vatten.

Klorid

Rörflen, *Phalaris arundinacea* (Figur 6.1c). I våra försök står den ut som en kloridspecialist, men hög rening av klorid både per planta (44 % minskning) och per biomassa, vilket tyder på en artspecifik förmåga att tåla höga kloridkoncentrationer i växtens celler. Förmågan att rena tungmetaller är dock sämre. Efter 30 minuters exponering har endast Pb-halten i vattnet minskat, men vid försökets slut har arten liksom de flesta andra undersökta arter fört bort det allra mesta av tungmetallerna ur vattnet. Vi rekommenderar därför att denna art kombineras med andra arter med bättre metallrening för att ge en mer komplett rening. Rörflen är ett gräs som kan bli upp till två meter högt. Det är tåligt, men föredrar fuktig, näringsrik mark. Arten förekommer spridd över hela norra halvklotet inklusive hela Sverige förutom fjällen, och odlas också kommersiellt för foder och bioenergi. En fältstudie på flytande våtmarker med bland annat rörflen, som gjordes i England, visar att rörflen kan bidra till god rening av kväveföreningar från vatten (Castro-Castellon et al. 2016).

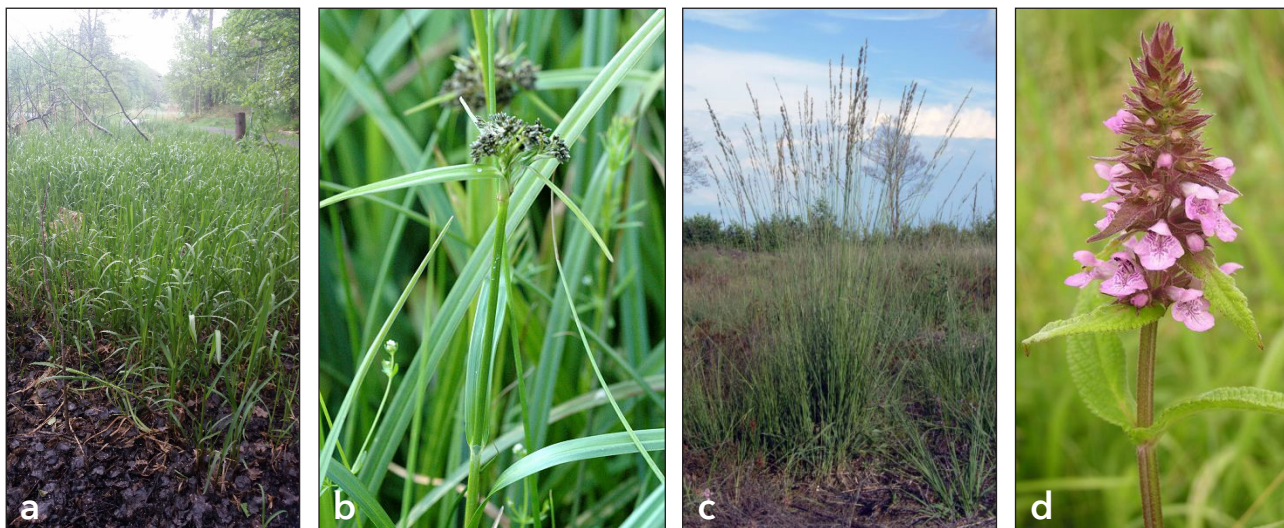
Klorid och samtliga tungmetaller förutom Cd

Jättegröe, *Glyceria maxima* (Figur 6.2a). Arten har i våra försök snabb rening av samtliga tungmetaller förutom kadmium, och högst rening av klorid av samtliga undersökta arter (56 %). Arten förekommer naturligt i Europa inklusive södra och mellersta Sverige, men kan ha invasiva drag där den sprids och kan då tränga undan andra arter. Vi råder därför till försiktighet vid användning av jättegröe i miljöer där den inte förekommit tidigare.

Blåtåtel, *Molinia caerulea* (Figur 6.2b). Arten har i våra försök snabb rening av samtliga tungmetaller förutom kadmium, samt måttlig rening av klorid (26 % minskning). Trivs på mager fuktig mark och återfinns i hela Sverige utom de norra fjälltrakterna.

Skogssäv, *Scirpus sylvaticus* (Figur 6.2c). Arten har i våra försök snabb rening av samtliga tungmetaller förutom kadmium, samt viss rening av klorid (17 % minskning). Skogssäv är en storvuxen säv med frodigt utseende som förekommer naturligt i hela Sverige förutom Norrlands inland.

Knölsyska, *Stachys palustris* (Figur 6.2d). Arten har i våra försök snabb rening av samtliga tungmetaller förutom kadmium, samt viss rening av klorid (15 % minskning). Knölsyska är den enda av försökets framstående arter som inte är ett gräs eller halvgräs, utan är en tvåhjärtbladig växt med rosa blommor. Förekommer naturligt i hela Sverige förutom i Norrlands inland.



Figur 6.2 Jättegroe, blåtåtel, skogssäv och knölsyska.

6.2 Arter med låg reningsförmåga

Studien har också identifierat flera arter med låg reningsförmåga. Flertalet av dem är småvuxna, och blir inte mer än ca 30 cm i höjd. Även om dessa arter förmår att rena bort mycket föroreningar i förhållande till sin vikt, blir den totala reningen låg per planta och per yta på flytande våtmarker. Till denna kategori av småvuxna arter hör bland annat ängsull, veksäv, gråstarr, kråklöver och strandklo.

Flera storgvuxna arter visade sig överraskande nog ha låg förmåga att rena tungmetaller i våra försök. Detta beror troligen på att de har låg andel finrötter, istället har de grova rötter eller jordstammar, vilket innebär mindre kontakt med och påverkan på det omgivande vattnet. Många av dessa är vanligt förekommande i anlagda våtmarker och liknande anläggningar för vattenrening. Till denna kategori hör vass, kaveldun, svärdsilja och hampflockel. Vi avråder därför från användning av dessa arter på flytande våtmarker.

6.3 Anläggning och skötsel av växterna

Utifrån den litteraturstudie som gjorts inom projektet kan flera slutsatser dras kring hur växterna på den flytande våtmarker bör anläggas och skötas.

De flytande våtmarkernas reningsförmåga beror till stor del på hur mycket av vattnet som passerar genom växternas rötter som hänger ned i vattnet. Stora flytande våtmarker, som täcker större delen av den damm där de placerats, ger bättre rening än små våtmarker (Borne et al. 2013; Winston et al. 2013). Hanteringen av stora flytande våtmarker kan dock vara krävande, samt ökar kostnaderna för stomme och växter. Alternativt kan vattenflödet styras med skärmväggar (Nichols et al. 2016; Castro-Castellon et al. 2016) för att se till att säkerställa att vattnet filtreras genom den flytande våtmarken. Oavsett är det viktigt att se till att växterna utvecklar en stor rotbiomassa.

För att säkerställa en god etablering av växterna bör medelstora plantor användas. De behöver förankras i stammen vid anläggningen. Stammen bör vara porös eller ha tillräckligt med substrat för att växterna ska kunna förankra sig ytterligare med rötterna (Strošnider et al. 2017). Om stammen ligger för högt i vattnet är det risk att växternas rötter inte når ned till vattnet och växterna därmed dör av uttorkning. För att minska risken för uttorkning bör inte de flytande våtmarkerna etableras under sommaren utan under våren eller hösten.

De flytande våtmarkerna bör inspekteras löpande för att kontrollera stammen, ankringen och växtligheten i enlighet med en tidigare SVU-rapport (Blecken 2016). Det är viktigt att växtligheten täcker stammen för att minska nedbrytningen av materialet på grund av slitage och solljus.

Beroende på vilka föroreningar den flytande våtmarken syftar till att rena kan växterna behöva skördas en eller ett par gånger per år. Det gäller de ämnen som förs bort från vattnet genom ackumulering i växtdelar, däribland tungmetaller och klorid. Skörd behövs inte vid rening inriktad på partiklar (TSS), phytoplankton, eller kemisk syreförbrukning (COD). Mycket lite forskning finns på skördestrategier för flytande våtmarker. Flera studier har funnit att skörd bör ske innan växterna börjar vissna ned på hösten, eftersom växterna då läcker ut en del av ämnena de ackumulerat. Hur skördens omfattning och tidpunkt påverkar återväxten och påföljande reningsförmåga är däremot oklart, så mer forskning behövs. Många ämnen, däribland bly och koppar, koncentreras i rötterna och endast en mindre andel transporteras till växternas skott. Skörd av rotbiomassan bör därför övervägas. Skördade växtdelar bör användas som biobränsle eller liknande där askan hanteras på ett säkert sätt.

7 Slutsatser och fortsatt arbete

Försöket visar att det finns goda möjligheter att bygga ihop en flytande våtmark med växtarter som är bra på att rena bort metaller och klor. Ju mer biomassa, och då speciellt rotbiomassa och bladbiomassa, desto bättre kommer reningen att fungera. Vid anläggning av flytande våtmarker bör alltså storvuxna arter väljas som kan förväntas trivas på platsen. Särskild vikt bör läggas vid god etablering av växterna.

Till skillnad från andra dagvattenreningssystem verkar växter kunna avskilja klorid från dagvatten. Rening av salt skulle bland annat minska skadorna på betongkonstruktioner, minska risken för saltinträngning i grundvattnet och förbättra rening från tungmetaller. Resultaten från den forskning som hittills genomförts i projektet inklusive litteraturstudien har gett en värdefull plattform för fortsatt forskning i projektets andra del samt redan nu bidragit med konkreta råd om vilka arter och egenskaper som främjar reningen hos flytande våtmarkernas växter.

Det fortsatta arbetet i projektets andra del kommer att fokuseras på att ta fram en flotte som är av naturmaterial. De flottar som idag används är av spunnen plast som bryts ned av solljus och slitage, och som därmed orsakar ett läckage av mikroplaster till miljön. Vidare undersöker vi vidare de bästa arterna på hur metallreningen påverkas av de vägsalter som hamnar i dagvatten. Temperaturens inverkan är också nödvändig att undersöka eftersom vårt svenska klimats temperatur skiljer sig under året. Dessutom kommer vi ta reda på hur mycket dessa växter klarar av att ackumulera innan de bör bytas ut. I mån av tid kommer slutligen en prototyp av en hållbar flytande våtmark testas i fältförhållanden.

8 Referenser

- Barbier L, Suaire R, Durickovic I, Laurent J, Simonnot MO. 2018. Is a Road Stormwater Retention Pond Able to Intercept Deicing Salt? *Water Air Soil Pollut.* 229.
- Billberger M. 2011. Vägdagvatten – Råd och rekommendationer för val av miljöåtgärd. Trafikverket. Borlänge.
- Blecken G. 2016. Kunskapssammanställning Dagvattenrening. SVU-rapport 2016-05. Svenskt Vatten Utveckling. Bromma.
- Borne KE, Fassman-Beck EA, Tanner CC. 2014. Floating Treatment Wetland influences on the fate of metals in road runoff retention ponds. *Water Res.* 48:430–442.
- Borne KE, Fassman EA, Tanner CC. 2013. Floating treatment wetland retrofit to improve stormwater pond performance for suspended solids, copper and zinc. *Ecol Eng.* 54:173–182.
- Castro-Castellon AT, Chipps MJ, Hankins NP, Hughes JMR. 2016. Lessons from the “Living-Filter”: An in-reservoir floating treatment wetland for phytoplankton reduction prior to a water treatment works intake. *Ecol Eng.* 95:839–851.
- Denich C, Bradford A, Drake J. 2013. Bioretention: Assessing effects of winter salt and aggregate application on plant health, media clogging and effluent quality. *Water Qual Res J Canada.* 48:387–399.
- Greger M. 2004. Metal Availability, Uptake, Transport and Accumulation in Plants. In: Prasad MN V., editor. *Heavy Met Stress Plants*. 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; p. 1–27.
- Guesdon G, de Santiago-Martín A, Galvez-Cloutier R. 2016. Phytodesalinization potential of *Typha angustifolia*, *Juncus maritimus*, and *Eleocharis palustris* for removal of de-icing salts from runoff water. *Environ Sci Pollut Res.* 23:19634–19644.
- Headley TR, Tanner CC. 2012. Constructed Wetlands With Floating Emergent Macrophytes: An Innovative Stormwater Treatment Technology. *Crit Rev Environ Sci Technol.* 42:2261–2310.
- Ladislav S, Gérente C, Chazarenc F, Brisson J, Andrès Y. 2015. Floating treatment wetlands for heavy metal removal in highway stormwater ponds. *Ecol Eng.* 80:85–91.
- Van de Moortel AMK, Meers E, De Pauw N, Tack FMG. 2010. Effects of Vegetation, Season and Temperature on the Removal of Pollutants in Experimental Floating Treatment Wetlands. *Water, Air, Soil Pollut.* 212:281–297.
- Nichols P, Lucke T, Drapper D, Walker C. 2016. Performance Evaluation of a Floating Treatment Wetland in an Urban Catchment. *Water.* 8:244.

- Pavlineri N, Skoulidakis NT, Tsihrintzis VA. 2017. Constructed Floating Wetlands: A review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. *Chem Eng J.* 308:1120–1132.
- Schück, M. 2018. Floating treatment wetlands for removal of heavy metals from stormwater. State of the art. Rapport 49. Metallgruppen, SU.
- Schück M, Greger M. 2019. Plant traits related to the heavy metal removal capacities of wetland plants. *Int J Phytoremediation.* 0:1–9.
- Semadeni-Davies A. 2006. Winter performance of an urban stormwater pond in southern Sweden. *Hydrol Process.* 20:165–182.
- Strosnider WH, Schultz SE, Strosnider KAJ, Nairn RW. 2017. Effects on the Underlying Water Column by Extensive Floating Treatment Wetlands. *J Environ Qual.* 46.
- Tanner CC, Headley TR. 2011. Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants. *Ecol Eng.* 37:474–486.
- Tara N, Arslan M, Hussain Z, Iqbal M, Khan QM, Afzal M. 2019. On-site performance of floating treatment wetland macrocosms augmented with dye-degrading bacteria for the remediation of textile industry wastewater. *J Clean Prod.* 217:541–548.
- Todorov D, Driscoll CT, Todorova S, Montesdeoca M. 2018. Water quality function of an extensive vegetated roof. *Sci Total Environ.* 625:928–939.
- Winston RJ, Hunt WF, Kennedy SG, Merriman LS, Chandler J, Brown D. 2013. Evaluation of floating treatment wetlands as retrofits to existing stormwater retention ponds. *Ecol Eng.* 54:254–265.

Bilder och bildkällor:

Framsidan: Flytande våtmark anlagd i Edsviken, nedanför Danderyds sjukhus i Stockholm.

Bilder tagna av Maria Schück, om ej annat anges nedan.

Samtliga bilder nedan är licensierade under CC BY-SA 2.0 eller CC BY-SA 3.0

s. 19 *Carex riparia* Curtis av Florent Beck <https://www.tela-botanica.org/eflore/consultation/popup.php?module=popup-illustrations&action=fiche&referentiel=bdtfx&id=1348814>

s. 20 *Molinia* av Elke Freese <https://sv.m.wikipedia.org/wiki/Fil:Molinia.jpg>

s. 20 *Scirpus sylvaticus* 2 av James K. Lindsey <http://www.commanster.eu/commanster.html>

s. 20 *Stachys palustris* am Bonner Rheinufer av Michael Becker. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stachys_palustris_2005.07.03_12.12.10.jpg

9 Artiklar genererade ur projektet

Litteratursammanställning: Schück, M. (2018) "State of the art" "Floating treatment wetlands for removal of heavy metals from stormwater". Rapport 49. Metallgruppen, SU.

Artikel 1: Schück, M. and Greger, M. (2019). Capacity of 34 wetland plant species to remove heavy metals from water. I manuskript

Artikel 2: Schück, M. and Greger, M. (2019). Plant traits related to the heavy metal removal capacities of wetland plants. *Int J Phytoremediation*. doi.org/10.1080/15226514.2019.1669529.

Licentiatavhandling: Schück, M. (2019) "Heavy metal removal by floating treatment wetlands: Plant selection" lades fram 20 september av Maria Schück, vid Institutionen för Ekologi, Miljö och Botanik, Stockholms universitet.

Data över saltupptag hos de studerade växterna, ska skrivas ihop till en vetenskaplig artikel under 2019/2020.



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se