



# Fytoremediering, dagvatten och hållbara växtval i ett cirkulärt sammanhang

- En litteraturstudie av växt-ackumulatorer av ämnet koppar i ett nordiskt klimat

---

*Phytoremediation, stormwater, and sustainable plant choices in a circular context*

*- A literature review of plant accumulators of the substance copper in a Nordic climate*

Sara Karlmark Persson

Självständigt arbete • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för stad och land

Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala

Uppsala 2022



# Fytoremediering, dagvatten och hållbara växtval i ett cirkulärt sammanhang

- En litteraturstudie av växt-ackumulatorer av ämnet koppar i ett nordiskt klimat

*Phytoremediation, stormwater, and sustainable plant choices in a circular context*

*- A literature review of plant accumulators of the substance copper in a Nordic climate*

Sara Karlmark Persson

**Handledare:** Göran Thor, SLU, Institutionen för ekologi  
**Examinator:** Helena Nordh, SLU, Institutionen för stad och land

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E  
**Kurstitel:** Självständigt arbete i landskapsarkitektur  
**Kurskod:** EX1004  
**Program/utbildning:** Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för stad och land  
**Utgivningsort:** Uppsala  
**Utgivningsår:** 2022  
**Omslagsbild:** Bild tillhör författare.  
**Upphovsrätt:** Samtliga figurer tillhör författare.  
**Elektronisk publicering:** <https://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Fytoremediering, koppar, Cu, hyper-ackumulatorer, ackumulatorer, hyper-ackumulerare, ackumulerare, dagvattenhantering, cirkulär ekonomi

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för stad och land

Avdelningen för landskapsarkitektur

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

- <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag ger härmed min tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

## Sammanfattning

Globala antropogena processer utarmar världens resurser, där flertalet av dessa resurser är ändliga, däribland metallen koppar. Parallellt med dessa antropogena processer ses en ökad halt av föroreningar i omlopp, där majoriteten av dessa är kopplade till urbana områden. I relation till urbana områden med en stor del hårdgjord yta syns en större prioritering av dagvattenhantering i stadsplaneringen. Arbetet navigerar via dessa utmaningar som rör ändliga resurser, föroreningen och metallen koppar samt dagvattenproblematiken i urbana områden för att finna en lösning. Denna lösning representeras av cirkulär ekonomi och tekniken fyto Remediering. Där växters förmåga att ackumulera, avlägsna eller hämma föroreningar utreds huruvida denna teknik kallad fyto Remediering kan användas i ett cirkulärt kretslopp kopplat till det specifika ämnet koppar.

Syftet med arbetet är att uppmärksamma tekniken fyto Remediering och ta fram en lättillgänglig växtlista av ackumulatorer av ämnet koppar som är applicerbara i ett nordiskt klimat. Därutöver visa på hur dessa ackumulerande växter kan implementeras via öppna dagvattenlösningar, där det övergripande målet är att koppla på tekniken fyto Remediering i ett cirkulärt sammanhang och visa på ett hållbart sätt att ta tillvara på världens resurser.

Metoden som använts i arbetet är en systematisk litteraturstudie via plattformen *Web of Science*. Selektionskriterier utarbetades även för att passa kriterier kopplat till effektivitet, ståndort, geografisk position och etik. Arbetet presenterar en lättillgänglig växtlista med både hyper-ackumulatorer och ackumulatorer av koppar där växtmaterialet är anpassat efter nordiskt klimat, men även växtmaterial som är torktåligt för att passa ståndorten dagvattenlösningar. Perenner, annueller och vedartat växtmaterial finns med på växtlistan som har anpassat sig efter arbetets kravställda selektionskriterier. Utvalt växtmaterial från växtlistan illustreras i två öppna dagvattenlösningar för att visa på användningsområde och passande typ av dagvattenlösning.

Resultatet visar på att i teorin är det fullt möjligt att applicera tekniken fyto Remediering via öppna dagvattenlösningar och applicera detta i ett cirkulärt sammanhang. Men eftersom tekniken fyto Remediering verkar tvärvetenskapligt återstår det utmaningar i själva förvaltningen, detta innan tekniken fyto Remediering kan ta det fulla steget ut i praktiken och appliceras i en cirkulär ekonomi.

**Nyckelord:** Fyto Remediering, koppar, Cu, hyper-ackumulatorer, ackumulatorer, hyper-ackumulerare, ackumulerare, dagvattenhantering, cirkulär ekonomi

## Abstract

Global anthropogenic processes deplete the world's resources. Most of these resources are finite, including the metal copper. In parallel with these anthropogenic processes, an increased content of pollutants is seen in circulation, where the majority of these are linked to urban areas. In relation to urban areas with a large area of hardscape, a greater prioritization of stormwater management can be seen in urban planning. The study navigates through these challenges related to finite resources, pollution and the metal copper as well as the stormwater problem in urban areas to find a solution. This solution is represented by circular economy and phytoremediation technology. Where the plant's ability to absorb, accumulate or retain pollutants in its biomass, it is investigated whether this technique called phytoremediation can be used in a circular cycle connected to the specific substance copper.

The purpose of the study is to give an introduction to the technology of phytoremediation and to perform a literature study resulting in an easily accessible plant list of accumulators of the substance copper that are applicable in a Nordic climate. In addition, show how these accumulating plants can be implemented via open stormwater solutions. The overall goal is to connect the technology of phytoremediation in a circular context and show it in a sustainable way to make use of the world's resources.

The method used in the work is a systematic literature review via the platform *Web of Science*. Selection criteria were also developed to fit criteria linked to efficiency, location, geographical position and ethics. The work presents an easily accessible plant list with both hyper-accumulators and accumulators of copper. Where the plant material is adapted to the Nordic climate, but also plant material that is drought-resistant to suit the location stormwater solutions. Both perennials, annuals and woody plant material are included in the plant list that has adapted to the work's required selection criteria. Selected plant material from the plant list is illustrated in two open stormwater solutions to show the area of use and suitable type of stormwater solution.

The results show that in theory, it is quite possible to apply the technology of phytoremediation via open stormwater solutions and apply this in a circular context. However, as the technology of phytoremediation works interdisciplinary, challenges remain in the maintenance itself. This is before the technology of phytoremediation can take the full step into practice and be applied in a circular economy.

**Keywords:** Phytoremediation, copper, Cu, hyper-accumulators, accumulators, stormwater management, circular economy

# Tack

Jag vill tillägna ett stort tack till arbetets handledare Göran Thor, framför allt för värdefull respons och vägledning under arbetes gång. Helena Nordh för obevekligt stöd och goda råd. Anna Darpe, miljöpedagog på Håbo kommun för vidare vägledning gällande hur föroreningar kan separeras efter att de blivit till avfall. Personer i omgivningen som tagit sig tid och läst igenom arbetet och givit värdefull respons. Tack!

“ ‘Phyto’ precedes many of the mechanism words, for example phytodegradation, phytovolatilization, phytoextraction. All these terms can lead very quickly to phytoconfusion! ”

(Kennen & Kirkwood 2015: 34)

# Innehållsförteckning

## Tack 6

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabellförteckning .....</b>                                        | <b>10</b> |
| <b>Figurförteckning.....</b>                                          | <b>11</b> |
| <b>Begreppsförteckning .....</b>                                      | <b>12</b> |
| <b>1. Inledning .....</b>                                             | <b>13</b> |
| 1.1 Syfte .....                                                       | 14        |
| 1.2 Frågeställning.....                                               | 14        |
| 1.3 Avgränsning .....                                                 | 15        |
| 1.3.1 Tekniken Fytoremediering .....                                  | 15        |
| 1.3.2 Växtval .....                                                   | 15        |
| 1.3.3 Koppar .....                                                    | 15        |
| 1.3.4 Dagvatten .....                                                 | 15        |
| 1.3.5 Odlingssubstrat.....                                            | 16        |
| <b>2. Teoretisk bakgrund.....</b>                                     | <b>17</b> |
| 2.1 Cirkulär Ekonomi.....                                             | 17        |
| 2.2 Urbanisering kopplat till föroreningar i dagvatten .....          | 18        |
| 2.3 Föroreningskällor till metaller i dagvatten .....                 | 19        |
| 2.4 Lagstiftning Dagvatten .....                                      | 19        |
| 2.5 Målsättningar Cirkularitet & Vatten .....                         | 20        |
| 2.6 Koppar: Mikronäringsämnet, Föroreningen, Metallen & Resursen..... | 20        |
| 2.6.1 Koppar i urban kontext.....                                     | 21        |
| 2.6.2 Konsekvenser: Levande organismer .....                          | 21        |
| 2.6.3 Som Resurs .....                                                | 22        |
| <b>3. Fytoremediering .....</b>                                       | <b>23</b> |
| 3.1 Historik .....                                                    | 23        |
| 3.2 Tekniken fytoremediering.....                                     | 23        |
| 3.3 Sju fytoremedieringstekniker.....                                 | 24        |
| 3.4 Fytoextraktion.....                                               | 25        |
| 3.5 Fytometabolism.....                                               | 26        |
| 3.6 Hyperackumulerare.....                                            | 27        |
| 3.7 Phytomining .....                                                 | 27        |

|           |                                                          |           |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 3.8       | Fytoparken i glasriktet.....                             | 29        |
| 3.9       | Fytoremediering: Skötselaspekten .....                   | 30        |
| <b>4.</b> | <b>Metod.....</b>                                        | <b>31</b> |
| 4.1       | Selektionskriterier .....                                | 31        |
| 4.2       | Selektionskriterier Härdighet.....                       | 32        |
| 4.2.1     | Kolumn Härdighet Växtlistan .....                        | 32        |
| 4.2.2     | Annuel / Perenner Växtlistan .....                       | 32        |
| 4.2.3     | Funktion & Form .....                                    | 32        |
| 4.2.4     | Toxicitet i det allmänna rummet.....                     | 33        |
| 4.3       | Sökmetod .....                                           | 33        |
| <b>5.</b> | <b>Resultat .....</b>                                    | <b>36</b> |
| 5.1       | Växtlista.....                                           | 36        |
| 5.2       | Dagvattenlösningar .....                                 | 40        |
| 5.2.1     | Cirkulationsplats .....                                  | 41        |
| 5.2.2     | Regnbädd .....                                           | 42        |
| <b>6.</b> | <b>Diskussion .....</b>                                  | <b>43</b> |
| 6.1       | Skötselaspekten av tekniken fytoremediering .....        | 44        |
| 6.2       | Växtmaterialet .....                                     | 45        |
| 6.2.1     | Växtmaterialet kopplat till resultatet: Växtlistan ..... | 45        |
| 6.2.2     | Växtmaterialet i nordiskt klimat.....                    | 46        |
| 6.3       | Öppna dagvattenlösningar .....                           | 46        |
| 6.4       | Utvecklingsarbete: Under Jord.....                       | 47        |
| 6.5       | Etiska, Samhälleliga och Hållbarhetsaspekter.....        | 48        |
| 6.6       | Vikten av en tydlig avgränsning .....                    | 49        |
| 6.7       | Metodreflektion.....                                     | 50        |
| <b>7.</b> | <b>Slutsats .....</b>                                    | <b>51</b> |
|           | <b>Referenser.....</b>                                   | <b>52</b> |

# Tabellförteckning

|                                                                                              |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tabell 1: visar hyper-ackumulatorer och ackumulatorer av koppar: annueller och perenner..... | 34-35 |
| Tabell 2: visar hyper-ackumulatorer och ackumulatorer av koppar: vedartade växter.....       | 36    |

# Figurförteckning

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 1: visar en lista över sju olika fyto Remedieringstekniker och hur de verkar.....                                                 | 23 |
| Figur 2: visar Fytoextraktion där föroreningen tas upp och ackumuleras i växternas biomassa för att sedan skördas.....                  | 24 |
| Figur 3: visar Fytometabolism där näringsämnen tillgodoser växtens behov, de överblivna föroreningarna hamnar i växternas biomassa..... | 25 |
| Figur 4: visar grundprinciperna av Phytomining.....                                                                                     | 26 |
| Figur 5: visar flödesschema över litteraturstudien.....                                                                                 | 32 |
| Figur 6: visar ett illustrativt montage av en cirkulationsplats och diken i anslutning med växtmaterial från växtlistan.....            | 39 |
| Figur 7: visar ett illustrativt montage av en regnbädd i urban miljö med växtmaterial från växtlistan.....                              | 40 |
| Figur 8: visar nyckel 1.....                                                                                                            | 42 |
| Figur 9: visar nyckel 2.....                                                                                                            | 42 |

## Begreppsförteckning

**Fytoremediering** är ett samlingsbegrepp för växters förmåga att antingen ackumulera, avlägsna eller hämma olika typer av föroreningar i mark eller vatten (McCutcheon & Schnoor 2003: 4).

**Ackumulatorer** är växter som ackumulerar metaller i deras biomassa och klarar av att ha en god etablering och utbredning i förorenad mark, där andra växter inte klarar av detta (Baker & Brooks 1989: 82).

**Hyper-ackumulatorer** är växter som ackumulerar metaller i deras biomassa och som tolererar extremt höga koncentrationer av metaller, där andra växter inte klarar av att växa, där den torkade biomassan från hyper-ackumulerande arter ofta innehåller mer än 1% tungmetaller (Baker & Brooks 1989: 82).

**Dagvatten** är temporärt förekommande vatten på en markyta eller på en konstruktion som utgörs av regn och smältvatten (Alm & Åström 2014: 9).

**Öppna dagvattenlösningar** är ett samlingsbegrepp på olika anläggningar för omhändertagande, fördröjning och magasinering av dagvatten i helt eller delvis öppna system (Stahre 2004: 19).

**Cirkulär ekonomi** kan beskrivas som en cykel där resurser som är i slutet av dess konstruerade bana omvänds till resurser för andra, vilket leder till att cykeln för industriella ekosystem sluts och minimerar avfall (Stahel 2016: 435).

**Ekosystemtjänster** definieras som alla funktioner, tjänster och produkter som ekosystemen tillhandager människan och vårt samhälle. Dessa ekosystemtjänster delas in i fyra kategorier: Försörjande ekosystemtjänster, Reglerande ekosystemtjänster, Kulturella ekosystemtjänster och Stödjande ekosystemtjänster (Naturvårdsverket u.å.).

# 1. Inledning

Föroreningar i urbana miljöer som framför allt transporteras via dagvatten och ett utarmande av världens resurser är problematiskt. Ett alternativ inom landskapsplanering som skulle kunna bidra till att både rena områden från föroreningar och implementeras i ett cirkulärt sammanhang är tekniken fytoremediering.

Till följd av en ökad urbanisering, där en större mängd hårdgjorda ytor breder ut sig, syns en ökning av föroreningar i omlopp (UNESCO 2012: 103). Det finns ett tydligt samband mellan föroreningar kopplade till fordonsanvändning och en ökad volym dagvatten från hårdgjorda ytor som leder till en signifikant försämrad dagvattenkvalitet (Novotny 2005). Antalet olika föroreningar som förekommer i urbana miljöer är omfattande. Flertalet av dessa består av icke förnybara metaller, däribland metallen koppar. Grundämnet koppar är även kopplat till extrem toxicitet för akvatiskt liv (Hwang et al. 2016). Parallellt ökar den globala extraktionen av metaller och dagens globala antropogena processer sätter en enorm press på jordklotets naturresurser, inte minst de icke förnybara (UNECE 2021: 12).

Det existerar i dagsläget forskning som listar möjliga ackumulatorer och hyper-ackumulatorer av tungmetaller och däribland metallen koppar. Men världens antal kärlväxter är mycket stort, och flertalet av dessa arter och sorter har troligtvis förmågan att ackumulera eller hyper-ackumulera metallen koppar. För att utröna vilka dessa är behövs en fortsatt extensiv forskning. Metoden litteraturstudie användes i arbetet då en tidigare sådan studie av möjliga ackumulatorer och hyper-ackumulatorer av koppar i nordiskt klimat saknades på plattformen *Web of science*.

Med kompetens i alla leden, från tidigt designstadium till efterlevande förvaltning och skördandet av utvald resurs kan tekniken fytoremediering, inom spannet av ett cirkulärt sammanhang erbjuda ekosystemtjänster, resurseffektivitet, social, ekonomisk och ekologisk hållbarhet.

## 1.1 Syfte

Syftet med kandidatarbetet är att belysa tekniken fytoremediering och redogöra för tekniken ur ett cirkulärt sammanhang. Där arbetet uppmärksammar hur tekniken fytoremediering kan bistå i att låta metallen och föroreningen koppar återgå i ett cirkulärt system och utgöra en resurs. Fokus är att lyfta fram en lättillgänglig växtlista för ackumulatorer och hyper-ackumulatorer av koppar. Växtlistan med växter är tänkt att kunna implementeras via öppna dagvattenlösningar i urbana områden. Utöver målet att ta fram en växtlista presenterar arbetet två exempel på dagvattenlösningar med medvetna växtval i form av hyper-ackumulatorer och ackumulatorer.

Fytoremediering har inom vetenskapen haft ett stort fokus på teknikens förmåga att rena förorenad mark och vatten (Kennen & Kirkwood 2015: xxii). Brännpunkten för detta arbete ligger inte enbart på rening, utan tar det ett steg längre och ämnar belysa den viktiga skötsel aspekten som följer och det hållbara cirkulära sammanhang tekniken kan användas inom. Den övergripande målsättningen med arbetet är att sätta tekniken fytoremediering under paraplybegreppet hållbarhet, där den ekonomiska faktorn spelar in, precis som den ekologiska och sociala.

Arbetet riktar sig till intresserade och yrkesverksamma inom flera olika sektorer då tekniken verkar tvärvetenskapligt. På kommunnivå nationellt är förhoppningen att kunna inspirera att våga satsa på en ny typ av grön teknik.

## 1.2 Frågeställning

- Vilka arter och sorter av kärlväxter är aktuella för att använda i en icke anaerob dagvattenlösning i ett nordiskt klimat och innehar lämpliga egenskaper för att kunna skördas? Vilka av dessa kärlväxter är i sin tur hyper-ackumulatorer och ackumulatorer av ämnet koppar?

## 1.3 Avgränsning

### 1.3.1 Tekniken Fytoremediering

Tekniken fytoremediering i sig är en komplex metod och har en tvärvetenskaplig bakgrund och kräver en förståelse för växters biokemiska skeenden. Därför berör detta arbete enbart teknikens grundläggande processer och riktar in sig på de specifika teknikerna fytoextraktion och fytometabolism.

### 1.3.2 Växtval

Tekniken fytoremediering spänner över hela växtriket och inkluderar kärlväxter, svampar, lavar, mossor och även alger (McCutcheon & Schnoor 2003: 4). För att avgränsa arbetet har kärlväxter valts ut som mest lämpligt då dessa är förhållandevis lättetablerade, tillväxthastigheten är relativt snabb och är därför mer intressanta ur ett perspektiv där biomassan kan extraheras. Eftersom dagvattenlösningar ofta är placerade i relation till hårdgjorda ytor i urbana miljöer där människor rör sig frekvent valdes kärlväxterna även ut för dess inneboende estetiska kvaliteter.

### 1.3.3 Koppar

Grundämnet, metallen, mikronäringsämnet och föroreningen koppar (Cu) valdes specifikt ut för dess höga koncentrationer i relation till fordonstrafik och dess närvaro i urbana områden där kopparkoppar är vanligt förekommande. Koppar är även toxiskt för akvatiskt liv. Därutöver är metallen koppar en ändlig resurs som har en god återvinningskapacitet och har ett lukrativt marknadsvärde.

### 1.3.4 Dagvatten

Föroreningar i urbana miljöer förekommer luftburet, i mark och i vatten. Detta arbete avgränsar sig till metallen koppar som förekommer i dagvatten. Kopparen färdas och koncentreras i dagvatten, där kopparen via dagvattnet sedan rinner vidare till naturliga eller konstruerade lågpunkter och ackumuleras. Därför har fokus medvetet lagts på konstruerade öppna dagvattenlösningar som ska verka fördröjande, där växtligheten i dagvattenlösningen ej är under anaeroba förhållanden under längre tidsperioder.

### 1.3.5 Odlingssubstrat

Arbetet kommer ej gå in på olika typer av jordar och olika odlings-substrats egenskaper. I dagvattenlösningarna utgår arbetet från att odlings-substratet följer yrkespraxis. Detta innebär generellt att odlings-substratet har en grövre fraktion (som sand eller grus) och därför har en högre konduktivitet (Svenskt Vatten 2011: 91). Detta i sin tur innebär en något torrare ståndort. Sammanfattningsvis är innebörden att växtvalet bör vara anspråkslöst och tåligt, där växtvalet baseras på arter och sorter med en bred växtamplitud (ibid.).

## 2. Teoretisk bakgrund

Det här avsnittet innehåller en presentation av ämnet cirkulär ekonomi och tekniken fytoremediering, som i sin tur cirkulerar den dagvattenproblematik som råder i urbana miljöer och de föroreningar som följer, där föroreningen koppar lyfts fram specifikt.

### 2.1 Cirkulär Ekonomi

Agenda 2030 och dess globala mål erbjuder ett ambitiöst och omfattande ramverk, där nya perspektiv för beslutsfattande och internationellt samarbete lyfts. Förenta nationernas ekonomiska kommission för Europa kräver i rapporten *Natural Resource Nexuses in the ECE region* en integrerad och hållbar användning av naturresurser (UNECE 2021: 12). Vidare framför rapporten hur ökad efterfrågan, klimatförändringar, teknologier, urbanisering, växande befolkning, samhälls-efterfrågan, ojämlikhet och globalisering sätter en enorm press på naturresurser, vilket av flertalet inte är förnybara. Rapporten ger exempel på hur global extraktion av material kopplat till naturresurser har ökat från 27 till 92 miljarder ton de senaste 50 åren. Vidare belyser rapporten att användandet av naturresurser har ökat 10 gånger sedan sekelskiftet och beräknas fördubblas igen år 2030, detta är även kopplat till en ökning av atmosfäriska, akvatiska, och markbundna föroreningar (ibid.).

Den industriella revolutionen och den linjära ekonomiska modellen som följd är en bidragande negativ faktor för miljön (Ellen MacArthur Foundation 2021: 13). Dessa antropogena processer har konsekvenser för vår omvärld och dess resurser, där ökade energikrav är en bidragande negativ faktor. För att nå 1,5 graders målet uppmanas strukturella förändringar för att förbättra den generella hållbara utvecklingen genom att reducera energiåtgång och avfall (IPCC 2018: 460).

Den cirkulära ekonomins affärsmodell kan delas in i två grupper. Den första gruppen där fokus ligger på återanvändande och reparation. Den andra gruppen där återvinning leder förloppet att skapa nya resurser (Stahel 2016). Ett byte till cirkulär ekonomi skulle inte bara minska växthusutsläppen med upp till 70% utan gynnar

den sociala hållbarheten i och med att det skapar jobbtillfällen och värdesätter kompetens där arbetskraft ersätter energiåtgång (ibid.).

Att den cirkulära processen är något som måste lyftas när vi pratar i termer av hållbarhet är teoretiskt välförstådd. Inte minst nationellt där Sveriges miljömål kopplat till begränsad klimatpåverkan berörs av detta (Sverige miljömål 2021). Eftersom det är en cirkulär process så är det viktigt att det hållbara resonerandet finns med i alla leden. Det finns ett behov av innovationer som förstärker den cirkulära ekonomin, speciellt i de tidiga skedena (Stahel 2016). Att tänka rätt från början i designprocessen, fyller ändamålet av både form och funktion; där det cirkulära tänkandet är närvarande i hela cykeln. Det är viktigt i den tidiga designprocessen, det konceptuella designstadiet, att redan här fokusera på resurseffektiva förslag (Sergio Brambila 2020).

## 2.2 Urbanisering kopplat till föroreningar i dagvatten

Idag ser vi en ökad urbanisering världen över, den urbana befolkningens mängden har ökat stadigt sedan 1950-talet och har gått från att innefattas av ca 0,8 miljarder till 4,2 miljarder år 2018 (UN 2018: 9). Till följd av en ökad urbanisering och utökade stadsmiljöer ses tillika en ökning av föroreningar i omlopp, framför allt kopplat till vatten och en underbyggd infrastruktur (UNESCO 2012: 103).

Förtätningen av redan bebyggda områden och dess ökade befolkningstäthet i samband med en ökad fordonstrafik innebär att arealen av hårdgjord yta ökar och öppna områden med infiltrations kapacitet minskar (Hwang et al. 2016). I typiska urbana områden utgör de hårdgjorda ytorna ca 70 % av de totala ytorna (Blansett & Hamlett 2013), detta i sin tur ökar ytavrinningsvolymen och hastigheten av dagvatten som ska ta vägen någonstans.

Stora volymer av dagvatten har större erosionsförmåga vilket i sin tur leder till en stegrad mobilisering av magasinerade föroreningar som ökar föroreningsgraden då dessa föroreningar lättare släpper från ytan (Hwang & Foster 2006). Ytterligare en aspekt som berör föroreningsgraden av dagvattnet är att när dagvattnet avvattnas direkt till dagvattenbrunnar medför detta att dagvattensystemet belastas, detta medför att det förorenade dagvattnet rinner ut direkt till recipient (Stahre 2004: 10).

## 2.3 Föroreningskällor till metaller i dagvatten

Föroreningarna i dagvatten härstammar både från naturliga och antropogena källor och är en komplex blandning av både organiska och oorganiska material och substanser. Både områden och tidpunkter eller årstider har betydelse för dagvattnets kvalitet (Butler et al. 2018 se Viklander et al. 2019: 14). Den allra främsta inverkan på dagvattnets kvalitet är: markanvändning, trafikdensitet och byggnadsmaterial (ibid.).

Trafiken står för den främsta källan till närvaron av metaller i dagvatten (Malmqvist 1983 se Viklander et al. 2019: 14). Korrosion och metalliska byggnadsmaterial bidrar också till den förhöjda halten av metall (ibid.). De föroreningar som härstammar från fordonstrafiken hamnar under torra perioder på ytor i dess direkta närhet, vid nederbörd förs dessa föroreningar vidare med dagvattnet (Hwang et al. 2016).

En annan källa till föroreningar i dagvatten är slitage av väg och trottoarytor, där ytans ålder, skick och det lokala klimatet inverkar till ytans slitage. Både partiklar från själva vägmaterialet men även deras nedbrytningsprodukter, polycykliska aromatiska kolväten (PAH:er) och metaller frigörs från dessa ytor och bidrar till dagvattnets föroreningsgrad (Viklander et al. 2019: 15).

## 2.4 Lagstiftning Dagvatten

Juridiskt sett regleras dagvatten av bland annat Miljöbalken (SFS 1998:808), lagen om allmänna vattentjänster (SFS 2006:412) och Plan- och bygglagen (SFS 2010:900). Kommunerna äger oftast ledningsnäten för dagvatten och ses därför som ansvariga för dessa.

Miljöbalken kapitel 9 menar att utsläpp av avloppsvatten (Dagvatten ingår i definitionen av avloppsvatten) från detaljplanelagt område eller begravningsplats definieras som miljöfarlig verksamhet paragraf 1-2 §§ Miljöbalken (SFS: 1998:808).

Vidare i Miljöbalken kapitel 9 paragraf 7 § (SFS: 1998:808) anges att avloppsvatten skall avledas och renas eller tas om hand på något annat sätt så att olägenhet för människors hälsa eller miljön inte uppkommer. För detta ändamål skall lämpliga avloppsanordningar eller andra inrättningar utföras. Betydelsen av detta innebär att dagvatten ska föras bort eller behandlas så att besvär för människors hälsa eller miljö inte uppstår.

I enlighet med Plan- och bygglagen kapitel 1 paragraf 2 § (SFS: 2010:900) är det en kommunal angelägenhet att planlägga användningen av mark och vatten. Alltså ska detaljplanering och översiktsplanering tillika innehålla vattenaspekten.

## 2.5 Målsättningar Cirkularitet & Vatten

Ur ett internationellt perspektiv finns de globala målen som är en del av agenda 2030 för hållbar utveckling som togs fram av Förenta Nationernas medlemsländer 2015. Mål nummer 12 *Hållbar konsumtion och produktion – 12.2 hållbar förvaltning och användning av naturresurser* (Globala målen 2021) är ett av målen som är utav intresse kopplat specifikt till cirkulär ekonomi.

Kopplat till ett europeiskt perspektiv så antogs år 2000 Vattendirektivet för Europas medlemsländer, som agerar som ett ramdirektiv inom den Europeiska unionens vattenpolitiska samarbete. Detta för att säkra en god vattenkvalitet med hänsyn till ett långsiktigt och hållbart perspektiv där det är vattenmyndigheten som bär ansvaret att direktivet utförs. Den ekologiska och kemiska statusen avgörs utifrån statusbedömningen Miljökvalitetsnormer (MKN) som innehåller gränsvärden för de aktuella föroreningarna (Svenskt Vatten 2011: 19). Vattenmyndigheterna tar på sig både ett helhetsperspektiv och ansvarar för berörda vattenförekomster inom respektive vattendistrikt, som i sig är uppdelade i fem. I uppdraget ingår att genomföra tidigare nämnda Europas vattendirektiv där tillgången till säkert vatten kräver samarbete. Län och kommuner kan tillhöra fler än ett vattendistrikt (Vattenmyndigheterna u.å).

Utifrån ett nationellt perspektiv finns Sveriges miljökvalitetsmål som ska agera vägledning för hela Sveriges miljöarbete, för myndigheter, för länsstyrelser, för kommuner, för näringslivets och för andra aktörer. De specifika målen *Giftfri miljö* och *Levande sjöar och vattendrag* (Sveriges miljömål 2021) går att härleda till föroreningar i dagvatten och är intressant utifrån detta arbete.

## 2.6 Koppar: Mikronäringsämnet, Föroreningen, Metallen & Resursen

Koppar (Cu) är ett mikronäringsämne och är vitalt för levande organismer. I växter spelar kopparen en nyckelroll i klorofyllbildandet, fotosyntesen, elektrontransportkedjan kopplat till växtandning, oxidativt stressskydd och cellväggens metabolism (Rehman et al. 2019). I växter leder ett överskott av koppar till cellskada och syns bland annat som förkrympta växtdelar, växtdelar som är blåaktiga i tonen och till slut blir de gula eller bruna. I ännu högre doser sker en

minskning av växternas biomassa (ibid.). Kopparupptaget hos växter är starkt beroende av pH-nivån i marken, vid lägre pH tas kopparen lättare upp av växten, medan vid högre pH minskar kopparaktiviteten i rotzonen (ibid.).

### 2.6.1 Koppar i urban kontext

De två främsta källorna till koppar i dagvatten i urbana miljöer kommer från trafiken och byggnadsmaterial, där kopparen återfinns i koppartak, kopparfasader och i fordons bromsbelägg (Davis et al. 2001). Kopparen avges i små partiklar vid varje inbromsning från bromsar med metalldisk. Utsöndringen av koppar varierar med olika typer av bromsmodeller (Hwang et al. 2016). I enbart Europa är det beräknat att ungefär 2400 ton koppar släpps ut enbart från bromsbelägg på fordon. Detta uppskattas vara 48% av det totala kopparutsläppet i Europa (Hulskotte et al. 2007).

Kopparkoncentrationen i sediment i urbana avrinningsområden har stadigt ökat under de senaste årtiondena (Barlow et al. 2014). Dessa förhöjda koncentrationer förväntas att fortsätta öka om inte fordonbromsarnas belägg regleras (Hwang et al. 2016). I San Francisco viadukten beräknades att 57% av den totala mängden koppar som återfanns i viadukten kom från bromsbelägg (Hwang et al. 2016).

I Stockholms stad är halten av miljögifter förhöjda och återfinns bland annat i dagvattnet. Stockholms stads kemikalieplan pekar bland annat ut metallen koppar som ett prioriterat riskminskningsämne (Stockholms stad 2020: 11). Stockholms stads kemikalieplan är även kopplad till det långsiktiga nationella miljökvalitetsmålet *Giftfri miljö* (Stockholms stad 2020: 3).

### 2.6.2 Konsekvenser: Levande organismer

Föroreningarna som når akvatiskt liv i närheten till urbana miljöer färdas främst via dagvatten (Barlow et al. 2014). Upplöst koppar är giftigt för en mängd akvatiska organismer även i små koncentrationer (Rehman et al. 2019). Koppar har en särskilt negativ inverkan på akvatiskt liv i jämförelse med andra föroreningar (Hwang et al. 2016).

Även om koppar är starkt bundet till suspenderat material och sediment, finns det bevis på att en del av den upplösta kopparen återfinns i grundvatten. Detta är allvarligt då dricksvatten förorenat av tungmetaller är osäkert att dricka (Rehman et al. 2019). Kopparbrist kan förekomma hos vuxna människor, men är väldigt ovanligt. Även om koppar inte är direkt lika giftigt som andra tungmetaller kan det i höga koncentrationer vara mycket giftigt (ibid.).

### 2.6.3 Som Resurs

På plats tre över världens mest använda metall hamnar koppar. Topplaceringen beror på dess förmåga att leda värme och elektricitet och återfinns i bland annat i olika typer av elektronik (SGU 2020). Koppar är ett ämne som har en god återvinningskapacitet och återvinns i mer än 50% av fallen. Återvinningen av koppar görs genom att smälta metallen för att sedan kunna producera nya produkter (ibid.). Processen är att återvinna metall är emellanåt komplicerad, speciellt när metallen är spridd över många olika komponenter (ibid.).

Det ultimata målet är att kunna återvinna material på atomnivå, vilket framgångsrikt har gjorts på både guld och koppar när dessa har extraherats från elektroniska apparater (Stahel 2016). Än så länge är dessa tekniker energiintensiva och extraherar ämnena enbart delvis, ny teknik som gör detta mer effektivt eftersöks (ibid.).

Priset på koppar har stadigt ökat sedan 2003, utbud och efterfrågan är fundamentalt och styr priset (Ye et al. 2016). Priset på icke förnybara resurser som koppar följer marknaden och globala ekonomiska händelser. För industrins produktion är metallpriserna betydande och framför allt betydande för den ekonomiska aktiviteten, därför behandlas metaller som investeringar (Kara et al. 2022).

I följande rubrik presenteras tekniken fytoremediering närmare och ges en teoretisk grund.

## 3. Fytoremediering

Fytoremediering är ett samlingsbegrepp för kärlväxters, algers och svampars förmåga att antingen ackumulera, avlägsna eller hämma olika typer av föroreningar i jord, grundvatten, ytvatten eller sediment (McCutcheon & Schnoor 2003: 4). Tekniken kan ses som ett alternativ till konventionella saneringsmetoder på grund utav växters inneboende estetiska kvaliteter vid planterade ytor, teknikens relativa låga kostnad och dess icke invasiva metod då den används in situ.

### 3.1 Historik

Själva begreppet fytoremediering myntades under 1980-talet (Willey 2007: Preface). Men långt innan fytoremediering fick sitt namn har samhällen runt om i världen sett sambandet mellan relationen jorden och vegetationen som växer därpå. Förståelsen att vissa växter har en förmåga att tolerera vissa ämnen bättre, medan andra växter inte klarar av att växa på samma område, och fungerar som ackumulatorer är ingen ny företeelse (Baker et al. 1988). Redan under 1930-talet användes tekniken för bioprospektering, för att upptäcka särskilda mineral. Tekniken utnyttjades för att hitta särskilda växter som enbart växte vid mineralrika områden (Kennen & Kirkwood 2015: xxi). Ett halvt sekel senare, strax innan begreppet fytoremediering myntades, studerades systematiskt förhållandet mellan metaller och växter, där det upptäcktes att vissa växter hade en framgångsrik förmåga att ta upp stora kvantiteter metall i relation till deras biomassa. Dessa växter döptes till ackumulatorer eller hyper-ackumulatorer (Baker et al. 1988). Tekniken fytoremediering har även en 300-årig historia som teknik att rena avloppsvatten (Pandey & Bajpaj 2018).

### 3.2 Tekniken fytoremediering

Fytoremediering benämns även som “Phytotechnologies” av författarna Kennen & Kirkwood (2015: 5). “Phytotechnologies” är en bredare definition av fytoremediering. Ett begrepp som är mer integrerat i landskapsarkitektur och design där tekniken inkorporeras kopplat till prevention av föroreningar (Kennen & Kirkwood 2015: 5). All typ av växtbaserade lösningar gällande föroreningar och

sanering och proaktiva lösningar inkluderas, där tekniken ses som en del av ett ekologiskt hållbart system som är förankrat i mänskliga och sociala interventioner. Framöver i detta arbete kommer begreppet *tekniken fytoremediering* att användas och hänvisar till den bredare definitionen.

### 3.3 Sju fytoremedieringstekniker

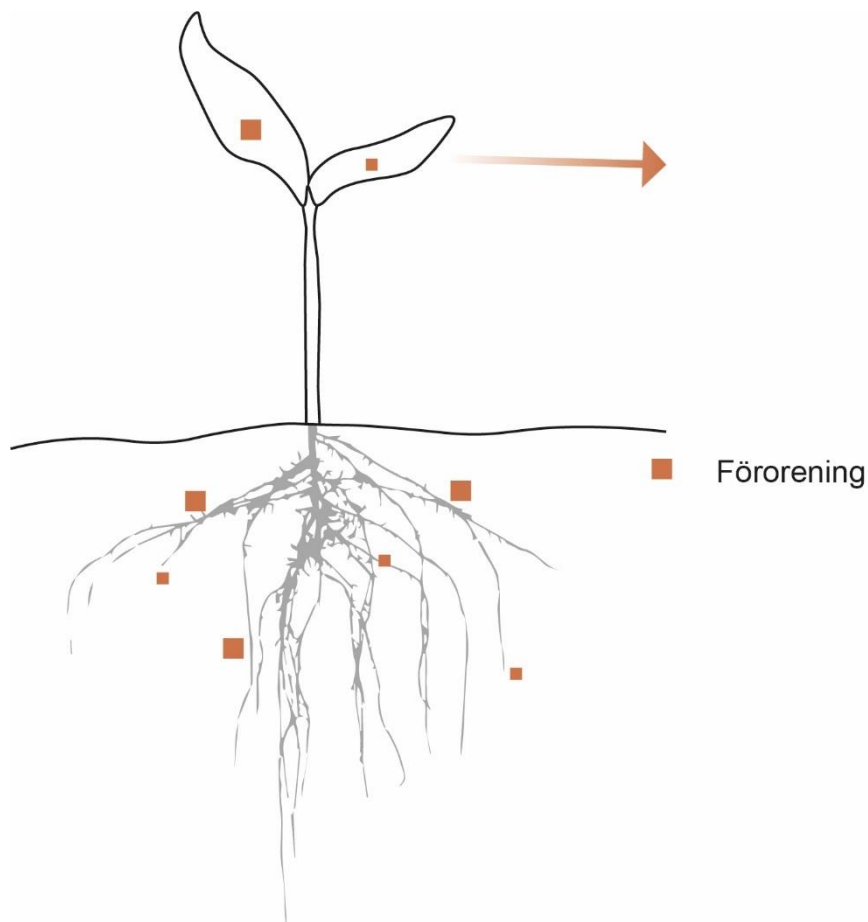
Den forskning som finns idag gällande tekniken fytoremediering, som är ett samlingsbegrepp, visar på att växter har olika inneboende strategier för att hantera olika typer av ämnen eller föroreningar. Där vissa växter framför allt har en högre tolerans gentemot dessa. De fytoremedieringstekniker som utnyttjar de naturligt förekommande processer i vilka växter och mikroorganismer bryter ner och hämmar föroreningar i mark och vatten kan delas in i sju olika kategorier (Kennen & Kirkwood 2015: 42). Se *figur 1* för en kortfattad förklaring av de olika fytoremedieringsteknikerna.

| NAMN TEKNIK                             | BESKRIVNING                                                                                      |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Phytodegradation                        | Växten förgör föroreningen                                                                       |
| Rhizodegradation                        | Jordens biologi förgör föroreningen                                                              |
| Phytovolatilization                     | Växten förvandlar föroreningen till gas                                                          |
| Phytohydraulik                          | Växten drar till sig föroreningen och håller den bundet i vatten                                 |
| Phytostabilisation / Phytosequestration | Växten inkapslar föroreningen och håller den på plats                                            |
| Rhizofiltration                         | Föroreningen filtreras från vatten av rötterna och jordsubstratet                                |
| Phytoextraktion                         | Växten accumulerar föroreningen, inkorporeras i biomassan. Föroreningen kan skördas              |
| Phytometabolism                         | Växten använder föroreningen i dess tillväxt, inkorporeras i biomassan. Föroreningen kan skördas |

*Figur 1: Lista över sju olika fytoremedieringstekniker och hur de verkar. Markerade tekniker är aktuella för detta arbete. (Illustration: Sara Karlmark Persson)*

De två fytoremedieringstekniker som är aktuella för tekniken fytoremediering ur ett cirkulärt sammanhang är fytoextraktion och fytometabolism. Där fokus ligger på tekniken att föroreningen/föroreningarna ansamlas i växternas biomassa och sedan extraheras. Detta både renar platsen för planteringen (vid avlägsning) men går även att inkorporera i en cirkulär ekonomi vid adekvat förvaltning där rätt växtdelar extraheras från platsen och sedan bränns för att möjliggöra ett cirkulärt kretslopp.

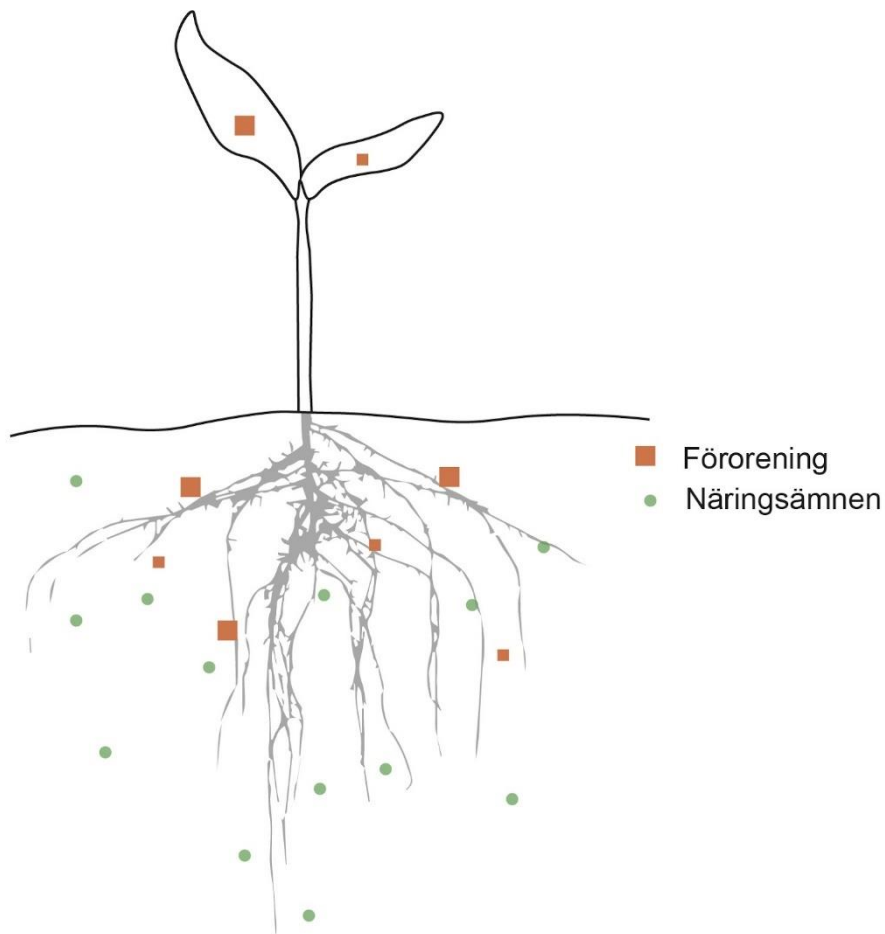
### 3.4 Fytoextraktion



*Figur 2 visar Fytoextraktion där föroreningen tas upp och ackumuleras i växternas biomassa för att sedan skördas. (Illustration: Sara Karlmark Persson)*

Fytoextraktion refererar till den teknik där föroreningen i växternas biomassa skördas för extrahering av den specifika föroreningen, se *figur 2*. Denna teknik kan ses som mer effektiv, i jämförelse med fytometabolism, i avseendet att aktivt ta upp ett specifikt ämne. Fytoextraktion, precis som fytometabolism, utnyttjar den förmåga växter har att ackumulera föroreningar från jordsubstrat eller vatten i växternas biomassa. Specifika ämnen eller möjliga föroreningar magasineras på så vis i biomassan. För att avlägsna föroreningarna från växtplatsen måste växten skördas innan lövfällning eller innan växten vissnar. Det skördade växtmaterialet kan sedan brännas för att utvinna de oorganiska ämnena (Kennedy & Kirkwood 2015: 38).

### 3.5 Fytometabolism



*Figur 3 visar Fytometabolism där näringsämnen tillgodoser växtens behov, de överblivna föroreningarna hamnar i växternas biomassa. (Illustration: Sara Karlmark Persson)*

Under växters tillväxt behövs näringsämnen för att växten ska ha en fungerande fotosyntes vilket i sin tur bidrar till att växten bygger mer biomassa. Fytometabolism (se *figur 3*) innebär att de näringsämnen som växten behöver tillgodoses. Följden blir att växten kan bygga vidare på sina växtdelar. När dessa näringsämnen i sin tur har brutits ner/tillgodosetts av växten återstår de överblivna näringsämnena inorporerade i växternas biomassa (Kennen & Kirkwood 2015: 37).

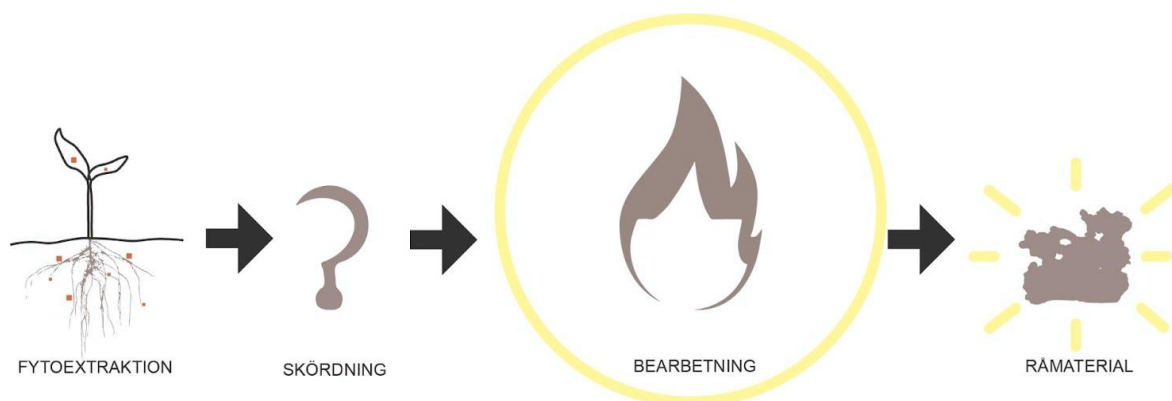
### 3.6 Hyperackumulerare

För att klassa vilka växter som tillhör hyper-ackumulatorer eller enbart ackumulatorer av metaller används generellt skalan *Bioaccumulation Factor* (BCF). Där växter med ett BCF värde mellan 1-10 är ackumulatorer och växter med ett BCF värde över 10 är hyper-ackumulatorer (Baker 1981). Detta kan sägas motsvara en växts förmåga att ta upp föroreningar i deras biomassa ovan jord i koncentrationer av 50 - 100 gånger högre än växter som inte innehar ackumulerande förmågor, detta görs utan att påvisa symptom på toxicitet (Baker & Brooks 1989). Idag uppskattas det finnas ca 400 funna hyper-ackumulatorer av metaller som ackumuleras i växternas skott (Burges et al. 2018).

Växter som agerar som hyper-ackumulatorer har två generella mekanismer för att skydda sina celler från en överdriven mängd av en specifik förorening. Under föroreningens förflyttning i växten blir dessa kelaterade med organiska syror eller aminosyror. Efter att föroreningen nått skotten, förvaras dessa i växtcellens vakuol eller i cellväggen (Chaney et al. 2007).

### 3.7 Phytomining

Växtsorter som är hyper-ackumulatorer kan vara mycket effektiva i att ta upp specifika ämnen från förorenad mark. Tekniken där hyper-ackumulerande växter tar upp specifika ämnen och skördas för detta specifika ämne kallas även för: Phytomining (Chaney et al. 2007). Se *figur 4*.



*Figur 4 visar grundprinciperna av Phytomining. (Illustration: Sara Karlmark Persson)*

Denna växtbaserade metod utnyttjar växters förmåga att ackumulera kommersiellt värdefulla ämnen i dess biomassa. Dessa ämnen ackumuleras i växtens olika delar beroende på växtens effektivitet att ta upp ämnet och dess distributionsmönster. Efter skördning av växten så bränns den alternativt fermenteras den eller så används kemikalier för att kunna utvinna dessa specifika ämnen (Heilmeyer & Wiche 2020). Phytomining kan ses som ett alternativ till den konventionella gruvindustrin, framför allt kopplat till områden där fyndigheter är för små i relation till en investering i gruvdrift (ibid.).

För att en växt ska vara lämplig för processen att ta upp ett ämne ur marken för att sedan extraheras, behövs vissa egenskaper. Däribland förmågan att en hög andel av det ackumulerade ämnet hamnar i biomassan ovan jord, lätthet att skörda, mycket biomassa och förmågan att hantera toxiska mängder av metall i dess växtmedium (Antoniadis et al. 2021).

Sedan phytomining-teknikens genomslag under tidigt 2000-tal har forskningen fokuserat på nickel, guld, thallium, kobolt, platina och palladium. Teknikens riktiga potential behöver dock bekräftas via fältstudier för att få ett kommersiellt genomslag. Mycket av svårigheterna att få tekniken att fungera i en kommersiell skala är behovet av enorma landareal till förfogande och dess krav på tvärvetenskaplig kompetens. (Babatunde et al. 2021)

Litteraturstudien *Phytomining of gold: A review* (Sheoran et al. 2013) pekar ut guld som en gynnsam kandidat för phytomining, då guld har ett högt marknadsvärde. Fältförsök att utvinna guld med phytomining har gjorts flertalet gånger, där hyperackumulerande växter testas för dess effektivitet. Likväl beskriver studien att tekniken inväntar fullskaliga projekt för kommersiell vinst, den främsta fördelen som lyfts fram är den hållbara aspekten och dess gröna tillvägagångssätt. Ekonomin gällande phytomining är beroende av markens metallhalt, växtens specifika förmåga, växternas biomassa, och marknadens metallpris som är tätt beroende av cykliska variationer (ibid.).

Metoden inväntar i dagsläget ett större genomslag och Chaney et al. (2007) menar att kritiken som riktas mot denna teknik har att göra med att fel typer av växter använts och inte sanna hyper-ackumulatorer. De hänvisar vidare till kombinationen av att använda tekniken fytoextraktion i samband med rätt växtval i form av hyper-ackumulatorer är av yttersta vikt.

Tekniken fyto Remediering är ett brett begrepp där tvärvetenskapliga instanser arbetar över gränserna för ett lyckat resultat. När tekniken används lyckat ses den inte bara som ett hållbart och naturligt tillvägagångssätt för att rena förorenade

områden (Ghosh & Singh 2005), utan också en teknik som börjar ses som ett ekologiskt och ekonomiskt effektivt alternativ till gruvindustrin (ibid.).

### 3.8 Fytoparken i glasriket

Nationellt finns det ett exempel på ett lyckat försök att sanera ett område och extrahera föroreningarna från området med hjälp av tekniken fytoremediering. I glasriket i Småland där det sedan lång tid tillbaka bedrivits glasindustri, har det införts en fytopark. Under glastillverkningen bildas stora deponier av glas och restprodukter som i sin tur förorenat mark och vatten, där området uppfattas ha en omfattande miljöskuld (Länsstyrelsen 2014: 30).

Glasrikeuppdraget som klubbades igenom år 2015 av regeringen bygger bland annat på miljö och energimål och samarbete med Linnéuniversitet utvecklades Fytoparken (Länsstyrelsen 2014: 5). Grundidén för fytoparken är att inte bara rena den förorenade marken och vattnet från föroreningar utan även att återbruka de ämnen/tungmetaller som ackumulerats i växterna och använda dessa i den fortsatta glasindustrin.

Resultatet i artikeln *From glass dump to phytoremediation park* (Hogland et al. 2019) där fytoparken slutledningsvis beskrivs som ett lyckat projekt i det avseendet att det varit möjligt att utvinna vissa ämnen med tekniken fytoremediering, där ämnet bly nämns som exempel. Exakt hur blyet utvinns framkommer inte av artikeln. Huruvida om dessa ämnen i praktiken återgår i produktionen återstår att se. Andra vinster i form av sociala värden, där parken ses som en utbildningsplats, men även en plats för rekreation lyfts fram.

Förvaltning och fytoremediering är något som är tätt förankrat för att nå ett lyckat resultat. Men det är även här som tekniken stöter på utmaningar, nedan redogörs för skötsel aspekten.

### 3.9 Fytoremediering: Skötselaspekten

Tekniken fytoremediering beaktas som en estetisk och miljövänlig metod som har många fördelar. Där bland dess låga kostnad, höga grad av acceptans från allmänheten och den möjlighet tekniken erbjuder kopplat till att återvinna metallerna som ackumuleras efter bränning av växtdelarna (Burgess et al. 2018).

Tekniken i sig är dock komplex och kräver ett tvärvetenskapligt engagemang med kompetens i alla leden. Författarna Kennen och Kirkwood (2015: 59) betonar vikten av att det inte bara är att implementera tekniken och sedan så försvinner föroreningarna, utan det krävs förståelse för teknikens komplexitet och en tydlig handlingsplan. I växthus och laboratorier är tekniken fytoremediering i teorin lyckad, men att översätta tekniken från teorin till praktiken har visat sig vara utmanande.

I mindre än 1% av fallen används tekniken fytoremediering kopplat till sanering av förorenade jordmassor, detta i jämförelse med andra konventionella metoder för sanering (Kennen & Kirkwood 2015: 10). Kopplat till sanering av mark, hävdar författarna Ashraf et al. (2019) att tekniken fytoremediering är det absolut mest kostnadseffektiva lösningen för att sanera tungmetallförorenad mark. Ändock lyfter författarna att fältet även är smalt och har enbart några få fältstudier. Även om tekniken i sig kan vara väldigt kostnadseffektiv belyser författarna Kennen & Kirkwood att arbetet kopplat till just skötseln och förvaltningen kan bli omfattande och kostsamma (2015: 9).

Författarna till artikeln *From phytoremediation of soil contaminants to phytomanagement of ecosystem services in metal contaminated sites* landar i dess slutsats att det fortfarande är många begränsningar kopplat till tekniken fytoremediering: ens effektivitet och huruvida det är ekonomiskt försvarbart att använda tekniken i praktiken och i kommersiell skala (Burgess et al. 2018). Därutöver är det mer kostsamt att förbränna förorenat växtmaterial än det är att förbränna icke förorenat växtmaterial, då det klassas som giftigt avfall (EPA 2000: 8). Det behövs satsas på studier gjorda över lång tid för att få tekniken accepterad i praktiken, i kontexten av långtidsskötsel kopplat till fytoextraktion av tungmetaller (Gerhardt et al. 2017).

## 4. Metod

Arbetet använder sig av metoden litteraturstudie för att besvara frågeställningen. Litteraturstudie är en forskningsmetod där ett systematiskt tillvägagångssätt tillämpas för att samla in och syntetisera tidigare forskning (Tranfield et al. 2003).

För att ta reda på vilka kärlväxter som är ackumulatorer och hyper-ackumulatorer av koppar, likaväl härdiga i nordiskt klimat samt applicerbara i en icke anaerob öppen dagvattenlösning där växterna ska kunna extraheras för att inkorporeras i en cirkulär ekonomi, utvecklades en lista med selektionskriterier för litteraturstudien.

### 4.1 Selektionskriterier

|                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|
| Kärlväxt                                                                 |
| Hyper-ackumulator/ ackumulator av koppar                                 |
| Ackumulation av koppar i tillväxten främst ovan jord (ej enbart i roten) |
| Nordisk växtzon kompatibilitet / härdighet                               |
| Ståndort kompatibilitet för öppen dagvattenlösning - tål viss torka      |
| Möjlighet till skördning efter en till två säsonger                      |
| Förhållandevis snabbväxande                                              |
| Annueler i nordiskt klimat - snabbväxande och bildar mycket biomassa.    |
| Ej erkända ätbara växter                                                 |

## 4.2 Selektionskriterier Härdighet

Gällande selektionen kopplat till härdighet, har prioriteringen varit växtmaterial som ska kunna ha en god etablering i öppna dagvattenlösningar utan stående vatten. Därutöver ska växtmaterialet kunna ha en god etablering i det nordiska klimatet, därför har växter valts bort även om de är hyper-ackumulatorer eller ackumulatorer av koppar. Eftersom dessa växter hade haft en sämre etablering i ett nordiskt klimat, alltså hade ackumulationen av kopparen inte varit fullgod.

### 4.2.1 Kolumn Härdighet Växtlistan

Klassificeringen MINDRE GOD på växtlistan avser att det finns en risk att växtmaterialet har en mindre chans för en lyckad etablering. Det saknas data för att avgöra om växtmaterialet är tillräckligt härdiga i nordiskt klimat. Ursprungsståndorten vilka dessa växter har är ofta bergsklimat där frost förekommer eller ståndorter där det kan vara en temperatur som är under noll grader under perioder. Klassificeringen GOD avser att växten har en god chans för en lyckad etablering i nordiska förhållanden.

### 4.2.2 Annueller / Perenner Växtlistan

Begreppet annuell representerar en ettårig växt, där övervintringssättet innebär frösättning (Nationalencyklopedin u.å.). Flera av växterna som befinner sig på växtlistan fungerar i nordiskt klimat som annueller medan de i deras ursprungshabitat fungerar som perenner. Dessa annueller har därför valts ut för dess förmåga att snabbt kunna bilda biomassa för att optimera upptaget av koppar. Därutöver har vissa annueller inkluderats på grund utav dess inneboende estetiska kvaliteter.

### 4.2.3 Funktion & Form

Ackumulatorer av koppar, och inte enbart hyper-ackumulatorer, valdes likaså för att inte utesluta alltför mycket växtmaterial. Det blir en större diversitet och en heterogen blandning av växter som bidrar med varierande estetiska kvaliteter. Vissa växtval har frångått selektionskravet snabbväxande då dessa växter kan tillföra en estetisk kvalité som marktäckare eller blickfång i en plantering.

Platser eller områden där det estetiska uttrycket nödvändigtvis inte behöver läggas större vikt vid, exempelvis en parkeringsplats eller refug som har uppsamling av dagvatten / dagvattenlösningar närvarande kan med fördel enbart växter som är hyper-acumulatorer användas för fytoextraktion.

#### 4.2.4 Toxicitet i det allmänna rummet

Användandet av tekniken fyto Remediering för fytoextraktion innebär även ett ansvarsfullt användande av växt-ackumulatorer. Eftersom dagvatten innehåller flertalet föroreningar finns det en risk att dessa växter tar upp skadliga tungmetaller, om dessa växter är ätbara kan det innebära en hälsorisk (Slima & Ahmed 2020). De öppna dagvattenlösningarna bör därför ej inkorporera ätbart växtmaterial.

### 4.3 Sökmetod

Sökningarna för litteraturstudien gjordes via plattformen *Web of science*, där sökalternativet *Topic* är valt. De söktermer som användes var:

**Phyto\* AND accumul\* AND copper AND Cu OR Phyto\* AND hyper\* AND copper AND Cu**

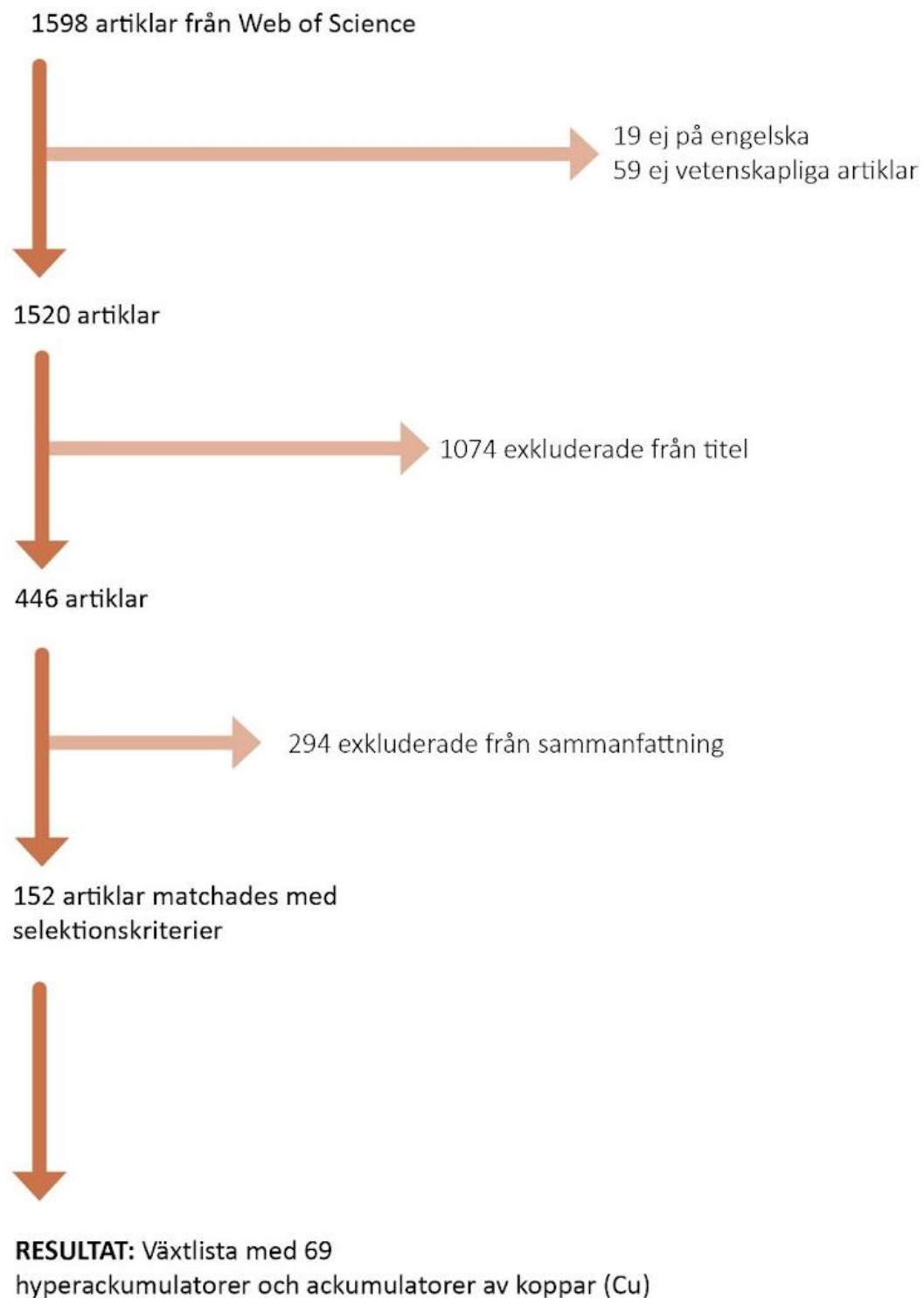
Av denna sökning genererades 1598 träffar. Selektionskravet att det skulle vara artiklar på engelska och vetenskapliga artiklar kryssades i under *Refine results*. 1520 artiklar återstod. 1074 artiklar sorterades bort baserat på dess titel. De titlar som verkade relevanta för sammanhanget markerades och sorterades av författaren på plattformen *Web of science* under fliken *Marked list*.

Söktermerna matchades sedan med selektionskraven som är listade ovan. Där kärlväxters hårdighet kopplat till nordiskt klimat är relevant. Kärlväxternas tolerans till torka och är även av intresse då tanken är att dessa växter ska implementeras i dagvattenlösningar (Svenskt Vatten 2011: 91). Var i växten kopparen ackumuleras, är även aktuellt då biomassan ska extraheras, alltså bör majoriteten av kopparen ackumuleras i biomassan ovan jord.

294 artiklar sorterades bort efter att sammanfattningen matchades med selektionskraven. De kvarvarande 154 artiklarna granskades som helhet för att kunna utröna vilka kärlväxter som är ackumulatorer och hyper-ackumulatorer av koppar i enlighet med selektionskraven.

I detta skede sorterades en stor del av kärlväxterna bort då kopparen (Cu) främst ackumulerades i rotmassan. Selektionskravet att kopparen till största del bör ansamlas ovan mark är av vikt för att säkerställa en mer effektiv extrahering och vidare bearbetning av metallen koppar. Flertalet artiklar sorterades bort då dessa fokuserade på akvatiska växter eller växter anpassade till våtmarker. Därutöver exkluderades artiklar där växtmaterialet var gynnade av tropiskt klimat. Vedartade lignoser med långsam tillväxt, det vill säga ej lämpliga för förnygringsbeskränning

exkluderades även. Kärleväxter och annueller med förhållandevis långsam tillväxt och mindre härdiga sorter valdes även i detta skede bort. Kvarstod gjorde 52 artiklar och 69 kärleväxter som matchade selektionskraven. Se *figur 5* för flödesschema över litteraturstudien.



Figur 5 visar flödesschema över litteraturstudien. (Illustration: Sara Karlmark Persson)

## 5. Resultat

Resultatkapitlet redovisar en växtlista av kärlväxter med hyperackumulatorer och ackumulatorer av koppar anpassade efter ett nordiskt klimat (Se *tabell 1 & 2*). Ett urval av växter görs och illustreras i två dagvattenlösningar där fördelar och nackdelar med respektive dagvattenlösning framförs.

### 5.1 Växtlista

Utav växtlistan, som är resultatet av litteraturstudien, kan vi utläsa att totalt 69 kärlväxter är ackumulatorer av metallen koppar och uppfyller selektionskraven. Där 16 av dessa klassas som hyperackumulatorer varav 53 som ackumulatorer där majoriteten av kopparen ansamlas ovan mark.

Majoriteten av kärlväxterna är perenner eller klassas som annueller i svenskt klimat. Dessa uppgår till antalet 61 stycken. Vedartade växter som har en förhållandevis snabb tillväxt och tolererar föryngringsbeskrning är sex till antalet.

Merparten av kärlväxterna tillhör familjen gräs, antal 10 arter. Därefter följer familjen kransblommiga växter, antal sju. Korgblommiga växter representeras av antalet sex stycken. Därefter följer videväxter, ärtväxter, nejlikväxter, amarantväxter som representeras av fyra arter och sorter var. Resterande undergrupper av familjer har två till en art eller sort representerad på växtlistan.

Cirka 70% av studierna är publicerade under det senaste decenniet, räknat från år 2012.

Tabell 1 visar Hyper-ackumulatorer och ackumulatorer av koppar: Annueller och Perenner  
(Illustration: Sara Karlmark Persson)

# ANNUELLER / PERENNER

| VETENSKAPLIGT NAMN                  | FAMILJ / SVENSKT NAMN            | TORKTOLERANT | HÄRDIGHET  | REFERENS                 |
|-------------------------------------|----------------------------------|--------------|------------|--------------------------|
| <b>H</b> Minuartia recurva          | Nejlilväxter                     | X            | GOD        | Jakovljevic et al. 2022  |
| <b>Y</b> Atriplex semibaccata       | Amarantväxter                    | X            | GOD        | Baycu et al. 2015        |
| <b>P</b> Polygonum aviculare        | Slideväxter / Trampört           | X            | GOD        | Baycu et al. 2015        |
| <b>E</b> Verbascum thapsus          | Flenörtsväxter / Kungsljus       | X            | GOD        | Kavousi et al. 2021      |
| <b>R</b> Ricinus communis           | Törelväxter / Ricin              | X            | GOD        | Palanivel et al. 2020    |
| <b>-</b> Papaver dubium             | Vallmoväxt / Åkervallmo          | X            | GOD        | Alizadeh et al. 2021     |
| <b>A</b> Ophiopogon japonicus       | Sparrisväxter                    | X            | GOD        | Ma et al. 2019           |
| <b>C</b> Tagetes erecta             | Sammetsblomstersläktet / Tagetes | X            | GOD        | Goswami & Das 2017       |
| <b>K</b> Calendula officinalis      | Korgblommiga växter / Ringblomma |              | GOD        | Saffari & Saffari 2021   |
| <b>U</b> Helianthus annuus          | Korgblommiga växter / Solros     |              | GOD        | Goswami & Das 2016       |
| <b>M</b> Alternanthera bettzickiana | Amarantväxter                    |              | GOD        | Forte & Mutiti 2017      |
| <b>U</b> Polypogon fugax            | Gräs                             |              | GOD        | Khalid et al. 2020       |
| <b>L</b> Epilobium hirsutum         | Dunörtsväxter / Rosendunört      |              | GOD        | Ghaderian & Ravandi 2012 |
| <b>A</b> Adesmia atacamensis        | Ärtväxter                        |              | MINDRE GOD | Lam et al. 2018          |
| <b>T</b>                            |                                  |              |            |                          |
| <b>O</b>                            |                                  |              |            |                          |
| <b>R</b>                            |                                  |              |            |                          |
| <b>E</b>                            |                                  |              |            |                          |
| <b>R</b>                            |                                  |              |            |                          |

# ANNUELLER / PERENNER

| VETENSKAPLIGT NAMN                      | FAMILJ / SVENSKT NAMN                   | TORKTOLERANT | HÄRDIGHET: | REFERENS                     |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|------------|------------------------------|
| <b>A</b> Minuartia verna ssp. hercynica | Nejlikväxter                            | X            | GOD        | Neumann et al. 1997          |
| <b>C</b> Polycarpha longiflora          | Nejlikväxter                            | X            | GOD        | Nedelkoska & Doran 2000      |
| <b>K</b> Silene vulgaris                | Nejlikväxter/ Smällglim                 | X            | GOD        | Song et al. 2004             |
| <b>U</b> Achillea millefolium           | Korgblommiga växter / Rölleka           | X            | GOD        | Nujkić et al 2020            |
| <b>M</b> Artemisia lavandulaefolia      | Korgblommiga växter                     | X            | GOD        | Long et al 2018              |
| <b>L</b> Melilotus officinalis          | Ärtväxter / Gul sötväppling             | X            | GOD        | Han et al. 2016              |
| <b>A</b> Glaucium flavum                | Vallmoväxter / Strandvallmo             | X            | GOD        | Cambrolle et al 2011         |
| <b>T</b> Sedum spectabile               | Fetbaldsväxter/ Kinesisk kärleksört     | X            | GOD        | Ma et al. 2019               |
| <b>O</b> Sedum plumbizincicola          | Fetbladsväxter                          | X            | GOD        | Xu et al. 2019               |
| <b>R</b> Armeria maritima ssp. halleri  | Triftväxter                             | X            | GOD        | Dahmani-Muller et al. 2000   |
| <b>E</b> Convolvulus arvensis           | Vindeväxter / Åkervinda                 | X            | GOD        | Gardea-Torresdey et al. 2004 |
| <b>R</b> Mesembryanthemum crystallinum  | Isörtväxter / Isört                     | X            | GOD        | Kholodova et al. 2005        |
| <b>E</b> Phlox subulata                 | Blågullsväxt / mossflox                 | X            | GOD        | Jakovljević et al. 2022      |
| <b>R</b> Festuca rubra                  | Gräs / Rödsvingel                       | X            | GOD        | Cuske et al. 2016            |
| <b>E</b> Lolium perenne                 | Gräs / Engelskt rajgräs                 | X            | GOD        | Padmavathiamma & Li 2009     |
| <b>R</b> Panicum virgatum               | Gräs / Rödhirs                          | X            | GOD        | Juang & Chen 2011            |
| Brassica juncea                         | Korsblommiga växter / SareptaSenap      | X            | GOD        | Gonzaga et al. 2021          |
| Bosea cyprica                           | Amarantväxter                           | X            | MINDRE GOD | Gonzaga et al. 2021          |
| Taraxacum officinale                    | Korgblommiga växter/ Maskros            |              | GOD        | Collier et al. 2017          |
| Atriplex. hortensis var. rubra          | Amarantväxter / Trädgårdsmålla          |              | GOD        | Kachout et al. 2012          |
| Brassica napus                          | Korsblommiga växter / Raps              |              | GOD        | Gonzalez-Valdez et al. 2018  |
| Corchorus capsularis                    | Malvaväxter                             |              | GOD        | Saleem et al. 2020           |
| Malva sylvestris                        | Malvaväxter / Rödmalva                  |              | GOD        | Saleem et al. 2020           |
| Elsholtzia splendens                    | Kransblommiga växter                    |              | GOD        | Xu et al. 2019               |
| Hyptis capitata                         | Kransblommigaväxter                     |              | GOD        | Nedelkoska & Doran 2000      |
| Elsholtzia haichowensis                 | Kransblommiga växter                    |              | GOD        | Tang et al. 2001             |
| Elsholtzia splendens Nakai              | Kransblommiga växter                    |              | GOD        | Yang et al. 2002             |
| Elsholtzia splendens                    | Kransblommiga växter                    |              | GOD        | Jiang et al. 2003            |
| Elsholtzia argyi                        | Kransblommiga växter                    |              | GOD        | Jiang et al. 2003            |
| Arachis pintoi                          | Ärtväxter                               |              | GOD        | Andreazza et al. 2011        |
| Trifolium incarnatum                    | Ärtväxter / Italiensk klöver            |              | GOD        | Mackie et al. 2014           |
| Hordeum murinum ssp. murinum            | Gräs                                    |              | GOD        | Pirjol et al. 2017           |
| Hyparrhenia hirta                       | Gräs                                    |              | GOD        | Poschenrieder et al 2001     |
| Miscanthus floridulus                   | Gräs                                    |              | GOD        | Yang et al. 2014             |
| Pennisetum sp                           | Gräs                                    |              | GOD        | Xu et al 2019                |
| Miscanthus sinensis                     | Gräs                                    |              | GOD        | Long et al. 2018             |
| Rumex crispus                           | Slideväxter / Krusskräppa               |              | GOD        | Long et al. 2018             |
| Solanum nigrum                          | Potatisväxter / Nattskatta              |              | GOD        | Yu et al. 2014               |
| Nicotiana tabacum                       | Potatisväxter/ Virginiatobak            |              | GOD        | Yu et al. 2014               |
| Linum usitatissimum                     | Linväxter                               |              | GOD        | Saleem et al. 2020           |
| Argusia sibirica                        | Strävsbladiga växter                    |              | GOD        | Popoviciu et al. 2017        |
| Commelina communis                      | Himmelblomsväxter / Liten himmelsblomma |              | GOD        | Popoviciu et al. 2017        |
| Portulaca oleracea Linn                 | Portlakväxter                           |              | GOD        | Mohanapriya et al. 2006      |
| Iris lactea var. chinensis              | Irisväxter                              |              | GOD        | Sun et al. 2012              |
| Arthraxon prionodes                     | Gräs                                    |              | MINDRE GOD | Sun et al. 2012              |
| Pteridium revolutum                     | Örnbräkenväxter                         |              | MINDRE GOD | Zheng et al. 2008            |

Tabell 2 visar Hyper-ackumulatorer och Ackumulatorer av koppar: Vedartade växter

# VEDARTADE VÄXTER

|                                                                                             | VETENSKAPLIGT NAMN     | FAMILJ / SVENSKT NAMN           | TORKTOLERANT | HÄRDIGHET  | REFERENS            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------|------------|---------------------|
| H<br>Y<br>P<br>E<br>R<br>-<br>A<br>C<br>K<br>U<br>M<br>U<br>L<br>A<br>T<br>O<br>R<br>E<br>R | Hydrangea paniculata   | Hortensiaväxter / Vipphortensia |              | GOD        | Forte & Mutiti 2017 |
|                                                                                             | Baccharis sarothroides | Korgblommiga växter             | X            | MINDRE GOD | Haque et al. 2008   |
|                                                                                             |                        |                                 |              |            |                     |
|                                                                                             |                        |                                 |              |            |                     |
|                                                                                             |                        |                                 |              |            |                     |
|                                                                                             |                        |                                 |              |            |                     |
|                                                                                             |                        |                                 |              |            |                     |
|                                                                                             |                        |                                 |              |            |                     |
|                                                                                             |                        |                                 |              |            |                     |
|                                                                                             |                        |                                 |              |            |                     |

# VEDARTADE VÄXTER

|                                                          | VETENSKAPLIGT NAMN       | FAMILJ / SVENSKT NAMN    | TORKTOLERANT | HÄRDIGHET  | REFERENS               |
|----------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|------------|------------------------|
| A<br>C<br>K<br>U<br>M<br>U<br>L<br>A<br>T<br>O<br>R<br>E | Cistus creticus          | Solvändeväxter           | X            | GOD        | Johansson et al 2005   |
|                                                          | Spiraea japonica         | Rosväxter / Praktspirea  |              | GOD        | Vincent et al. 2018    |
|                                                          | Spiraea media Schmidt    | Rosväxter / Fransspirea  |              | GOD        | Liu et al. 2016        |
|                                                          | Salix purpurea viminalis | Videväxter / Rödvide     |              | GOD        | Drzewiecka et al. 2017 |
|                                                          | Populus nigra            | Videväxter / Svartpoppel |              | GOD        | Han et al. 2016        |
|                                                          | Salix nigra              | Videväxter               |              | GOD        | Kuzovkina et al. 2004  |
|                                                          | Salix mucronata          | Videväxter               |              | MINDRE GOD | El-Mahrouk et al. 2019 |
|                                                          |                          |                          |              |            |                        |

## 5.2 Dagvattenlösningar

Syftet med detta arbete har varit att lyfta fram en lättillgänglig växtlista för hyperackumulatorer och ackumulatorer av koppar, som i sin tur kan implementeras via öppna dagvattenlösningar i urbana områden. Där medvetna växtval kan bistå i att låta ämnet koppar återgå i ett cirkulärt system, inte som en förorening utan som en resurs.

En fördel med att placera och använda tekniken fyto Remediering i urbana miljöer är det faktum att det oftast är några grader varmare i urbana miljöer. Med en hög andel hårdgjord yta, minskad evaporation och en stadsplanering som skapar smala dalgångar i en urban geometri, bildas så kallade urbana värmeöar (Debbage & Shephard 2015). Eftersom flertalet av kärleväxterna på växtlistan är gynnsamma av ett varmare klimat, kan det vara fördelaktigt att placera tekniken fyto Remediering i urbana områden, då dessa kärleväxter har en större chans för en lyckad etablering. Ovanjordiska ståndorts parametrar gör både städer och urbana miljöer mycket lämpliga för att kultivera växter i (Sjöman & Slagstedt 2015: 564).

Användandet av öppna dagvattenlösningar är även mer ekonomiskt fördelaktigt jämfört med konventionella underjordiska reningsanläggningar. Då det är gynnsamt att lokalt fördröja dagvattenflöden och avskilja föroreningar på plats genom öppna dagvattenlösningar, då dessa öppna dagvattenlösningar även underlättar framtida förvaltning (Stahre 2004: 14). Nedan illustreras två typer av öppna dagvattenlösningar med växtmaterial som återfinns i växtlistan.

### 5.2.1 Cirkulationsplats



Figur 6 visar ett illustrativt montage av en cirkulationsplats och diken i anslutning med växtmaterial från växtlistan. Hyper-ackumulatorer: *Verbascum thapsus*, *Epilobium hirsutum*, *Ophiopogon japonicus*, *Helianthus annuus*, *Hydrangea paniculata*, *Baccharis sarothroides* Ackumulatorer: *Populus nigra*, *Convolvulus arvensis*, *Brassica napus*, *Glaucium flavum*, (Illustration: Sara Karlmark Persson)

Fördelen med cirkulationsplatser är att dessa erbjuder många och frekventa inbromsningar från fordon, vilket bidrar med mer utsläpp av koppar. Nackdelen är att det kan vara en osäker arbetsmiljö, då dessa är trafikutsatta områden.

### 5.2.2 Regnbädd



Figur 7 visar ett illustrativt montage av en regnbädd i urban miljö med växtmaterial från växtlistan. Hyper-Akkumulatorer: *Papadaver dubium*, *Tagetes erecta*, *Minuartia recurva*, *Ricinus communis*, *Calendula officinalis* Akkumulatorer: *Miscanthus floridulus* (Illustration: Sara Karlmark Persson)

Fördelen med regnbäddar är att dessa erbjuder inbromsningar från fordon. Växtmaterialet kan få större fokus och eftersom dessa lösningar ofta är placerade där det rör sig många människor. Därutöver kan platsen uppfylla ett pedagogiskt och informativt syfte kopplat till tekniken fyto Remediering. Nackdelen är att kopparutsläpp inte förekommer i lika hög grad som vid trafikerade cirkulationsplatser.

## 6. Diskussion

Resultatet av arbetets litteraturstudie resulterade i en växtlista (se *tabell 1 & 2*) med ackumulatorer och hyper-ackumulatorer av koppar härdiga i nordiskt klimat, som i sin tur illustrerades i två exempel på öppna dagvattenlösningar. Arbetets frågeställning lyder:

- Vilka arter och sorter av kärlväxter är aktuella för att använda i en icke anaerob dagvattenlösning i ett nordiskt klimat och innehar lämpliga egenskaper för att kunna skördas? Vilka av dessa kärlväxter är i sin tur hyper-ackumulatorer och ackumulatorer av ämnet koppar?

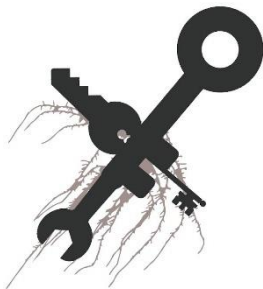
Frågeställningen besvarades till viss del av växtlistan med kravställda selektionskriterier. Dock kvarstår det luckor som arbetet inte fyller. Det handlar om metoden litteraturstudie, utmaningar med tekniken fyto Remediering samt hur det viktiga skötselperspektivet behöver uppmärksammas ytterligare: där teorin och praktiken behöver närma sig varandra.

Arbetets resultat betyder rent konkret att i teorins sfär, där tanken att använda tekniken fyto Remediering i dagvattenlösningar och att använda sig av medvetna växtval i form av hyper- ackumulatorer och ackumulatorer är fullt möjlig. Men i praktiken finns det fler utmaningar att ta i beaktning. Detta framför allt kopplat till hur en eventuell skördning och extrahering av ämnet koppar bör gå till, för att ekonomiskt försvara användandet av tekniken fyto Remediering i ett cirkulärt kretslopp.

Nedan diskuteras tekniken fyto Remediering och resultatet kritiskt. Arbetet sätts i ett större sammanhang och diskuterar samhällsetiska aspekter tillika hållbarhetsaspekter kopplat till ämnet. Metodvalet belyses även och framför hur detta kan ha påverkat resultatet.

## 6.1 Skötselaspekten av tekniken fyto remediering

Bevisligen har det visat sig vara ett väldigt stort steg från att ta tekniken fyto remediering från att fungera i teorins sfär till att fungera i praktiken. Mycket pekar på att det är i själva förvaltningen och skötselskedet där de största utmaningarna finns (Kennen & Kirkwood 2015: 59). Kanske är det därför som tekniken fortfarande inte riktigt har slagit igenom, det är ett för stort glapp mellan teori och praktik. En målsättning med arbetet har varit att belysa skötselaspekten där tanken är att belysa det cirkulära sammanhang tekniken kan användas inom, och ta ett helhetsgrepp på hållbarhetsarbetet där den ekonomiska, sociala och ekologiska aspekten inkorporeras. För att närma sig arbetets målsättning, vad behövs för att tekniken fyto remediering ska lyckas i praktiken? Inom ramen för detta arbete har två nycklar identifierats för att kunna ta tekniken fyto remediering ur dess teoretiska sfär och ut i en lyckad praktik.



NYCKEL 1: Att arbeta tvärvetenskapligt och tvärs över yrkesroller verkar vara en nyckel, där rätt kompetens finns med från tidiga skeden tills dess att det slutgiltiga målet att nå ett cirkulärt kretslopp av material är nått. Kennen och Kirkwood (2015: 59) beskriver behovet av att arbetet som landskapsarkitekt eller landskapsdesigner kräver samarbete med kompetens som är mer insatt i ämnet fyto remediering för resultatet ska bli lyckat.

Figur 8 visar nyckel 1.

(Illustration: Sara Karlmark Persson)



NYCKEL 2: Att börja i liten skala för att se om tekniken är gynnsam och applicerbar för förvaltning på lokal, exempelvis kommunal, nivå. Att testa tekniken via en dagvattenlösning i ett urbant område kan vara en bra start i liten skala. Författarna Kennen och Kirkwood beskriver vidare att småskaliga projekt där tekniken först testats kan vara en framgångsnyckel. Mycket beroende på att den ekonomiska risken är betydligt mindre om tekniken används i mindre projekt (2015: 59).

Figur 9 visar nyckel 2.

(Illustration: Sara Karlmark Persson)

## 6.2 Växtmaterialet

### 6.2.1 Växtmaterialet kopplat till resultatet: Växtlistan

En stor utmaning i praktiken med tekniken fytoextraktion är att det kan vara svårt att få tag i rätt växtart eller sort. Flertalet av kärlväxterna representerade på arbetets växtlista kan bli utmanande att få tag i. Eftersom det är hyper-ackumulatorer och ackumulatorer av det specifika ämnet koppar, är betydelsen att det är rätt växtsort eller art av yttersta vikt. Författarna Kennen och Kirkwood uppmärksammar även denna brist kopplat till tekniken, att det kan vara svårt att få tag i växtmaterial (2015: 9).

Att introducera nya växtarter för första gången i ett nytt område, innebär alltid en risk att växtmaterialet kan te sig invasivt, detta går inte att bortse i detta fall heller. Därför kan det vara en god idé att börja i en liten skala med nytt växtmaterial för att undvika spridning av en potentiell invasiv växt för att sedan utvärdera om växten innebär ett hot för den lokala floran. På Naturvårdsverkets lista över invasiva främmande växtarter inom Europa återfinns inga av växtsorterna som befinner sig på arbetets växtlista (Naturvårdsverket 2019). På ArtDatabankens risklista över kärlväxter som kan komma att utgöra en risk för inhemsk biologisk mångfald återfinns lignosen *Spirea japonica* (ArtDatabanken 2018) som även finns med på växtlistan, detta kan vara värt att benämna.

En annan aspekt av tekniken fytoextraktion av ämnet koppar är att kopparen oftast ansamlas i kärlväxters rötter (Rehman et al. 2015). Detta gör att det, ur ett skötselperspektiv, är mer utmanande att extrahera kopparen från biomassan, då majoriteten av kopparen befinner sig under jord. Flertalet av kärlväxterna som är inkluderade på växtlistan ansamlar också koppar i rötterna, men i enlighet med selektionskriterierna ansamlas huvuddelen av kopparen ovan jord. Resultatet är att växtmaterialet inte tar sig så effektivt som det hade kunnat göra om all koppar ansamlas ovan jord. Fler studier på hyper-ackumulatorer av koppar bör därför inväntas för att förbättra växtlistan och göra tekniken mer effektiv för att kunna motivera användandet av tekniken i ett cirkulärt perspektiv. Majoriteten av studierna (ca 70%) kopplat till hyper-ackumulatorer och ackumulatorer av koppar på växtlistan är gjorda under det senaste decenniet, vilket säger att ämnet är förhållandevis ungt men det betyder också att den har en stor utvecklingspotential.

### 6.2.2 Växtmaterialet i nordiskt klimat

En annan utmaning som växtmaterialet på växtlistan kan stöta på i praktiken är huruvida dessa är hårdiga i nordiskt klimat. Gällande flertalet av växterna saknas tillräckligt med data för att avgöra om de har en god hårdighet eller ej. Det är av yttersta vikt att växtmaterialet är hårdigt för att ha en god etablering för att i sin tur kunna ackumulera tillräckligt med koppar för att motivera användandet av tekniken. Därutöver går det att ifrågasätta användandet av tekniken fytoextraction och fytoextraktion i nordiskt klimat på grund utav det enkla faktumet att nordiska länder har olika växtsäsonger. Vilket innebär att vi har säsonger då växtmaterialet inte är tillräckligt effektivt eller överhuvudtaget kan utnyttjas av tekniken fytoextraction. Tekniken är helt enkelt inte optimal i ett nordiskt klimat med korta växtsäsonger. Detta i jämförelse med tropiska klimat, där tekniken fytoextraction kan användas mycket mer effektivt året runt.

## 6.3 Öppna dagvattenlösningar

Dagvattenlösningar där fokus ligger på estetiska kvaliteter i kombination med tekniken fytoextraction kan tekniken fytoextraction bli lidande till förmån att ackumulatorer används och inte enbart hyper-ackumulatorer. Däremot vinner dessa dagvattenlösningar, med fokus på estetiska kvaliteter, ett pedagogiskt syfte genom att inkorporera tekniken där allmänheten rör sig.

Öppna dagvattenlösningar där fokus på användandet av enbart hyper-ackumulatorer kan ses som mer optimalt ur sammanhanget cirkulär ekonomi. Måhända är det mest optimalt att börja i denna ände för att motivera användandet av tekniken fytoextraction i öppna dagvattenlösningar. Fokus bör ligga på öppna dagvattenlösningar där funktionen till en början trumfar formen. För att optimera upptaget av koppar bör de öppna dagvattenlösningarna placeras i relation till fordonstrafik där det sker många och konsekventa inbromsningar.

En annan utmaning som följer arbetet där medvetet fokus enbart läggs på föroreningen koppar, är att i dagvatten befinner sig många andra föroreningar (Butler et al. 2018 se Viklander et al. 2019: 14). Det är problematiskt att enbart använda sig utav hyper-ackumulatorer av koppar eftersom då förbises andra föroreningar som ansamlas i de öppna dagvattenlösningarna vilka även dessa är toxiska. Här finns det utrymme för vidareutveckling av arbetet.

Arbetet är även avgränsat till att anpassa sig efter öppna dagvattenlösningar som inte står under anaeroba förhållanden under längre perioder. Under arbetet med litteraturstudien och växtlistan var det många studier som aktivt valdes bort då växtmaterialet var av akvatisk sort. Det finns utrymme för att titta vidare på akvatiska växter som passar i öppna dagvattenlösningar med en permanent vattenspiegel. Framför allt kanske detta är av vikt eftersom koppar är extremt toxiskt för vattenlevande organismer (Rehman et al. 2019).

Utöver att arbetet är begränsat till öppna dagvattenlösningar, har fokus medvetet ej gått in på olika typer av odlings-substrat eftersom detta skulle innebära att arbetets omfång skulle bli alldeles för omfattande. Däremot går det att lyfta viktiga aspekter av det som sker under jord, där det finns plats för vidareutveckling.

## 6.4 Utvecklingsarbete: Under Jord

Vilket odlingssubstrat och dess egenskaper är av vikt för hur föroreningar beter sig i relation till ackumulerande växtmaterial. Bland annat finns det evidens som visar på att kopparen i marken är beroende av markens pH - nivå och påverkar i sin tur upptaget av detta ämne. En mer basisk miljö är mer gynnsamt för upptaget av koppar (Rehman et al. 2019). En skötselinsats för att gynna upptaget av koppar kan därför vara att kalka odlings-substratet för att höja pH-nivån.

Användandet av biokol verkar även gynna upptaget av bland annat koppar hos ackumulerande växtmaterial (Li et al. 2020). Det finns även belägg för att kombinationen av maskar och svamp i odlings-substratet gynnar upptaget av koppar (Fu et al. 2021). En heterogen blandning av metaller i odlingssubstratet kan bidra till att kopparen inte enbart tas upp av rötterna utan även i skotten ovan mark (Kutrowska et al. 2017).

En annan aspekt utav användandet av tekniken fytoremediering handlar om dagvattenlösningarnas djup. Eftersom de ackumulerande växterna tar upp kopparen i rotzonen, bör djupet på dagvattenlösningarna ses över speciellt i relation till växternas förmåga att bilda djupgående rötter. De ackumulerade växterna som har förmågan att bilda mer djupgående rötter bör därför prioriteras, eller anpassas till dagvattenlösningens djup.

## 6.5 Etiska, Samhälleliga och Hållbarhetsaspekter

Kopplat till etik och levande organismer finns det en stor utmaning med tekniken fyto Remediering. Studier har visat att insekter som lever av och pollinerar ackumulerande växter påverkas negativt, eftersom de tar upp det ackumulerade ämnet (Garrouj et al. 2018). I urbana områden syns det hur honungsbin blir indirekt påverkade av föroreningar som är i omlopp, där ämnet koppar har visat sig vara mer tillgängligt i växtmaterialet, då det har en högre rörlighet vilket påverkar honungsbina negativt i större utsträckning (Hladun et al. 2015). Att det finns flertalet föroreningar kopplat till människans antropogena processer och i urbana områden har slagits fast tidigt i detta arbete. Närvaron av föroreningar finns i dagsläget och kommer att finnas hur vi än vrider och vänder på det. Om föroreningarna inte återfinns hos pollinatörer i urbana områden återfinns de i vatten där det finns akvatiskt liv. Vid sådana svåra vägval kanske det är viktigt att göra prioriteringar, men hur dessa bör göras kan arbetet inte svara på. Utan belyser de utmaningar som finns med tekniken fyto Remediering.

Under resultatdelen visar arbetet på hur tekniken fyto Remediering kan användas i två olika dagvattenlösningar. Kravet att dagvattenlösningarna bör ligga i anslutning till fordonstrafik är kopplat till att kopparutsläppen är dominerande i dessa områden. Men kopplat till social hållbarhet så finns det utmaningar kopplat till säkerhet och skötselarbete att ta i beaktning. Hur kan arbetsförhållandena säkerställas när tekniken kräver manuell extrahering av växtmaterial i trafikerade områden. Därutöver är det en behandling av förorenat material, detta är något som är viktigt att belysa ytterligare.

Kopplat till samhälleliga aspekter är kommuner med urbana områden oftast mer tätbefolkade, detta innebär att kommunen har en större ekonomisk pott, då dessa kommuner genererar mer inkomstskatt. Alltså betyder detta att dessa kommuner har ett klart ekonomiskt försprång till skillnad från kommuner i lantlig miljö. Det finns en obalans i hur tekniken fytoextraktion och cirkulär ekonomi kan användas då arbetet främst riktar in sig på urbana områden och därför förbises de lantliga områdena. Kommuner som befinner sig i varmare växtzoner har även ett klart försprång kopplat till tekniken fyto Remediering ur ett cirkulärt sammanhang. Eftersom kommuner på sydligare breddgrader har en längre växtsäsong, vilket betyder mer ackumulation av ämnet koppar, än kommuner som befinner sig i kallare växtzoner. Detta pekar på att tekniken fyto Remediering ger vissa kommuner fördelar baserat på dess geografiska position och andel hårdgjord yta.

Precis som tekniken fytoremediering är en disciplin som verkar tvärvetenskapligt. Är cirkulär ekonomi komplext och kräver en tvärvetenskaplig kompetens för att nå hela vägen runt. Att länka ihop dessa två, fytoremediering och cirkulär ekonomi, är i teorin att länka samman ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet. Där tekniken ses som en grön metod för sanering och rening av områden vilket gynnar den ekologiska aspekten. Genom att prioritera arbetskraft och yrkesmässig kompetens framför optimering i en linjär ekonomisk modell gynnas en social hållbarhet och skapar värde och arbetstillfällen. Det finns även ekonomiska incitament genom användningen av fytoextraktion och extrahering av utvalt ämne, vilket onekligen gynnar den ekonomiska aspekten av hållbarhetssnurran.

## 6.6 Vikten av en tydlig avgränsning

Arbetet är tydligt avgränsat. Valet att avgränsa arbetet tydligt och tidigt i processen beror på att tidigare studentarbeten inom ämnet fytoremediering har varit väldigt ambitiösa och tagit sig an tekniken fytoremediering med ett helhetsgrepp. Vilket resulterat i att arbetets omfång blivit för omfattande och måhända ett resultat som inte blev vad det var tänkt från början på grund av ämnets komplexitet (Classon 2015: 77-78; Falk & Ronnheden 2010: 73; Holmberg 2020: 39). Detta arbete är smalare då det både är avgränsat till en förorening, det är begränsat till en geografisk plats, det har begränsat sig till framför allt en teknik inom fytoremediering (fytoextraktion) och har placerat allt detta i kontexten av en cirkulär ekonomi. En tydlig avgränsning visade sig vara viktigt för att få ihop ett relevant arbete under den givna tidsramen. Detta eftersom ämnet fytoremediering bevisligen verkar tvärvetenskapligt, är komplext och är emellanåt väldigt brett.

Men den snäva avgränsningen gör också att viktiga aspekter som exempelvis odlingssubstrat och dess inneboende egenskaper prioriteras bort. Kanske missas viktiga resultat genom att avgränsa sig på det sättet som arbetet har gjort. Nordiskt klimat är även i sig en ganska bred klimatzon, i efterhand hade arbetet gynnats av att begränsa sig till en stad i Sverige för att kunna spetsa växtmaterialet ytterligare och sin tur göra tekniken mer tillgänglig i praktiken.

Hur arbetet avgränsat sig påverkar resultatet men metodvalet är även något som påverkar resultatet, nedan diskuteras metodvalet kritiskt.

## 6.7 Metodreflektion

Metoden att använda sig utav en litteraturstudie med en väl tilltagen teoretisk bakgrund, grundades framför allt i det faktum att det i dagsläget inte existerar en litteraturstudie på hyper-ackumulatorer och ackumulatorer av det specifika ämnet koppar kopplat till ett nordiskt klimat.

Litteraturstudien i sig begränsas av användandet av plattformen *Web of Science*, alltså går det inte att förbise att det finns fler vetenskapliga artiklar som tagit fram ackumulatorer och hyper-ackumulatorer av koppar via andra plattformar. Detta påverkar resultatet på det sätt att det finns ett bortfall av studier och växtmaterial som inte är med i arbetet.

Användandet av specifika söktermer påverkar även resultatet, även om söktermerna som använts i detta arbete har haft som ambition att finkamma plattformen efter relevanta artiklar, går det inte att bortse från det faktum att det finns vetenskapliga artiklar som använt sig av andra ord och formuleringar än det som söktes efter. Alltså kan det finnas bortfall av studier även här.

## 7. Slutsats

Sammanfattningsvis innehåller arbetets resultat Växtlistan, ett brett spektra av hyper-ackumulatorer och ackumulatorer av koppar, vilka är applicerbara i öppna dagvattenlösningar i ett nordiskt klimat. Dock går arbetet på bet vid det cirkulära kretsloppet, detta eftersom exakt hur kopparen kan extraheras och separeras från andra föroreningar ur växternas biomassa är, inom arbetets omfång, inte utrett. För att kunna ta detta arbete vidare hörsammar arbetet till NYCKEL 1 (figur 8). Författaren erkänner sina begränsningar och rekommenderar vidare att arbeta tvärvetenskapligt. För att lösa problemet med hur kopparen kan utvinna och separeras ur växternas biomassa på ett effektivt sätt identifieras behovet av kompetens inom ämnet kemi. Detta för att utröna exakt hur en extrahering av ämnet koppar och separation från andra föroreningar från växtmaterialet ska gå till.

Slutledningsvis behövs även mer tid för att utröna om tekniken kan vara ekonomiskt försvarbar i dagsläget. Det behövs större omfattande studier kopplat till phytomining och exempel på större kommersiella projekt för att utvinna metaller via fytoextraktion för att motivera användandet av tekniken. Men även om behovet av ytterligare studier behövs för att argumentera för användandet kommersiellt, hörsammas NYCKEL 2 (figur 9). Som identifierar projekt i mindre lokal skala för att utröna om tekniken är applicerbar i ett lokalt skötselperspektiv och om det finns en lukrativ möjlighet för exempelvis en kommun att applicera tekniken i en öppen dagvattenlösning.

Även detta arbete har hamnat i det som verkar vara tekniken fyto Remediering stora utmaning, hur tar vi det vidare från att fungera i teorin till att fungera i praktiken? För att ta detta arbete vidare behövs studier kopplat till hur kopparen kan extraheras ur växternas biomassa och sedan separeras så att vi står kvar med råmaterialet koppar. För att sedan kunna implementeras i ett hållbart arbetssätt och effektivt skötselsystem, för att sedan kunna koppla på tekniken i en cirkulär ekonomi. Där cirkeln sluts både i teorin och i praktiken.

## Referenser

- Alm, H. & Åström, A. (2014). *Kommunal dagvattenhatring- juridiska och finansiella aspekter*. (2014:07). Bromma: Svenskt Vatten Utveckling.
- Antoniadis, V., Shaheen, S.M., Stärk, H., Wennrich, R., Levizou, E., Merbach, I. & Rinklebe, J. (2021). Phytoremediation potential of twelve wild plant species for toxic elements in a contaminated soil. *Environment International*. 146, 106233.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106233>.
- ArtDatabanken (2018). *Klassificering av främmande arters effekter på biologisk mångfald i Sverige – ArtDatabankens risklista*. (ArtDatabanken Rapporterar 21). Uppsala: ArtDatabanken SLU.
- Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z.A., Ashraf, S. & Asghar, H.N. (2019). Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 174, 714 - 727.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068>
- Babatunde, J.A., Banothile, C.E.M. & Abayneh, A. A. (2021). Phytomining of valuable metals: status and prospective-a review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 1 - 21.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1917557>
- Baker, A.J.M. (1981). Accumulators and excluders- strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*. 3(1 - 4), 643 - 654.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/01904168109362867>.
- Baker, A. J. M., Brooks, R. & Reeves, R. D. (1988). Growing for Gold and Copper and Zinc. *New Scientist*. 44 - 48.
- Baker, A.J.M. & Brooks, R. R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*. 1(2), 81 - 126.

- Barlow, C., Bendell, L. I., Duckham, C., Faugeron, D. & Koo, V. (2014). Three-dimensional profiling reveals trace metal depositional patterns in sediments of urban aquatic environments: A case study in Vancouver, British Columbia, Canada. *Water, Air, & Soil Pollution*. 225, 1 - 13.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1856-y>
- Blansett, K. L. & Hamlett, J. M. (2013). Runoff ratios for five, small urban karst watersheds under different levels of imperviousness. *Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress 2013*. 3196 - 3205.  
DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784412947.316>
- Brambila, S. (2020). *Support for the conceptual design stage of effective and resource-efficient offerings: A pragmatic and cross-disciplinary approach*. Diss. Linköping: Linköpings universitet.  
DOI: <https://doi.org/10.3384/diss.diva-170742>
- Burges, A., Alkorta, I., Eplede, L. & Garbisu, C. (2018). From phytoremediation of soil contaminants to phytomanagement of ecosystem services in metal contaminated sites. *International Journal of Phytoremediation*. 20(4), 384 - 397.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1365340>
- Classon, S. (2015). *ATT RENA MARK MED VÄXTER En undersökning av fytoremediering som reningsmetod samt tillämpningsprinciper*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Landskapsarkitektur.
- Chaney, R.L., Angle, J.S., Broadhurst, C. L., Peters, C.A., Tapper, R.V. & Sparks, D.L. (2007). Improved Understanding of Hyperaccumulation Yields Commercial Phytoextraction and Phytomining Technologies. *Journal of Environmental Quality*. 36(5), 1429 - 1443.  
DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0514>
- Davis, A.P., Shokouhian, M. & Ni, S. (2001). Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere*. 44(5), 997 - 1009.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00561-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00561-0)
- Debbage, N. & Shepherd, J.M. (2015). The urban heat island effect and city contiguity. *Computers environment and urban systems*. 54, 181 - 194.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.08.002>
- Ellen MacArthur Foundation (2021). *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*. Ellen MacArthur Foundation.
- EPA – United States Environmental Protection Agency (2000). *Introduction to Phytoremediation*. (EPA/600/R-99/107) Cincinnati: EPA <https://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf> [2022-05-05]

- Falk, M. & Ronnheden, J. (2010). *Succession; Landskapsarkitekten & fyto Remedieringen*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Landskapsarkitektur.
- Fu, L., Zhang, L., Dong, P., Wang, J., Shi, L., Lian, C., Shen, Z. & Chen, Y. (2021). Remediation of copper-contaminated soils using *Tagetes patula* L., earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi. *International Journal of Phytoremediation*. 1 - 13.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.2002809>
- Garrouj, M., Marchand, L., Frayssinet, M., Mench, M. & Castagneyrol, B. (2018). Trace element transfer from two contaminated soil series to *Medicago sativa* and one of its herbivores, *Spodoptera exigua*. *International Journal of Phytoremediation*. 20(7), 650 - 657.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1374342>
- Gerhardt, K.E., Gerwing, P.D. & Greenberg, B.M. (2017). Opinion: Taking phytoremediation from proven technology to accepted practice. *Plant Science*. 256, 170 - 185.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.016>
- Ghosh, M. & Singh, P. S. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. *Applied Ecology and Environmental Research*. 3(1), 1 - 18.  
DOI: [10.15666/aeer/0301\\_001018](https://doi.org/10.15666/aeer/0301_001018)
- Globala målen (2021). *12 hållbar konsumtion och produktion*.  
<https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-12-hallbar-konsumtion-och-produktion/> [2022-05-05]
- Hladun, K.R., Parker, D.R. & Trumble, J.T. (2015). Cadmium, Copper, and Lead Accumulation and Bioconcentration in the Vegetative and Reproductive Organs of *Raphanus sativus*: Implications for Plant Performance and Pollination. *Journal of Chemical Ecology*. 41(4), 386 - 395.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-015-0569-7>
- Heilmeyer, H. & Wiche, O. (2020). The PCA of phytomining: principles, challenges and achievements. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 15(1), 37 - 42.  
DOI: [10.26471/cjees/2020/015/106](https://doi.org/10.26471/cjees/2020/015/106)
- Hogland, W., Burlakovs, J., Mutafela, R. & Jani, Y. (2019). From glass dump to phytoremediation park. *Institute of Physics*. 390, 1 - 4.  
DOI: [10.1088/1755-1315/390/1/012007](https://doi.org/10.1088/1755-1315/390/1/012007)

- Holmberg, C.J. (2020). *Fytoremediering – Växter som metod för att sanera schaktmassor från föroreningar vid järnväg i Sverige*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Landskapsarkitektur.
- Hulskotte, J. H., van der Gon, H. A., Visschedijk, A. J. & Schaap, M. (2007). Brake wear from vehicles as an important source of diffuse copper pollution. *Water Science and Technology*. 56, 223 - 231.  
DOI: 10.2166/wst.2007.456
- Hwang, H.M., Fiala, M.J., Park, D. & Wade, T.L. (2016). Review of pollutants in urban road dust and stormwater runoff: part 1. Heavy metals released from vehicles. *International Journal of Urban Sciences*. 20(3), 334 - 360.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/12265934.2016.1193041>
- Hwang, H.M. & Foster, G.D. (2006). Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff flowing into the tidal Anacostia River Washington, DC, USA. *Environmental Pollution*. 140(3), 416 - 426.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.08.003>
- IPCC (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Intergovernmental panel on climate change.
- Kara, A., Yildirim, D. & Tunc, G.I. (2022). Market efficiency in non-renewable resource markets: evidence from stationarity tests with structural changes. *Mineral Economics*. 1 - 12.  
DOI: [10.1007/s13563-022-00312-8](https://doi.org/10.1007/s13563-022-00312-8)
- Kennen, K. & Kirkwood, N. (2015). *Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design*. Abingdon: Routledge.
- Kutrowska, A., Malecka, A., Piechalaka, A., Masiakowskia, W., Hanć, A., Barańkiewicz, D., Andrzejewska, B., Zbierska, J. & Tomaszewska, B. (2017). Effects of binary metal combinations on zinc, copper, cadmium and lead uptake and distribution in *Brassica juncea*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 44, 32 - 29.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.05.007>
- Li, X., Xiao, J., Salam, M.M.A., Ma, C. & Chen, G. (2020). Impacts of bamboo biochar on the phytoremediation potential of *Salix psammophila* grown in multi-metals contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*. 23(4), 387 - 399.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1816893>

- Länsstyrelsen (2014). *RAPPORT FRÅN GLASRIKEUPPDRAGET N2012/1667/RT*. (2014:30). Kronobergs Län: Länsstyrelsen.
- Malmqvist, P.A. (1983). Urban stormwater pollutant sources. Chalmers tekniska högskola, Doktorsavhandling.
- McCutcheon, S.C. & Schnoor, J.L. (2003). *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Miljö- och samhällsbyggnadsdepartementet (2005). *Allmänna vattentjänster*. (Regeringens proposition 2005/06:78) Stockholm: Regeringskansliet
- Nationalencyklopedin (u.å.). *Annuell*.  
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/annuell>  
 [2022-05-05]
- Naturvårdsverket 2019. *Invasiva främmande arter på EU:s förteckning – Växter*.  
<https://www.naturvardsverket.se/contentassets/09154a06ce7e4e028f5873db1287e464/eu-listade-invasiva-frammande-arter-vaxter.pdf>  
 [2022-05-05]
- Naturvårdsverket (u.å.). *Ekosystemtjänster*.  
<https://www.naturvardsverket.se/ekosystemtjanster> [2022-05-05]
- Novotny, V., Bartosova, A., O'Reilly, N. & Ehlinger, T. (2005). Unlocking the relationship of biotic integrity of impaired waters to anthropogenic stresses. *Water Research*. 39, 184 - 198.  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.09.002>
- Pandey, V.P. & Bajpaj, O. (2018). *Phytomanagement of Polluted Sites: Market Opportunities in Sustainable Phytoremediation*. Elsevier  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00001-6>
- Rehman, M., Liu, L., Wang, Q., Muhammad, H.S., Bashir, S., Ullah, S. & Peng, D. (2019) Copper environmental toxicology, recent advances, and future outlook: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 26, 18003 - 18016.  
 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05073-6>
- SFS 1998:808. *Miljöbalken*. Stockholm: Miljödepartementet
- SFS 2010:900. *Plan- och bygglagen*. Stockholm: Finansdepartementet SPN BB
- SFS 2006:412. *Lagen om allmänna vattentjänster*. Stockholm: Miljödepartementet

- SGU (2022). *Metall - och mineralåtervinning*.  
<https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/>  
 [2022-05-05]
- SGU (2020). *Mineralnäring och samhälle*.  
<https://www.sgu.se/mineralnaring/mineralnaring-och-samhalle/>  
 [2022-05-05]
- Sheoran, V., Sheoran, A.S. & Poonia, P. (2013). Phytomining of gold: A review. *Journal of Geochemical Exploration*. 128(42 - 50).  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.01.008>
- Sjöman, H. & Slagstedt, J. (2015). *Träd i Urbana Landskap*. Lund: Studentlitteratur
- Slima, D.F. & Ahmed, D.A. (2020). Trace Metals Accumulated in Pea Plant (*Pisum sativum*L.) as a Result of Irrigation with Wastewater. *Journal of soil science and plant nutrition*. 20(4), 2749 - 2760.  
 DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00341-8>
- Stahel, W. (2016). The circular economy. *Nature*. 531, 435 - 438.  
 DOI: <https://doi.org/10.1038/531435a>
- Stahre, P. (2004). *En långsiktigt hållbar dagvattenhantering: planering och exempel*. Stockholm: Svenskt vatten.
- Stockholms stad 2020. *Stockholms stads kemikalieplan 2020-2023*. ISBN: 978-91-85125-59-3. Stockholm: Stockholms stad
- Svenskt Vatten (2011). *Hållbar dag- och dränvattenhantering: Råd vid planering och utformning*. (Publikation P105). Bromma: Svenskt Vatten.
- Sveriges miljömål (2021). *Sveriges 16 miljökvalitetsmål*.  
<https://www.sverigesmiljomal.se/> [2022-05-05]
- Tranfield, D., Denyer, D. & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*. 14, 207 - 222.  
 DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- UN (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations.
- UNECE (2021). *Natural Resource Nexuses in the ECE region*. United Nations Economic Commission for Europe.

- UNESCO (2012). *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk* (Report 4, Vol. 1). Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Vattenmyndigheterna (u.å). *EU:s vattendirektiv*.  
<https://www.vattenmyndigheterna.se/vattenforvaltning/eusvattendirektiv.html> [2022-05-05]
- Viklander, M., Österlund, H., Müller, A., Marsalek, J. & Borris, M. (2019). *Kunskapssammanställning - Dagvattenkvalitet*. (2019-2). Bromma: Svenskt Vatten Utveckling.
- Wan, X., Lei, M. & Chen, T. (2016). Cost-benefit calculation of phytoremediation technology for heavy-metal-contaminated soil. *Science of The Total Environment*. 563-564, 796 - 802.  
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.080>
- Willey, N. (2007). *Phytoremediation: methods and reviews*. New Jersey: Humana.
- Ye, Z., Yan, Q., Chen, X. & Guo, J. (2016). Analysis on Pricing Mechanism of Global Copper. *Advances in Economics Business and Management Research*. 22, 699 - 703.[4th International Education, Economics, Social Science, Arts, Sports and Management Engineering Conference (IEESASM) Augusti 13-14, Yinchuan, China]

## Referenser Växtlista

- Alizadeh, A., Ghorbani, J., Motamedi, J., Vahabzadeh, G., Edraki, M. & van der Ent, A. (2021). Metal and metalloid accumulation in native plants around a copper mine site: implications for phytostabilization. *International Journal of Phytoremediation*. 1 - 11.  
 DOI: [10.1080/15226514.2021.2011831](https://doi.org/10.1080/15226514.2021.2011831)
- Andreazza, R., Bortolon, L., Pieniz, S., Giacometti, M., Roehrs, D.D., Lambais, M.R. & Camargo, F.A.O. (2011). Potential Phytoextraction and Phytostabilization of Perennial Peanut on Copper-Contaminated Vineyard Soils and Copper Mining Waste. *Biological Trace Elements Research*. 143(3), 1729 - 1739.  
 DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-011-8979-z>
- Baycu, G., Tolunay, D., Ozden, H., Csatari, I., Karadag, S., Agba, T. & Rognes, S.E. (2015). An Abandoned Copper Mining Site in Cyprus and Assessment of Metal Concentrations in Plants and Soil. *International Journal of Phytoremediation*. 17(7), 622 - 631.  
 DOI: [10.1080/15226514.2014.922929](https://doi.org/10.1080/15226514.2014.922929)

- Cambrolle, J., Mateos-Naranjo, E., Redondo-Gomez, S., Luque, T. & Figueroa, M.E. (2011). Growth, reproductive and photosynthetic responses to copper in the yellow-horned poppy, *Glaucium flavum* Crantz. *Environmental and Experimental Botany*. 71(1), 57 - 64.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.10.017>
- Collier, M.H., Boughter, S.A., Dameron, M.P., Gribbins, K.M., Keane, B., Shann, J.R. & Rogstad, S.H. (2017). Uptake and distribution of copper, lead, and zinc in dandelions (*Taraxacum officinale*; Asteraceae) sampled from polluted and nonpolluted soils. *Journal of the Torrey Botanical Society*. 144(1), 47 - 57.  
DOI: <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-14-00015.1>
- Cuske, M., Karczewska, A., Galka, B. & Dradrach, A. (2016). Some adverse effects of soil amendment with organic materials-The case of soils polluted by copper industry phytostabilized with red fescue. *International Journal of Phytoremediation*. 18(8), 839 - 846.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1146227>
- Dahmani-Muller, H., van Oort, F., Gelie, B. & Balabane, M. (2000). Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. *Environmental Pollution*. 109(2), 231 - 238.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00262-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00262-6)
- Drzewiecka, K., Mleczek, M., Gasecka, M., Magdziak, Z., Budka, A., Chadzinikolau, T., Kaczmarek, Z. & Golinski, P. (2017). Copper and nickel co-treatment alters metal uptake and stress parameters of *Salix purpurea* x *viminalis*. *Journal of Plant Physiology*. 216, 125 - 134.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.04.020>
- El-Mahrouk, E.M., Eisa, E.A.H., Hegazi, M.A., Abdel-Gayed, M.E., Dewir, Y.H., El-Mahrouk, M.E. & Naidoo, Y. (2019). Phytoremediation of Cadmium-, Copper-, and Lead-contaminated Soil by *Salix mucronata* (Synonym *Salix safsaf*). *Hortscience*. 54(7), 1249 - 1257.  
DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14018-19>
- Forte, J. & Mutiti, S. (2017). Phytoremediation Potential of *Helianthus annuus* and *Hydrangea paniculata* in Copper and Lead-Contaminated Soil. *Water Air and Soil Pollution*. 228(2), 77.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3249-0>
- Gardea-Torresdey, J.L., Peralta-Videa, J.R., Montes, M., de la Rosa, G. & Corral-Diaz, B. (2004). Bioaccumulation of cadmium, chromium and copper by *Convolvulus arvensis* L.: impact on plant growth and uptake of nutritional elements. *Bioresource Technology*. 92(3), 229 - 235.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.002>

- Ghaderian, S.M. & Ravandi, A.A.G. (2012). Accumulation of copper and other heavy metals by plants growing on Sarcheshmeh copper mining area, Iran. *Journal of geochemical exploration*. 123, 25 - 32.  
DOI: [10.1016/j.gexplo.2012.06.022](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.06.022)
- Gonzaga, M.I.S., Santos, J.C.D., Ganassali, L.F., Fontes, P.T.N., Araujo, J.D. & Gonzaga, T.A.S. (2021). Copper uptake, physiological response, and phytoremediation potential of *Brassica juncea* under biochar application. *International Journal of Phytoremediation*. 24(5), 474 - 482.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1954875>
- Gonzalez-Valdez, E., Alarcon, A., Ferrera-Cerrato, R., Vega-Carrillo, H.R., Maldonado-Vega, M., Salas-Luevano, M.A. & Argumedo-Delira, R. (2018). Induced accumulation of Au, Ag and Cu in *Brassica napus* grown in a mine tailings with the inoculation of *Aspergillus niger* and the application of two chemical compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 154, 180 - 186.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.055>
- Goswami, S. & Das, S. (2017). SCREENING OF CADMIUM AND COPPER PHYTOREMEDIATION ABILITY OF *TARGETES ERECTA*, USING BIOCHEMICAL PARAMETERS AND SCANNING ELECTRON MICROSCOPY-ENERGY-DISPERSIVE X-RAY MICROANALYSIS. *Environmental toxicology and chemistry*. 36(9), 2533 - 2542.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.3768>
- Goswami, S. & Das, S. (2016). Copper phytoremediation potential of *Calandula officinalis* L. and the role of antioxidant enzymes in metal tolerance. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 126, 211 - 218.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.030>
- Han, Y., Wu, X., Gu, J., Zhao, J.Z., Huang, S.Z., Yuan, H.Y. & Fu, J.J. (2016). Effects of organic acids on the photosynthetic and antioxidant properties and accumulations of heavy metals of *Melilotus officinalis* grown in Cu tailing. *Environmental Science and Pollution Research*. 23(18), 17901 - 17909.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6920-x>
- Haque, N., Peralta-Videa, J.R., Jones, G.L., Gill, T.E. & Gardea-Torresdey, J.L. (2008). Screening the phytoremediation potential of desert broom (*Baccharis sarothroides* Gray) growing on mine tailings in Arizona, USA. *Environmental Pollution*. 153(2), 362 - 368.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.08.024>

- Jakovljević, K., Tomović, G., Baker, A.J.M., Durovic, S., Mihailovic, N., Lazarevic, P. & Lazarevic, M. (2022). Strategies of accumulation of potentially toxic elements in *Minuartia recurva* and *M. bulgarica*. *Environmental Science and Pollution Research*.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18370-w>
- Jiang, L.Y., Yang, X.E., Ye, Z.Q. & Shi, W.Y. (2003). Uptake, distribution and accumulation of copper in two ecotypes of *elsholtzia*. *Pedosphere*. 13(4), 359 - 366.
- Johansson, L., Xydias, C., Messios, N., Stoltz, E. & Greger, M. (2005). Growth and Cu accumulation by plants grown on Cu containing mine tailings in Cyprus. *Applied Geochemistry*. 20(1), 101 - 107.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2004.07.003>
- Juang, K.W., Lai, H.Y. & Chen, B.C. (2011). Coupling bioaccumulation and phytotoxicity to predict copper removal by switchgrass grown hydroponically. *Ecotoxicology*. 20(4), 827 - 835.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-011-0635-z>
- Kachout, S.S., Ben Mansoura, A., Mecherghi, R., Leclerc, J.C., Rejeb, M.N. & Ouerghi, Z. (2012). Accumulation of Cu, Pb, Ni and Zn in the halophyte plant *Atriplex* grown on polluted soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92(2), 336 - 342.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.4581>
- Kavousi, H.R., Karimi, M.R. & Neghab, M.G. (2021). Assessment the copper-induced changes in antioxidant defense mechanisms and copper phytoremediation potential of common mullein (*Verbascum thapsus* L.). *Environmental Science and Pollution Research*. 28, 18070 - 18080.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11903-9>
- Khalid, A., Farid, M., Zubair, M., Rizwan, M., Iftikhar, U., Ishaq, H.K., Farid, S., Latif, U., Hina, K. & Ali, S. (2020). Efficacy of *Alternanthera bettzickiana* to Remediate Copper and Cobalt Contaminated Soil Physiological and Biochemical Alterations. *International Journal Environmental research*. 14(3), 243 - 255.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s41742-020-00251-8>
- Kholodova, V.P., Volkov, K.S. & Kuznetsov, V.V. (2005). Adaptation of the Common Ice Plant to High Copper and Zinc Concentrations and Their Potential Using for Phytoremediation. *Russian Journal of Plant Physiology*. 52(6), 748 - 757.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11183-005-0111-9>

- Kuzovkina, Y.A., Knee, M. & Quigley, M.F. (2004). Cadmium and copper uptake and translocation in five willow (*Salix* L.) species. *International Journal of Phytoremediation*. 6(3), 269 - 287.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/16226510490496726>
- Lam, E.J., Keith, B.F., Montofre, I.L. & Galvez, M.E. (2018). Copper Uptake by *Adesmia atacamensis* in a Mine Tailing in an Arid Environment. *Air, Soil and Water research*. 11, 1 - 12.  
DOI: <https://doi.org/10.1177/1178622118812462>
- Liu, Z., Hamuti, A., Abdulla, H., Zhang, F.C. & Mao, X.F. (2016). Accumulation of metallic elements by native species thriving in two mine tailings in Aletai, China. *Environmental Earth Sciences*. 75(9), 1 - 12.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5594-5>
- Long, J., Tan, D., Deng, S. & Ming, L. (2018). Uptake and accumulation of potentially toxic elements in colonized plant species around the world's largest antimony mine area, China. *Environmental Geochemistry and Health*. 40(6), 2383 - 2394.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0104-1>
- Ma, W.J., Zhao, B. & Ma, J. (2019). Comparison of heavy metal accumulation ability in rainwater by 10 sponge city plant species. *Environmental Science and Pollution Research*. 26(26), 26733 - 26747.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05827-2>
- Mackie, K.A., Schmidt, H.P., Muller, T. & Kandeler, E. (2014). Cover crops influence soil microorganisms and phytoextraction of copper from a moderately contaminated vineyard. *Science of the Total Environment*. 500, 34 - 43.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.091>
- Mohanapriya, S., Senthilkumar, P., Sivakumar, S., Dineshkumar, M. & Subbhuraam, C.V. (2006). Effects of Copper Sulfate and Copper Nitrate in Aquatic Medium on the Restoration Potential and Accumulation of Copper in Stem Cuttings of the Terrestrial Medicinal Plant, *Portulaca Oleracea* Linn. *Environmental Monitoring Assessment*. 121(1-3), 233 - 244.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-005-9117-1>
- Nedelkoska, T.V. & Doran, P.M. (2000). Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining. *Minerals Engineering*. 13(5), 549 - 561.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(00\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(00)00035-2)

- Neumann, D., ZurNieden, U., Schwieger, W., Leopold. & Lichtenberger, O. (1997). Heavy metal tolerance of *Minuartia verna*. *Journal of Plant Physiology*. 151(1), 101 - 108.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(97\)80044-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(97)80044-2)
- Nujkić, M., Milić, S., Spalović, B., Dardas, A., Alagic, S., Ljubic, D. & Papludis, A. (2020). *Saponaria officinalis* L. and *Achillea millefolium* L. as possible indicators of trace elements pollution caused by mining and metallurgical activities in Bor, Serbia. *Environmental Science Pollution Research*. 27(36), 44969 - 44982.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10371-5>
- Padmavathiamma, P.K. & Li, L.Y. (2009). Phytoremediation of Metal-Contaminated Soil in Temperate Humid Regions of British Columbia, Canada. *International Journal of Phytoremediation*. 11(6), 575 - 590.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/15226510902717606>
- Palanivel, T.M., Pracejus, B. & Victor, R. (2020). Phytoremediation potential of castor (*Ricinus communis* L.) in the soils of the abandoned copper mine in Northern Oman: implications for arid regions. *Environmental Science and Pollution Research*. 27, 17359 - 17369.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08319-w>
- Pirjol, B.S.N., Pirjol, T.N. & Popoviciu, D.R. (2017). Copper, Manganese and Zinc Bioaccumulation in Some Common Poaceae Species Along Romanian Black Sea Coast. *REVISTA DE CHIMIE*. 68(11), 2488 - 2491.
- Popoviciu, D.R., Negreanu-Pirjol, B.S., Fagaras, M., Duzgunes, E. & Nergeanu-Pirjol, T. (2017). BIOACCUMULATION OF COPPER, ZINC AND MANGANESE IN SOME COMMON HERBACEOUS SPECIES FROM MARINE COASTAL AREA. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 18(1), 22 - 29.
- Poschenrieder, C., Bech, J., Llugany, M., Pace, A., Fenes, E. & Barcelo, J. (2001). Copper in plant species in a copper gradient in Catalonia (North East Spain) and their potential for phytoremediation. *Plant and Soil*. 230(2), 247 - 256.  
DOI: 10.1023/A:1010374732486
- Saffari, V.R. & Saffari, M. (2021). Improving Phytoremediation Efficiency of Copper-spiked Calcareous Soils by Humic Acid Applications. *Pollution*. 7(4), 871 - 884.  
DOI: 10.22059/POLL.2021.324145.1095

- Saleem, M.H., Ali, S., Irshad, S., Hussaan, M., Rizwan, M., Rana, M.S., Hashem, A., Abd Allah, E.F. & Ahmad, P. (2020). Copper Uptake and Accumulation, Ultra-Structural Alteration, and Bast Fibre Yield and Quality of Fibrous Jute (*Corchorus capsularis* L.) Plants Grown under Two Different Soils of China. *Plants- Basel*. 9(3).  
DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9030404>
- Saleem, M.H., Kamran, M., Zhou, Y.Y., Parveen, A., Rehman, M., Ahmar, S., Malik, Z., Mustafa, A., Anjum, R.M.A., Wang, B. & Liu, L.J. (2020). Appraising growth, oxidative stress and copper phytoextraction potential of flax (*Linum usitatissimum* L.) grown in soil differentially spiked with copper. *Journal of Environmental Management*. 257, 109994.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109994>
- Song, J., Zhao, F.J., Luo, Y.M., McGrath, S.P. & Zhang, H. (2004). Copper uptake by *Elsholtzia splendens* and *Silene vulgaris* and assessment of copper phytoavailability in contaminated soils. *Environmental Pollution*. 128(3), 307 - 315.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.09.019>
- Sun, Y.L., Huang, S.Z., Yuan, H.Y. & Gu, J.G. (2012). CU UPTAKE AND DISTRIBUTION IN TWO SPECIES OF IRIS L. GROWN ON ABANDONED TAILINGS. *Fresenius Environmental Bulletin*. 21(2), 357 - 363.
- Tang, S.R., Wilke, B.M. & Brooks, R.R. (2001). Heavy-metal uptake by metal-tolerant *Elsholtzia haichowensis* and *Commelina communis* from China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32(5-6), 895 - 905.  
DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-100103915>
- Vincent, G., Shang, K., Zhang, G.W. & Labrecque, M. (2018). Preliminary results of the tolerance to inorganic contaminants and phytoextraction potential of twelve ornamental shrub species tested on an experimental contaminated site. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 11(3), 442 - 448.  
DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor2716-011>
- Xu, L., Xing, X.Y., Liang, J.N., Peng, J.B. & Zhou, J. (2019). In situ phytoremediation of copper and cadmium in a co-contaminated soil and its biological and physical effects. *RSC Advances*. 9(2), 993 - 1003.  
DOI: <https://doi.org/10.1039/C8RA07645F>
- Yang, M.J., Yang, X.E. & Romheld, V. (2002). Growth and nutrient composition of *Elsholtzia splendens* Nakai under copper toxicity. *Journal of Plant Nutrition*. 25(7), 1359 - 1375.  
DOI: <https://doi.org/10.1081/PLN-120005395>

- Yang, S.Y., Huang, Y.J., Zhang, J. & Zhou, S.B. (2014). PHYSIO-BIOCHEMICAL RESPONSE TO COPPER STRESS OF MISCANTHUS FLORIDULUS, A PIONEER PLANT SPECIES IN MINE WASTES - POTENTIAL FOR PHYTOREMEDIATION. *Fresenius Environmental Bulletin*. 23(3), 686 - 692.
- Yu, C., Peng, X., Yan, H. Li, X., Zhou, Z. & Yan, T. (2015). Phytoremediation Ability of *Solanum nigrum* L. to Cd-Contaminated Soils with High Levels of Cu, Zn, and Pb. *Water, Air, & Soil Pollution*. 226(5).  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2424-4>
- Zheng, J.M., Wang, H.Y., Li, Z.Q., Tang, S.R. & Chen, Z.Y. (2008). Using elevated carbon dioxide to enhance copper accumulation in *Pteridium revolutum*, a copper-tolerant plant, under experimental conditions. *International Journal of Phytoremediation*. 10(2), 161 - 172.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/15226510801913934>