



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap

Gröna reningsverk

– Olika vegetationsytors påverkan på rening av miljön

Författare Joanna Rydlöv

Självständigt arbete • 15 hp

Landskapsingenjörsprogrammet

Alnarp 2017

Gröna reningsverk

Olika vegetationsytors påverkan på rening av miljön

Green Purifiers

Various Plant Surfaces and Their Effect on the Purification of the Environment

Joanna Rydlöv

Handledare: Ann-Mari , SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Frida Andreasson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Examensarbete i landskapsarkitektur för landskapsingenjörer

Kurskod: EX0793

Program: Landskapsingenjörsprogrammet

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2017

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Fytoremediering, Föroreningar, Partiklar, Deposition, miljögifter, reningsprocesser, vegetationsytor

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning.

Sammanfattning

I takt med att vårt samhälle utvecklas ökar även föroreningarna i miljön. Luft, mark och vatten innehåller en mängd olika gifter och farliga ämnen som är skadliga, inte bara för oss människor, utan även för djur- och växtliv. Samtidigt ökar befolkningen i städerna vilket höjer kraven på att reducera mängden föroreningar för att dess påverkan ska bli så liten som möjligt. Saneringsmetoder som är vanligt förekommande i branschen idag är kostsamma och bidrar dessutom till mer utsläpp under processen. Att istället utnyttja växters förmåga att rena miljön är inte bara mer miljövänligt utan i många fall även mer kostnadseffektivt.

Syftet med uppsatsen är att ta reda på hur olika typer av vegetationsytor kan påverka luft-, vatten- och markrening samt att behandla förutsättningarna och möjligheterna för olika aktörer att göra smarta vegetationsval. Detta har gjorts med hjälp av en litteraturstudie av kvalitativ karaktär. Litteraturstudien har berört de vanligaste föroreningarna i luft, mark och vatten, vegetativa metoder för att rena dessa samt frekvent förekommande vegetationsytor i urbana miljöer.

Resultatet visar på att kunskap och planering är två centrala delar för att med hjälp av vegetation kunna tillgå en effektiv och lönsam reningsprocess. Ingen vegetationsyta kan bidra med samtliga reningsmetoder. För att uppnå en optimal reningseffekt bör således olika ytor kombineras vilket kräver stor kunskap för såväl vegetationsval som rådande förutsättningar för varje specifikt projekt.

I dagsläget ges bidrag till högriskklassade områden men ej för områden med lägre risk som ofta är lämpade för just vegetativ rening. Sammanfattningsvis föreslås därav att incitamenten för att göra smarta vegetationsval måste stärkas, vilket skulle kunna åtgärdas genom att utöka bidragen till att även gälla för rening av mark, vatten och luft i förebyggande syfte med ett alltmer långsiktigt perspektiv.

Abstract

As our community keeps evolving the contamination of the environment increases. Both air, soil and water contains high concentrations of poisonous pollutions harmful to both humans, animals and plants. Meanwhile the population of the cities is increasing which intensifies the need to reduce the concentration of toxic pollutions to minimize their impact. The methods of decontamination that are commonly used today are not only expensive but also increases the emissions. To use plants ability to purify the environment is a more ecologic and economic beneficial approach.

The purpose of this paper is to elaborate on how various kinds of plant surfaces can affect the purification of air, water and soil and to discuss the conditions and possibilities for different players to choose plants more beneficial to the purification of the environment.

A qualitative literature study was made. It presents the most common pollutions in the environment, the different methods to eliminate those and discusses the most frequently used plant surfaces in the urban environment.

The result indicates that knowledge and planning are two important parts to enable a beneficial cleaning process using plants. None of the surfaces mentioned in the paper has the ability to contribute with every single method. Therefore, a combination of various plant surfaces is suggested. To achieve this an extended knowledge regarding both plant species and the prevailing conditions of the site is required.

Today, contributions are made only for sites in urgent need of purifying, but not for sites more suited for vegetative cleaning methods. In conclusion, it is suggested that the incentives for making environmental friendly choices regarding plants ought to be intensified. By extending the subsidies to involve purification of sites more suited for vegetational decontamination a more proactive and long term perspective can be applied.

Förord

Idén till arbetet grundades i ett intresse för växtlighetens roll i en hållbar stadsutveckling. Det har varit en både givande och utmanande process. Jag vill först och främst tacka min handledare Ann-Mari Fransson för all hjälp under arbetets gång men även ägna ett tack till de elever som har funnits som stöd under skrivprocessen.

Joanna Rydlöv,
Malmö 20170321

Ordlista

Följande begrepp används enligt förklaring i detta kapitel.

Fytoremediering "Att rena miljön från skadliga substanser med hjälp av växter"
(Nationalencyklopedin, 2017a).

Hyperackumulerande växter Hyperackumulerande växter kan ackumulera höga koncentrationer av något förorenande, för jorden främmande, ämne. Växten ackumulerar då ämnet till så pass stor mängd att koncentrationen i växten överskrider koncentrationen i kringliggande jord (The Free Dictionary, 2014).

In situ Åtgärd som sker lokalt (Dictionary.com, 2017)

Ex situ Något som sker någon annan stans än på den ursprungliga platsen (Oxford Reference, 2017).

Biotillgänglighet En biotillgänglig substans befinner sig i ett tillstånd där den är upptagbar för växterna (Naturvårdsverket, 2009)

Innehåll

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte.....	3
2. Metod.....	4
2.1 Litteraturstudie.....	4
2.2 Primär/sekundärdata	4
2.3 Avgränsningar.....	4
3. Resultat och analys.....	6
3.1 Föroreningar.....	6
3.1.1 Miljögifter i mark och vatten.....	7
3.1.2 Luftföroreningar	11
3.2 Fytoremediering.....	14
3.2.1 Fytoavdunstning.....	16
3.2.2 Fytodegradering	17
3.2.3 Fytoextraktion	18
3.2.4 Fytostabilisering	19
3.2.5 Hydraulisk kontroll	20
3.2.6 Rhizodegradering	21
3.2.7 Rhizofiltrering.....	22
3.2.8 Tillämpning av fytoremedieringsprocesser	23
3.3 Vegetationens rening av luft	24
3.3.1 Våtdeposition	24
3.3.2 Torrdeposition.....	25
3.4 Vegetationsytor.....	26
3.4.1 Träd.....	27
3.4.2 Hyperackumulerande växter	28
3.4.3 Snabbväxande växter med stor biomassa.....	28
3.4.4 Gräsmattor	29
3.4.5 Gröna tak och väggar.....	29
3.4.6 Funktioner	30
4. Diskussion.....	31
4.1 Vegetationsytorna och deras funktioner	31
4.2 Kunskap	33
4.3 Planering.....	34
4.4 Vegetativ rening, en lönsam investering.....	35

5. Slutsats	36
6. Förslag till framtida forskning.....	37
10. Referenslista	38

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Allt fler bosätter sig inne i städer och de hårdgjorda ytorna fortsätter att växa. I dagsläget bor ungefär 50% av jordens befolkning i städer och siffran förväntas öka till 70% år 2050 (WWF, 2015). Detta är en otrolig belastning för miljön.

Luften i städerna innehåller stora mängder föroreningar i form av utsläpp från trafik och industrier, vilket inte bara är förknippat med hälsorisker, utan föroreningarna försämrar även växters förmåga att rena miljön (EPA, 2009). Vid nederbörd och andra fenomen faller dessa sedan ned och sprids till mark och vatten. I det skedet försämras växternas underjordiska förhållanden och följderna blir att deras förutsättningar för att tillgodose omgivningen med diverse ekosystemtjänster minskar ytterligare (EPA, 2009). Vid dåliga förutsättningar tvingas växterna att lägga stor energi på överlevnad och anpassning istället för att fokusera på processer som gynnar miljön. Med dåligt fungerande ekosystemtjänster och en ständig tillförsel av förorenande ämnen försämrar växtlighetens positiva effekt på miljön (Boverket, 2010).

Belastningen som utsläpp och föroreningar utgör på miljön gör sig inte bara uttryck i sämre reningsprocesser och hälsorisker för städernas invånare. Flertalet exempel återfinns där föroreningar resulterat i att diverse olika djurarter blivit lidande. På 1950-talet spreds PCB så att populationen av flera djurarter minskade drastiskt. Sälsläktet och havsörnarna har fortfarande idag, 65 år senare, inte återhämtat sig (Naturvårdsverket, 2014) och tjänar som ett bra exempel på att skadade ekosystem ofta kräver lång återhämtning. Det är hög tid för samhället att börja arbeta i förebyggande syfte och inte släppa ut okända kemikalier i miljön.

För att bryta cirkeln måste vegetationen prioriteras och utnyttjas i större grad. Viktigt att tänka på är dock att jobba från båda ändar med mer vegetation som renar och mindre föroreningar som släpps ut (Willey, 2007). Med bättre planering och framförhållning kan markområden med miljögifter och luftföroreningar renas med hjälp av växters fytoremediering samt dess förmåga att rena luften. Då dagens rengöringsprocesser av marken, som deponering och schaktning, är både dyra och omständliga är rening med hjälp av växter en mer hållbar lösning (EPA, 2000). Deponi

är inte bara kostsamt utan är även ett miljöproblem i sig. Stora mängder farliga avfall samlas på depåer och riskerar att läcka ut i angränsande områden med lakvattnet. Även risken för övergödning ökar (WWF 2015).

Vår livsstil ställer höga krav på stadsplanering och en hållbar utveckling. På vilket sätt kan vi anpassa oss för att kunna leva med bevarad levnadsstandard samtidigt som vi månar om miljön? Svenskar har med åren blivit allt mer miljömedvetna i samband med att frågan har aktualiserats allt mer. Det pratas mycket om "Gröna städer" och vegetationens betydelse i ett framtida mer tätbebyggt stadsrum. Gröna tak och väggar anläggs för att utnyttja det lilla utrymme som finns (Stockholms stad, 2017). Däremot är syftet samt funktionen av olika planteringar mindre uppmärksammat. Vi behöver lära oss att använda smarta vegetationsval så att de kan bidra till utmaningen att kombinera en hållbar men attraktiv stadsmiljö. För detta krävs mer forskning samt större kunskap inom vilka växtval som bidrar med störst positiv inverkan på vår miljö (Stockholms stad, 2017).

Den strategiska planeringen av vegetationen i urbana miljöer är således en viktig del när det kommer till diskussionen om hållbarhet. För riksdagens miljömål, uppsatta för att uppnås år 2020, är det endast 2 av de fullständiga 16 miljömålen som uppnåtts eller tros uppnås inom utsatt tid (Miljömål.se, 2016b). Riksdagens definition av miljö kvalitetsmålet *Giftfri miljö* är som följer;

"Förekomsten av ämnen i miljön som har skapats i eller utvunnits av samhället ska inte hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden. Halterna av naturfrämmande ämnen är nära noll och deras påverkan på människors hälsa och ekosystemen är försumbar. Halterna av naturligt förekommande ämnen är nära bakgrundsnivåerna."

Riksdagens definition av miljö kvalitetsmålet *Giftfri Miljö* (Ekblom, 2016).

Samhällets struktur kring hanteringen av miljöfrågor måste tas på större allvar om ovanstående mål ska vara rimliga framöver och det finns starka argument för att vi med hjälp av vegetationen kommer att kunna ta stora kliv i rätt riktning.

1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att ta reda på hur olika typer av vegetationsytor kan påverka luft-, vatten- och markrening och bidra till diskussionen kring vilka vegetationsytor som gynnar våra urbana miljöer mest. Det är en förhoppning att uppsatsen ska behandla förutsättningarna och möjligheterna för olika aktörer att göra smarta vegetationsval. Frågeställningarna som besvaras i uppsatsen är:

- Hur påverkar olika typer av vegetationsytor mark- luft- och vattenrening?
- Finns det vegetationsytor som är bättre respektive sämre på att rena miljön?
- Vilka är deras för- och nackdelar i urbana miljöer?

2. Metod

2.1 Litteraturstudie

Till grund för arbetet ligger en litteraturstudie vilket är, med en vetenskaplig ansats, en systematisk och kritisk granskning av litteratur. Litteraturstudier kan beskriva den kunskapsgrund som just nu finns inom ett aktuellt område och är ofta användbar när frågeställningar av kvalitativ karaktär önskas besvaras. För studien har ett mer djupgående och detaljrikt fokus valts och är därav av en kvalitativ karaktär, i kontrast till det kvantitativa som innebär ett bredare och mer ytligt sådant.

Inledningsvis valdes att studera tidigare skrivna uppsatser för att komma i kontakt med frekvent använd litteratur inom området för studien. Därifrån fanns det goda förutsättningar för att hitta annat vetenskapligt material som bidragit till att ge arbetet större trovärdighet och djup. Detta kombinerades med sökningar i aktuella databaser där följande sökord, i olika kombinationer, använts mest frekvent; Phytoremediation, air pollutants, vegetation, air pollution, partiklar, deposition, miljögifter, tungmetaller och rening av luft.

2.2 Primär/sekundärdata

Fokus för litteraturstudien har främst legat på internationell litteratur då det aktuella ämnet är mer frekvent utforskat utomlands. Det har varit en av anledningarna till svårigheterna med att hitta relevant litteratur för ämnet i fråga. Litteraturen som tjänat som primärdata har dessutom varit svårt att hitta helt uppdaterad vilket är varför jag har kompletterat med en hel del artiklar som från en del aspekter hållits sig mer ajour med den senaste forskningen inom ämnet.

Ovanstående litteratur har kombinerats med att återkommande se till de miljömål som tagits fram av riksdagen.

2.3 Avgränsningar

Inför och under studien har en del avgränsningar gjorts. Detta i syfte att smalna av och begränsa arbetet i hopp om att uppnå ett allt mer kvalitativt djup i litteraturstudien givet tidsbegränsningen som råder. Ett exempel på sådan avgränsning är att fokusera på de vanligast förekommande föroreningarna och utesluta en del föroreningar som

fortfarande ur ett vetenskapligt perspektiv kan vara relevant att studera. Exempel på föroreningar som tas upp är tungmetaller, luftpartiklar och organiska miljögifter.

Även vid förutsättningar för deposition gjordes valet att endast diskutera de faktorer som direkt eller indirekt påverkar vilka växtliga egenskaper som är av betydelse och ej gå in på djupet på övriga påverkande faktorer. Samtliga vegetationsytor kommer att påverkas av övriga faktorer och dessa är därför ej väsentliga för att kunna besvara frågeställningarna.

För att möjliggöra studien under given tidsram har även en generalisering gjorts där studien utgår från olika vegetationstyper och inte går på djupet i specifika växtarter. De vegetationsytor som studien innefattar är lövträd, barrträd, hyperackumulerande växter, snabbväxande växter med stor biomassa, gräsmattor samt gröna tak och väggar. Valet av vegetationsytor baseras på en generalisering av respektive ytas förmåga att rena miljön samt vilka ytor som är vanligt förekommande i urbana miljöer. Ytterligare generalisering har gjorts av ytan "gröna väggar och tak" där utgångspunkten är att ytan består av relativt små växter, samt av "gräsmattor" som syftar till bruksgräsmattor i städer.

3. Resultat och analys

3.1 Föroreningar

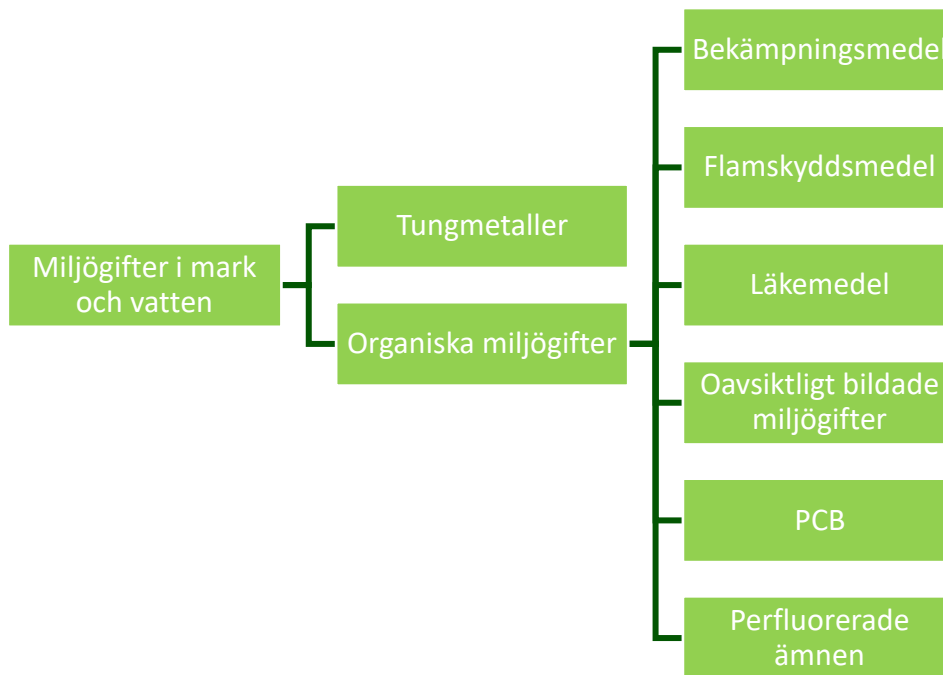
Miljön är förorenad av en rad olika kemiska ämnen vilka på grund av mänsklig påverkan har ökat både till antal och mängd. Olika ämnen påverkar olika organismer beroende på var i miljön de finns samt hur de sprids (Norström, 2016). I de flesta fall framträder konsekvenserna tydligast i toppen av de olika näringskedjorna. Föroreningar i vatten märks främst i näringskedjor med vattenlevande organismer samt organismer som livnär sig på dessa (Baltic sea 2020, 2017). Hur sälbeståndets population, på grund av miljögiftet PCB, minskade drastiskt under 1950-talet är ett bra exempel på spridning av föroreningar genom olika näringskedjor (Naturvårdsverket, 2014). Föroreningar i mark drabbar vegetationen och, precis som i vattnet, näringskedjor som bygger på vegetationen. Även luftföroreningar märks tydligt hos landlevande organismer, både djur och växter (Länsstyrelsen Örebro län, u.å).

I takt med att samhället utvecklats har koncentrationen av ett flertal giftiga ämnen minskat betydligt då konsekvenserna av berörda ämnen uppmärksammats och därefter har ämnena förbjudits (Kyrklund, 2016). Ett exempel på detta är användandet av bensen i bilmotorer. Utsläppen av bensen i miljön har minskat betydligt sedan 1990-talet. Att ämnet uppmärksammats som cancerogent bidrog till en minskad andel bensen i bensinen och samtidigt har tekniken bakom bilmotorerna utvecklats (Kyrklund, 2016). Detta har dock resulterat i att förbjudna ämnen har ersatts med diverse nya kemikalier som ännu har okänd miljöpåverkan (Norström, 2016).

3.1.1 Miljögifter i mark och vatten

Miljögifter delas enligt naturvårdsverket in i två kategorier, metaller och organiska miljögifter, vilket syns i figur 1, och definieras enligt följande;

Miljögifter, benämning på särskilt skadliga kemiska ämnen i den yttre miljön (Norström, 2016).



Figur 1. En översikt över föroreningar i mark och vatten.

De ämnen som inte existerar i mark eller vatten naturligt faller ned med regnet alternativt läcker ut till miljön via olika industrier (Kyrklund, 2017b). När urlakade näringsämnen, luftföroreningar samt giftiga ämnen i marken når vattnet kan de transporteras långa sträckor och stora ytor. Detta kan komma att innebära försurade samt övergödda sjöar och vattendrag (Kyrklund, 2017b).

Miljökvalitetsmålet *Ingen övergödning* definieras, i enlighet med riksdagen, som följer;

”Halterna av gödande ämnen i mark och vatten ska inte ha någon negativ inverkan på människors hälsa, förutsättningar för biologisk mångfald eller möjligheterna till allsidig användning av mark och vatten” (Ek, 2017).

Övergödning av sjöar och vattendrag beror dels på nederbörd och industriutsläpp men även på utsläpp av avloppsvatten (Ek, 2017). Konsekvensen av detta är förändrade ekosystem (Kyrklund, 2017b). Växtligheten på platsen förändras och arter som trivs under näringsfattiga förhållanden konkurreras ut av mer näringskrävande växter. Vidare kan ytan växa igen vilket i sin tur ökar risken för att det bildas syrebrist på botten. Det syrelösa tillståndet blir för många bottenlevande organismer livshotande. Även algblomning kan uppstå, vilket kan vara skadligt i fall då det är giftproducerande alger som blommar (Ek, 2017).

Vid försurning drabbas artsammansättningen i vattnet dels på grund av känslighet mot den sura miljön, men även på grund av att det blir högre konkurrens. De känsliga arterna överlever inte det nya PH-värdet varpå predatorer högre upp i näringskedjan drabbas i brist på föda (Larsson, 2016b).

Enligt Larsson (2016a) lyder riksdagens definition av miljö kvalitetsmålet *Bara naturlig försurning* följande;

”De försurande effekterna av nedfall och markanvändning ska underskrida gränsen för vad mark och vatten tål. Nedfallet av försurande ämnen ska inte heller öka korrosionshastigheten i markförlagda tekniska material, vattenledningssystem, arkeologiska föremål och hållristningar.” (Larsson, 2016a)

Både övergödning och försurning är stora problem i den svenska miljön. I sydvästra Skåne beräknas antalet försurade sjöar till 47% vilket medför risker för många ekosystem (Larsson, 2016b). Följs åtgärdsplanen gällande miljömålen *Bara naturlig försurning* och *Ingen övergödning* kommer det resultera i att ingen av dem uppnåtts inom utsatt tidsgräns (Ek, 2016).

3.1.1.1 Tungmetaller

Förekomsten av metaller i miljön är naturlig, men deras koncentrationer har ökat avsevärt på grund av den mänskliga faktorn. Den naturliga koncentrationen behöver nödvändigtvis inte vara giftig, utan kan i vissa fall vara essentiell för växterna. Det är först vid ökad koncentration som förekomsten av metallerna blir toxiska (Folkesson, 2005). Huruvida miljö och människor tar skada beror dels på vilken metall det rör sig om, hur exponeringen av ämnet sker samt vilken mängd vi utsätts för (Norström, 2016).

En annan viktig faktor är om metallen befinner sig i biotillgänglig form, vilken är en förutsättning för att metallen ska vara upptagbar av växter (Naturvårdsverket, 2009).

Frigörelsen av tungmetaller sker främst vid förbränning av fossila bränslen och avfall men även på grund av olika industriella processer. I närheten av stora metallindustrier påträffas därför ofta höga koncentrationer av tungmetaller i marken (Linderholm, 2016). Härifrån kan de sedan transporteras med lakvattnet och spridas till större områden i både mark och vatten. När de väl fallit ned till marken är de problematiska att få bort eftersom de då är utspädda, spridda över ett stort område och inte är nedbrytbara (Linderholm, 2016).

Flera metaller har allvarlig hälsopåverkan på människor och djur. Exempel på dessa är arsenik, som är ett cancerogent ämne, (Linderholm, 2016a) samt kvicksilver där skador uppstår i hjärnan och det centrala nervsystemet (Linderholm, 2016b).

3.1.1.2 Organiska miljögifter

De organiska miljögifterna är stabila kemiska föreningar där majoriteten av ämnena är framställda av människan. I de flesta av dessa föreningar binder de ingående atomerna starkt till varandra. Organiska miljögifter försvinner inte av sig själva utan de behöver påverkas av någon yttre process som kan bryta ned eller förändra dess tillstånd. Av alla kemikalier som rapporterats till EUs kemikaliemyndighet (ECHA) är det ungefär 30 000 som används dagligen (Norström, 2016). Då de organiska miljögifterna är så pass många kommer utrymme ges för att kunna ge några exempel på dessa ämnen.

Bekämpningsmedel

Bekämpningsmedel är uppdelat i biocidprodukter och växtskyddsmedel. Växtskyddsmedel används för att skydda växter och växtprodukter från diverse skadedjur och svampangrepp (Kemikalieinspektionen, 2016). Biocidprodukterna innefattar övriga bekämpningsmedel som till exempel myggmedel, råttgift och träskyddsmedel. Gemensamt för alla bekämpningsmedel är att de ska granskas och godkännas av kemikalieinspektionen innan de får lov att användas (Kemikalieinspektionen, 2016).

Flamskyddsmedel

För att fördröja alternativ förhindra brand i diverse material och produkter används flamskyddsmedel. Det finns en risk för läckage av ämnet i alla stadier från produktion till återvinning och det kan därför spridas över hela världen både via luften eller via industriella transporter som färdig produkt (Hedlund, 2016a). Höga koncentrationer av flamskyddsmedel i miljön återfinns ofta i vatten och vattenlevande djur. Antalet ämnen är stort och många av dessa är farliga för både hälsa och miljö (Hedlund, 2016a).

Läkemedel

Läckage av läkemedel kan ha stor effekt på miljön redan i små mängder. Ett exempel på detta är antibiotika som är avsett för att döda bakterier. Väl ute i naturen riskerar antibiotika att döda känsliga bakterier i förorenade områden (Mattson, u.å), vilket i sin tur kan leda till förändrade ekosystem. Spridningen av läkemedel i miljön sker främst på grund av användningen av substanserna. Genom avföring och urin når rester av produkterna avloppsvattnet och transporteras sedan ut i vattendrag. De skadar även miljön genom avfall då överblivna mediciner ofta hamnar i hushållssoporna (Mattson, u.å).

Oavsiktligt bildade miljögifter

Vid förbränning av till exempel sopor och ved bildas dioxiner (Hedlund, 2016b). Dioxiner är fettlösliga ämnen som lagras länge i miljön. Följaktligen sprids de sedan via ekosystem till diverse levande organismer. Det är främst barn och foster som är känsliga mot dioxiner då skador uppstår under utveckling av hjärna och nervsystem (Livsmedelsverket, 2016).

PCB

PCB är ett samlingsnamn för drygt 200 giftiga ämnen som lagras i vävnaden hos levande organismer (Naturvårdsverket, 2014). Det är långlivade ämnen som är svåra att bryta ner och de som drabbas hårdast är organismerna i toppen av olika näringskedjor. Problemen med PCB har tidigare visat sig genom en drastisk minskning av specifika djurarter och är idag förbjudet i Sverige. Trots detta har det på senare tid uppmärksamrats höga halter hos bland annat strömming i särskilt förorenade vattenområden (Naturvårdsverket, 2014). Detta tyder på att även om PCB inte längre

får användas är det så pass långlivat att det fortfarande förgiftar våra hav (Livsmedelsverket, 2016).

Perfluorerade ämnen

Perfluorerade ämnen (PFAS) är extremt svårslösliga och det råder en osäkerhet kring om de kan brytas ner i miljön överhuvudtaget (Norström, 2017). Dess användningsområde är stort och kan återfinnas i produkter som impregnerings- och insektsmedel. På grund av dess långa livscykel och breda användning kan ämnen ur gruppen spridas långa vägar. Undersökningar tyder på att halten ökar hos däggdjur på Arktis (Norström, 2017).

Spridningen kan ske genom hela processen från produktion till avfallshantering då läckage från deponi kan ske. Organismer över hela världen drabbas och högst halter har uppmätts hos djur i toppen av drabbade näringskedjor. Enligt naturvårdsverket är hälsoriskerna för människor inte särskilt stora då vi inte utsätts för tillräckligt stora mängder. Däremot har det framkommit hälsorisker hos djur (Norström, 2017).

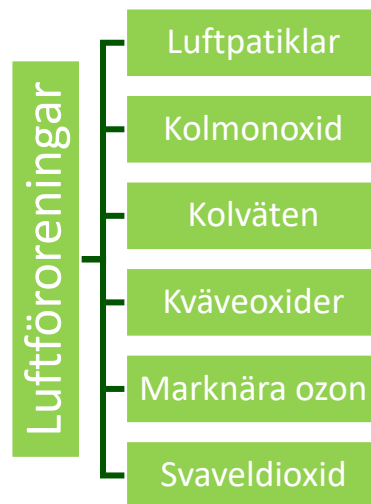
3.1.2 Luftföroreningar

I dagsläget består luften av ett flertal olika förorenande ämnen som är skadliga både för miljön och människor. Majoriteten av dessa ämnen bildas på grund av mänskliga faktorer som till exempel transporter och industriella utsläpp (Genberg, 2016).

De vanligast förekommande föroreningarna är kväve- och svaveloxider, partiklar samt marknära ozon. Även PAH och kolmonoxid är vanliga (Kyrklund, 2017). Samtliga presenteras i figur 2. Riksdagens definition av miljömålet *Frisk luft* är;

”Luften ska vara så ren att människors hälsa samt djur, växter och kulturvärden inte skadas” (Genberg, 2016).

Trots att utsläppen har minskat och Sverige är på väg åt rätt håll, är det inte troligt att miljömålet för frisk luft nås till 2020 (Miljömål.se, 2016b).



Figur 2. En översikt över föroreningar i luften.

3.1.2.1 Luftpartiklar

Enligt SMHI är ett av de största problemen, gällande föroreningar i luften, partiklar (SMHI). Luftpartiklar förekommer i varierande storlek som beroende på denna kommer från olika källor (Kyrklund, 2016). De delas in i olika grupper beroende på storlek och sammansättning (SMHI).

Grova partiklar utgör den största delen av partikelkoncentrationen i luften (Kyrklund, 2016) och bildas främst på grund av slitage på vägar, däck och fordon (Andersson, 2014). De ger upphov till, samt förvärrar, hjärt- och kärlsjukdomar (Kyrklund, 2016). Mindre partiklar uppstår vid olika industri- och förbränningsprocesser och bidrar till ökad dödlighet. Vilken inverkan de olika partiklarna har på människan beror på dess kemikaliska respektive fysikaliska egenskaper (Andersson, 2014). Sekundära partiklar uppstår vid kemiska reaktioner med andra förekommande luftföroreningar. Dessa partiklar påverkar inte bara lokalt utan kan färdas långt då den kemiska reaktionen kan vara tidskrävande och de generellt är små till storleken (Andersson, 2014).

3.1.2.2 Kolmonoxid

Kolmonoxid bildas vid ofullständig förbränning och de främsta källorna till dess uppkomst i luften är transporter, arbetsmaskiner och energiproduktion. Halten har minskat betydligt med åren och anses idag inte vara ett stort problem. Det kan dock uppstå tillfälligt högre halter under sommartid då många gamla fordon och motorcyklar

brukas mer frekvent (Kyrklund, 2016c). Vid exponering för kolmonoxid försämras hemoglobinet förmåga att ta upp syre vilket medför att syretransporten i kroppen försämras. Personer som lider av hjärtbesvär kan därmed få kärlkrampsymptom (Kyrklund, 2016c).

3.1.2.3 Kolväten

Kolväten är kemiska föreningar bestående av enbart kol och väte. I Sverige mäts huvudsakligen halterna utav två kolväten. Bens(a)pyren som ingår i gruppen Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) samt bensen (Kyrklund, 2016a). Bensen är ett kolväte som anses extremt skadligt. Ämnet frigörs främst på grund av utsläpp från vägtrafik, men även vedeldning och annan privat transport står en liten del av utsläppen (Petersson, 2008). Substansen orsakar blodcancer och än är det okänt var gränsen går för att utsättningen av ämnet ska vara effektlös på människor (Kyrklund, 2016a).

Gemensamt för ämnen inom PAH är att de är cancerframkallande. Bensapyren är ett kolväte som bildas vid ofullständig förbränning och kommer ofta från exempelvis bilavgaser, tobaksrök och bränder. Dess förekomst i miljön är lägre än bensen men dess cancerogenicitet är betydligt högre (Petersson, 2008).

3.1.2.4 Kväveoxider

Benämningen kväveoxider innefattar ämnena kväveoxid samt kvävedioxid. Föreningarna är giftiga och bildas vid förbränning (Kyrklund, 2017a). De största orsakerna till bildning av kväveoxider är biltrafik, framförallt i tätorter, men även andra industrier bidrar. Föreningarna bidrar till bildning av marknära ozon och leder även till försurning samt övergödning av mark och vatten (Kyrklund, 2017a).

3.1.2.5 Marknära ozon

Marknära ozon bildas vid kemiska reaktioner mellan kväveoxider och flyktiga organiska ämnen under inverkan av solljus. Ozon kan färdas långa sträckor i atmosfären och påverkar därför inte miljön enbart lokalt (Miljömål.se, 2016a). Dess påverkan på människor märks genom en negativ inverkan på lungfunktion samt dödligheten. Även på vegetationen orsakas skador och skogens förmåga att ta upp

koldioxid försämras betydligt. I nästa led bidrar det minskade koldioxidupptaget av vegetationen till en ökad växthuseffekt (Sabelström, 2016).

3.1.2.6 Svaveldioxid

Svaveldioxid bildas vid förbränning av fossila samt svavelhaltiga ämnen. I Sverige står industrin för större delen av utsläppen men förekomsten av svaveldioxiden i luften beror till 90% på internationell sjöfart. Vid oxidering av svaveldioxid bildas svavelsyra som vid nedfall bidrar till försurning av mark och vatten (SMHI, 2016b).

3.2 Fytoremediering

Fytoremediering innebär att med hjälp av växter på varierande sätt rena miljön genom att ackumulera, omvandla eller immobilisera föroreningar i mark och vatten. Det är en reningsmetod som blivit alltmer uppmärksammas med åren på grund av forskning som påvisar en mer kostnadseffektiv och miljövänlig rengöringsprocess (EPA, 2000).

Fytoremediering ligger helt rätt i tiden i ett allt mer ekologimedvetet samhälle. Att använda sig av en in situ metod, det vill säga att åtgärder sker lokalt, bidrar till minskade transporter. Således reduceras varje projekts inverkan på miljön då det blir en minskning av utsläpp samtidigt som vegetationen i sig kan bidra med ännu fler ekosystemtjänster till samhället (Willey, 2007). Dessutom minskar rotsystemet erosionen på platsen genom att stabilisera jorden med rötterna (Vägverket, 2006).

Att använda fytoremediering som en reningsprocess kan i många fall vara positivt. Med god kunskap om den aktuella platsen och dess reningsbehov kan rätt växtlighet planteras och på sikt rena platsen (Willey, 2007). De ackumulerande grödorna som samlar på sig giftiga ämnen kan dock vara giftiga att förtära både för människor och djur och kan på så sätt sprida sig via olika ekosystem. Det är därför viktigt att studera i vilken del av växten som föroreningen befinner sig (Willey, 2007). För att effektivisera fytoremedieringsprocessen krävs goda växtförhållanden och framförallt god kunskap om den specifika platsen samt de utvalda växterna. Växterna som är aktuella vid användning av fytoremediering återfinns ofta naturligt växande på kontaminerade platser (Willey, 2007).

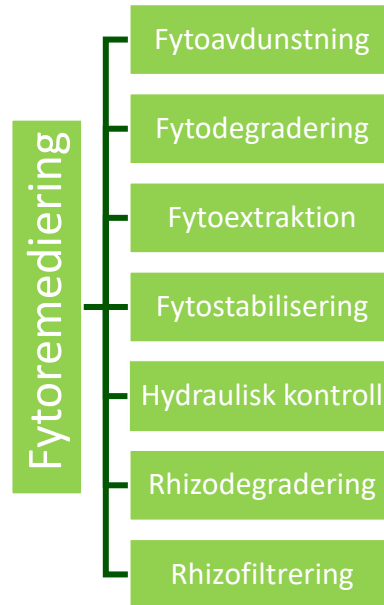
En grundläggande förutsättning för att fyto Remediering ska vara en lämplig metod är att växterna kan leva på platsen (Collins, 2007). En del jordar har så pass höga koncentrationer av förorenande ämnen att förhållandena blir toxiska för växterna. Skulle koncentrationen vara toxisk finns det eventuellt lösningar som kan minska denna något för att sedan, om möjligt, påbörja fyto Remediering (Collins, 2007).

Fyto Remediering begränsas av rotsystemet då rötterna måste vara i kontakt med föroreningarna för att kunna påverka dessa. Följaktligen måste rötterna antingen kunna växa ut i angränsande områden eller så måste föroreningarna på något sätt omlokaliseras till rötterna (Fletcher, 2006). Olika ämnen befinner sig på olika djup i marken och detsamma gäller vegetationen. Beroende på art växer rötterna olika djupt vilket innebär en variation i effektivitet samt vilka föroreningar som påträffas (Fletcher, 2006). Ytterligare en begränsning är tiden. Fyto Remediering är en tidskrävande process så det krävs både god planering och framförhållning vilket resulterar i att den sällan utnyttjas på markytor som önskas brukas inom snar framtid (Willey, 2007).

Ytterligare en anledning till att fyto Remediering inte anses vara en lämplig metod är att processen främst lämpar sig på ytor som inte är i akut behov av sanering. Enligt Andersson och Svensson (2007) ges endast bidrag från staten för undersökning och sanering till områden klassificerade till riskgrupp ett och två. Ytor med högre risk prioriteras således före ytor lämpliga för fyto Remediering (Andersson och Svensson, 2007).

Upptagning av tungmetaller kan vara begränsad vid användning av fyto Remediering även om vald vegetation normalt ska vara anpassad efter metallen. Även vid undersökning av växter som odlats i metallrik jord framkommer det att ackumulation i rötter och skott är knapp (Raskin et.al, 1997). Detta tros bero på att stora mängder metaller i jorden inte är biotillgängliga och därmed inte påverkas av fyto Remedieringen. I *Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment* beskriver Raskin et.al (1997) tekniker där tillsatser i jorden omvandlade metalljonerna till ett växttillgängligt tillstånd. En konsekvens av detta blev dock att jonerna även lättare påverkas av erosion och kunde sköljas bort med vattnet som rör sig igenom berörd markyta (Raskin et.al, 1997).

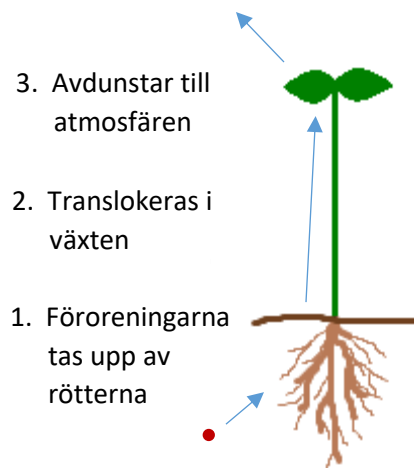
Begreppet fyto Remediering innefattar flera olika reningsprocesser, och urvalet som presenteras i uppsatsen sammanfattas i figur 3 nedan.



Figur 3. En översikt över de olika fyto Remedieringsprocesserna.

3.2.1 Fytoavdunstning

Fytoavdunstning, som synliggörs i figur 4, går ut på att växten tar upp den förorenande substansen från mark eller vatten vilken sedan transporteras vidare upp i växten för att omvandlas och så småningom avges till atmosfären (McCutcheon och Schnoor, 2003). Trots att ämnet ofta är av annan form i atmosfären, i vilket tillstånd det (oftast) utgör en mindre risk för miljön, är problemet inte eliminerat. Substansen är fortfarande fri och riskerar dels att förflytta sig men även att åter transporteras ned till marken med nederbörden (Limmer och Burken, 2016). Fytoavdunstning är främst tillämplig vid rening av grundvatten men har visat sig användbar även vid rening av sediment, slam och mark (EPA, 2000). Försöken som är gjorda i fält är utförda med resultat främst på organiska ämnen (Andersson och Svensson, 2007).

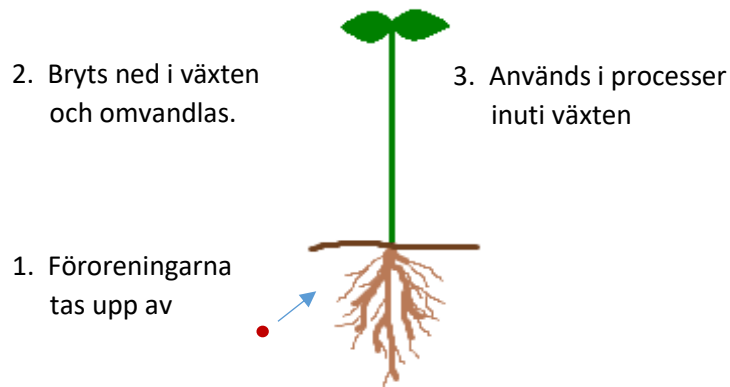


Figur 4. Fytoavdunstning

I *TCE Diffusion to the Atmosphere in Phytoremediation Applications* beskriver Ma och Burken (2003) ett fältförsök där Poppel används för att med hjälp av fytoavdunstning minska mängden Triklöretylen(TCE) i marken. Resultatet visar att koncentrationen av TCE minskar vertikalt med stammen men även från mitten. Koncentrationen blir även lägre ju längre ut på grenarna som mätningen görs. Detta tyder på att TCE tas upp av rötterna för att sedan translokeras till stam och skott där de sedan avdunstar från löven alternativt avges från stam och grenar (Ma och Burken, 2003)

3.2.2 Fytodegradering

Fytodegradering fungerar för både marklevande respektive landlevande vegetation. Växten tar upp, translokerar och omvandlar förorenat ämne till en mindre farlig förening med hjälp av metabolismen (McCutcheon och Schnoor, 2003). Därefter används de nedbrutna ämnena i olika processer inuti växten. Enligt McCutcheon och Schnoor (2003) är metoden effektiv att tillämpa på flera olika föroreningar som till exempel lösningar med klor, pesticider och diklordifenyltriklorethan(DDT). Här anses vegetation med ett stort och tätt rotsystem fördelaktigt (Andersson och Svensson, 2007). Processen sammanfattas i figur 5.



Figur 5. Fytodegradering

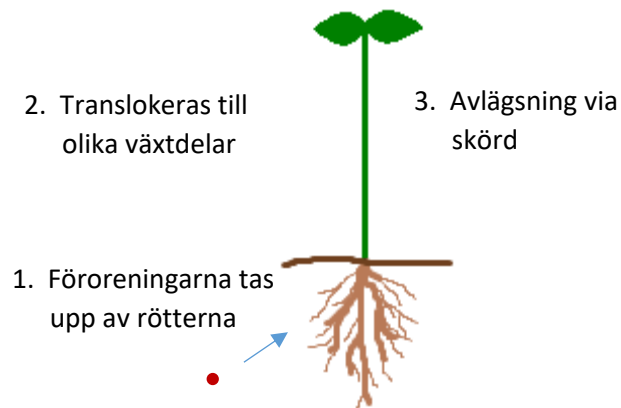
I North Carolina utfördes ett fältförsök på huruvida fytodegradering är tillämpbar på grundvatten förorenat av pesticider. I försöket används Hybridpopplar och olika gräs för att ta upp och bryta ner bensenhexaklorid(BHC). Försöket startades 1999 och uppföljningsprover på grundvattnet år 2001 visade på en minskning av BHC till nästan en femtedel av den ursprungliga koncentrationen (EPA, 2005).

3.2.3 Fytoextraktion

Fytoextraktion syftar till den process där det förorenande ämnet tas upp av växten och ackumuleras i antingen rötter eller transporteras vidare till ovanjordiska delar som skott och blad (EPA, 2000). För att sedan avlägsna föroreningarna skördas den växtedel som ackumulerat det giftiga ämnet. Detta framgår i figur 6. I vissa fall kan hela rotsystemet behöva avlägsnas medan det vid andra tillfällen kan räcka med att avlägsna blad och skott (EPA, 2000). Att avlägsna rotsystemet är dock komplicerat vilket höjer både kostnad och arbetsinsats. Således bör övervägning göras om växten istället får bevaras på platsen och immobilisera föroreningarna genom fytostabilisering (Andersson och Svensson, 2007). Vilken del av plantan som ackumulerar ämnet beror dels på växtart men även vilken förorening som ackumulerats (McCutcheon och Schnoor, 2003).

De växtdelar som skördats och ska transporteras väger betydligt mindre än jordmassan som hade behövts omlokaliseras till deponi för att eliminera motsvarande mängd föroreningar. Metoden minskar både utsläpp samt kostnader vid transport. Fytoextraktion är effektiv främst på metaller, radionuklider och organiska ämnen löst bundna i jorden (McCutcheon och Schnoor, 2003). Vid tillfälle har processen beräknats

till en kostnad som knappt uppnår en femtedel av de motsvarande ex situ metoder, som används för att rena platsen idag (EPA, 2000).



Figur 6, Fytoextraktion

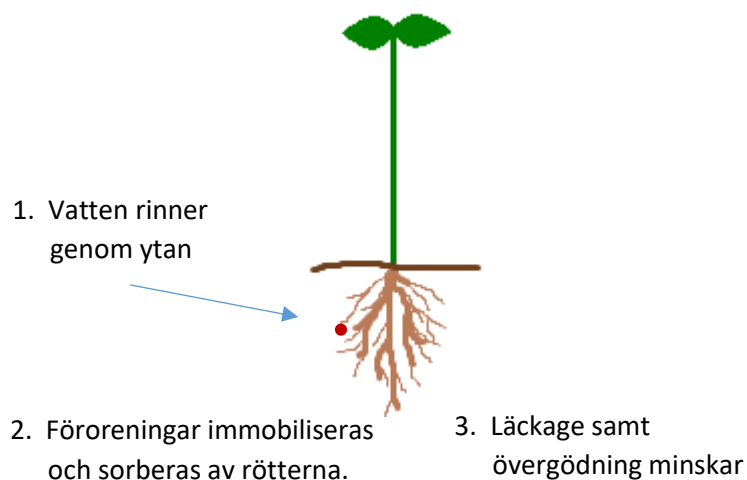
En studie genomfördes för att ta reda på huruvida snabbväxande träd med hjälp av fitoextraktion kunde rena en metallförorenad jord med samma effektivitet som hyperackumulerande växter (Tlustoš et.al, 2006). De båda vegetationstypernas effekt på koncentrationen i marken jämfördes. Resultatet visade på ett positivt upptag av olika metaller men beroende på vilken art samt metall som undersöktes varierade den totala mängden av metallupptag. Gemensamt i försöken var att metallkoncentrationen i marken minskade men resultaten varierade i vilken typ av vegetation som tog upp störst mängd av olika metaller. I några av försöken ackumulerade de stora träden en större mängd än de små hyperackumulerande plantorna och vice versa (Tlustoš et.al, 2006). Försöket stärker således tidigare nämnd fakta om att växtval och typ av förorening är två centrala faktorer vid fytoremediering.

3.2.4 Fytostabilisering

Den reningsprocess som går ut på att stabilisera jorden med hjälp av återplantering av växter kallas för fytostabilisering och presenteras i figur 7 nedan. Det etablerade rotsystemet reducerar risk för erosion och urlakning av olika föroreningar och näringsämnen och därmed även att föroreningarna sprids (McCutcheon och Schnoor, 2003). Rötterna immobiliserar således ämnena i jorden och med hjälp av humus från döda växtdelar kan sedan en del av föroreningarna omvandlas till mindre skadliga former (Bolan et.al, 2011). I denna process kan det vara fördelaktigt med stora, djupa rotsystem. Vid avslutad process behövs varken avlägsning eller transport av

förorenade grödor eftersom växterna inte tar upp föroreningarna. Däremot kan regelbundna kontroller med fördel genomföras för att säkerställa att immobiliserade ämnen ej har börjat läcka (EPA, 2000).

Stabiliseringen kan också ske genom adsorbering till växtens rötter (EPA, 2000). Fytostabilisering har främst använts vid rengöring av metaller men är även tillämpbar på organiska föreningar (McCutcheon och Schnoor, 2003). Exempel på metaller som tidigare filterats med fytostabilisering är arsenik, kvicksilver, krom och bly (Andersson och Svensson, 2007).

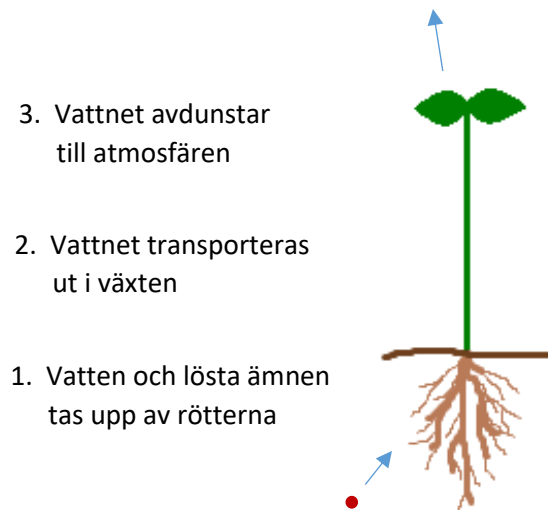


Figur 7. Fytostabilisering

En plats förorenad med gammalt gruvavfall innehållande zink, koppar och bly renades genom användningen av fytostabilisering. Olika sorters gräs planterades på platsen och mängden metaller i marken minskade genom att föroreningarna immobiliserades av rötternas rotsystem (Pivetz, 2001).

3.2.5 Hydraulisk kontroll

En del plantor behöver en stor mängd vatten för att överleva. Det behovet utnyttjas i metoden "hydraulisk kontroll" genom att stora vattenmassor transporteras upp i växten från marken. Metoden är egentligen inte renande i sig men fungerar effektivt som en reducering av läckage och spridning av främmande ämnen då vattnet rör sig upp ur marken via vegetationens transpiration istället för att skölja med sig ämnena till ny plats (EPA, 2000). Nedan, i figur 8, tydliggörs den hydrauliska kontrollen.

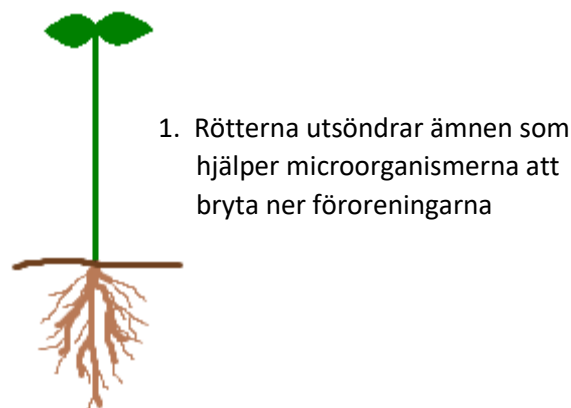


Figur 8. Hydraulisk kontroll

McCutcheon och Schnoor (2003) beskriver hur ett försök i fält utförts för att minska koncentrationen av Trikloretülen(TCE) med hjälp av en plantering med Virginiapopplar. Bäst resultat uppmättes under tredje säsongen då reduktionen av TCE nådde 11%.

3.2.6 Rhizodegradering

Vegetationen underlättar nedbrytningen av olika föroreningar i rhizosfären, området runt växtens rötter (Söderberg, 2003), genom att förbättra miljön för olika mikroorganismer i jorden (McCutcheon och Schnoor, 2003). Detta kallas för rhizodegradering och visualiseras i figur 9. Växten utsöndrar ämnen som hjälper till att bryta ned substansen utanför växten. Metoden är främst användbar på organiska ämnen (McCutcheon och Schnoor, 2003) och har visat sig vara effektiv på såväl olja som PHA och pesticider (EPA, 2000).



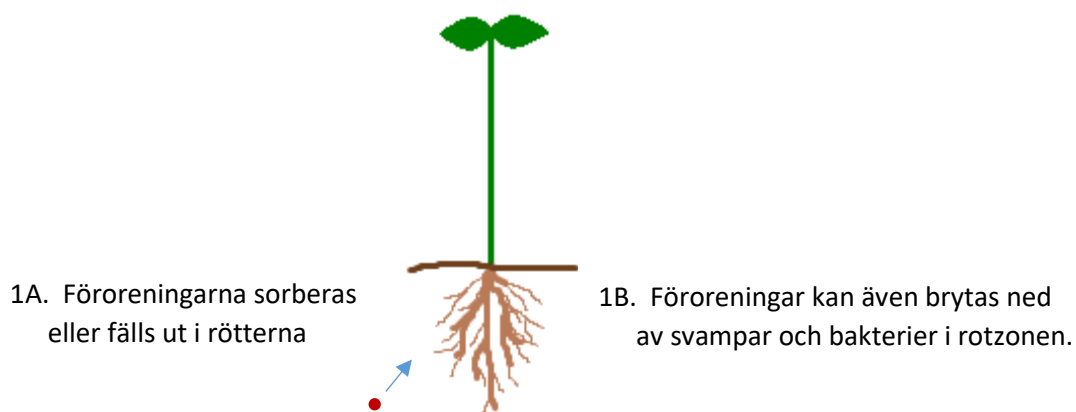
Figur 9. Rhizodegradering

Enligt EPA (2000) har fältförsök med rhizodegradering gett positiva resultat på ett flertal organiska föroreningar. Exempel på föroreningar behandlade med rhizodegradering är PAH, pesticider samt PCB. Till försöken har rött mullbär, ris, hybridpoppel och olika gräsarter använts (EPA, 2000).

3.2.7 Rhizofiltrering

Rhizofiltrering syftar till den metod som innebär att kemiska föreningar antingen adsorberas, tas upp alternativt fälls ut i rötterna och vid tillfällen kan de även translokteras till skotten. Detta kan även ske med hjälp av svampar och bakterier i rotsystemet. Vid torrsvikt kan upp till 60% av växten bestå av uppsamlade metaller (McCutcheon och Schnoor, 2003).

Rhizofiltrering är mest användbar när det kommer till metaller, organiska föreningar och radionuklider och fungerar som bäst vid rengöring av vatten med relativt låg koncentration av föroreningar (McCutcheon och Schnoor, 2003). Både land- och vattenväxter är användbara när det kommer till rhizofiltrering. Landväxter som planteras på en flytanordning kan vara mer effektiva tack vare större biomassa och längre, mer snabbväxande rötter. En fördel med rhizofiltrering som reningsprocess är att föroreningarna befinner sig i en lösning vilket innebär att en större del är i biotillgänglig form (Andersson och Svensson, 2007). Enligt McCutcheon och Schnoor, (2003) har lyckade försök till att använda metoden bland annat gjorts med solros, *Helianthus annuus*. Dock är en nackdel vid användning av landlevande växter att de kan behöva odlas i växthus först (EPA, 2000). I figur 10 förtydligas processen.



Figur 10. Rhizofiltrering

Otte och Jacob (2006) skriver i *Constructed wetlands for phytoremediation* om hur väl utformade våtmarker kan användas för att reducera koncentrationen av ett flertal olika föroreningar. Vidare menar Otte och Jacob (2006) att rhizofiltrering påvisats vara en effektiv metod vid flera fältförsök gällande bland annat metaller och organiska föreningar.

3.2.8 Tillämpning av fyto Remedieringsprocesser

För- och nackdelarna för de olika processerna varierar. Forskare har försökt ta med sig bristerna i olika processer och utfört olika försök för att förbättra dessa. Exempel på försök till förbättring är när forskare tillsatt olika ämnen i jorden för att optimera eller möjliggöra föroreningarnas biotillgänglighet.

Enligt Leštan (2006) är bly en utav de mest skadliga metallerna vilken ofta är svårtillgänglig för växterna i jorden. Majoriteten hyperackumulerande växter fokuserar ofta på upptag av biotillgängliga metaller vilka inte nödvändigtvis är de skadligaste metallerna. Leštan (2006) beskriver ett försök gjort på, för växter, otillgängliga metaller i jorden där man med tillsats av Etylendiamintetraättiksyras (EDTA) tillgängliggör bly för vegetationen. I försöket används vegetation med snabbväxande biomassa som kräver stora mängder vatten och näringsämnen för snabb tillväxt. De presenterar även en lösning på hur man med hjälp av ett filter kan minska erosion av tillgängliggjorda ämnen och därmed även spridning av dessa. Resultatet visar på att den snabbväxande vegetationens upptag av de annars svårtillgängliga ämnena ökar betydligt under inverkan av EDTA (Leštan, 2006).

En annan studie som genomförts är iakttagelsen av metallupptag hos en salixplantering under inverkan av slamgödsling. För två ämnen, kadmium och zink, var upptaget större under inverkan av slamprodukterna däremot var upptaget av övriga metaller reducerat jämfört med en plantering utan slamgödsling. Däremot var salixplanteringen fortfarande 3-5 gånger bättre på att ta upp kol än vår traditionella skog (Tlustoš et.al, 2006).

I *“Searching for Genes Involved in Metal Tolerance, Uptake and Transport”* skriver Hassinen et.al (2006) om utvecklingspotentialen för fyto Remediering. Hassinen et.al

(2006) menar att genom att optimera vegetationens upptag av föroreningen, translokation av aktuellt ämne, toleransen mot detta och samtidigt optimera tillväxten hos berörd växt kan processen effektiviseras. Vidare menar Hassinen et.al (2006) att för att möjliggöra detta krävs god kunskap i vilka gener som är aktuella i de olika fytoremedieringsprocesserna samt vilka dess funktioner är.

3.3 Vegetationens rening av luft

Huruvida vegetationen kan bidra till minskade luftföroreningar samt hur effektiv dess rening är beror på ett flertal olika faktorer (Janhäll, 2015) och kan variera lokalt (Bolund och Hunhammar, 1999). Det beror dels på vindhastighet, vegetationens egenskaper i form av porositet, plantering- och växtstruktur, relativ luftfuktighet men även vilken förorening det rör sig om (Janhäll, 2015). Utöver dessa är bladstruktur och vegetationstyp ytterligare två avgörande faktorer (Litschke och Kuttler, 2008).

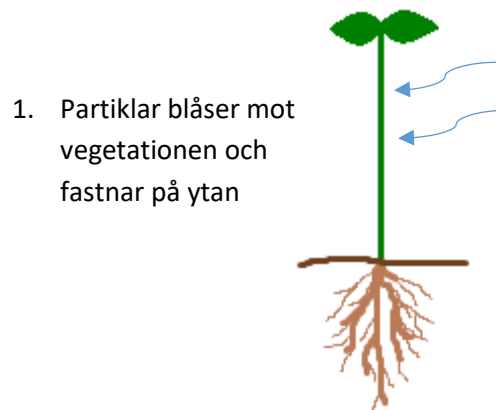
Den process, där ett ämne i luften överförs till vatten, mark eller vegetation kallas för deposition och delas in i två kategorier; torr- samt våtdeposition (Nationalencyklopedin). Torrdeposition är mest effektiv i situationer gällande grova partiklar medan våtdeposition är mest effektiv gällande mindre partiklar (EPA, 2009). Hur effektiv respektive metod är varierar beroende på flera olika faktorer.

3.3.1 Våtdeposition

Våtdeposition minskar föroreningar i luften genom att nederbörd för med sig partiklar ner till mark och vatten. Nederbörd som hamnar på vegetation kan skölja av tidigare torrdeponerade partiklar som på så sätt frigörs till miljön igen. Lågintensiva regn kan dock i vissa fall återfukta uttorkade delar av bladet och därmed öka upptaget (EPA, 2009).

3.3.2 Torrdeposition

Torrdeposition, som demonstreras i figur 11, går ut på att luftpartiklar deponeras av vegetationen (Stolt, 1982) och kommer därav att vara den process som är av störst vikt för uppsatsen.



Figur 11. Vegetativ deposition av partiklar.

En viktig faktor vid torrdeposition är vindhastighet. Ju högre hastighet, desto högre mängd partiklar deponeras. Vindhastigheten ökar med höjden vilket medför att en plantering bestående av träd kommer deponera en större mängd partiklar än ett buskage. Samma princip gäller för trädplanteringar där bestånd med högre krontak kommer att deponera partiklar mer effektivt (Janhäll, 2015). Trädkronor hos barrträd når generellt en högre höjd än lövträd och utsätts därmed för en större vindhastighet. Även porositet i trädkronan är avgörande för vilken mängd som deponeras. Hög porositet är mer optimalt eftersom tät vegetation kan tvinga luften att röra sig runt om vegetationen istället för igenom den (Janhäll, 2015).

I ett vegetativt bestånd är depositionen mest effektiv i utkanten då vindhastigheten är större där. Samma princip gäller för vegetation i vindutsatta sluttningar. Vegetation minskar generellt vindhastigheten och bestånd med varierande höjd samt artsammansättning har högre upptagning av partiklar än monoton, låg vegetation (Janhäll, 2015). I ett bestånd varierar även typen av partiklar för det övre krontaket jämfört med vegetationen innanför. Depositionen av grova partiklar domineras vid det övre krontaket medan depositionen av fina partiklar är mer jämnt fördelad i hela krontaket (EPA, 2009).

Utsläppen inne i städerna är störst nära industrier samt vid angränsning till högt trafikerade vägar. Reningen av luften är mest effektiv nära källan och därför bör planteringen ske i anslutning till utsläppskällan för en optimal effekt (Janhäll, 2015). Vid val av vegetation i anslutning till vägar bör både vegetationstyp samt rådande vindförutsättningar tas i beaktning (Janhäll, 2015). Enligt Johansson et.al (2009) bör vegetationen i urbana miljöer bestå av en kombination av barr- och lövträd för att optimera dess renande effekt på miljön. Barrträden är nämligen mer effektiva vid deposition, men lövträden förefaller mer tåliga mot en del luftföroreningar och är mer effektiva vid absorbering av gaser (Stolt, 1982).

Samma princip gäller för vegetation i vägkanter där deposition av grova partiklar tenderar att deponeras nära källan (EPA 2009). Här måste det dock tas i beaktande att vegetation längs vägkanter även kan fungera som en barriär och ha motsatt effekt då vindrörelsen längs vägen förändras och luftutbytet försämras. Luften blir insluten av ett vegetativt krontak och beblandas därmed mindre med den renare luften utanför (Janhäll, 2015). På så sätt isoleras gatuluften och därmed minskas utspädningen av denna. Därav stiger den lokala koncentrationen av föroreningarna istället för att reduceras (Janhäll, 2015). I vissa fall kan detta vara positivt då föroreningarna koncentreras till specifika områden och inte sprider sig i samma utsträckning. Är visionen att människor ska vistas i berörd luft bör dock vegetationens utformning vara väl genomtänkt för att inte exponera befolkningen för höga koncentrationer av farliga ämnen (Janhäll, 2015).

Förutom ovannämnda aspekter som bör tas i beaktning vid torrdeposition är bladytan och bladformen hos vegetationen viktig. Fördelaktiga egenskaper för bladen är klibbighet, och att vara grova alternativt ha en varierad ytstruktur. Partiklarna ansamlas främst på övre sidan av bladet och gärna på bladskaftet och mittnerven. Barren är mer effektiva på att deponera föroreningar än bladen (EPA, 2009).

3.4 Vegetationsytor

Vegetationsytorna som diskuteras nedan är valda dels på grund av dess renande egenskaper, men även på grund av dess användning i urbana miljöer. Viktigt att ha i åtanke är att det kan råda en stor variation inom varje kategori beroende på art- och sortval. Här ses det till varje vegetationsytas generella egenskaper, även om flera av

vegetationsytorna kan innehålla specifika arter som avviker från dessa. Därför är det av stor betydelse att vid varje projekt vara väl påläst om såväl vegetationens som den specifika platsens förutsättningar. För att uppnå optimal reningseffekt måste vald vegetation vara anpassad till aktuell plats. Eftersom arbetet främst har fokus på anläggningar i urban miljö är det viktigt att även ha dess sociala värde samt övriga ekosystemtjänster i åtanke då dessa väger väldigt tungt för vegetationsval i städerna.

3.4.1 Träd

Lövträd är vanligt förekommande i den urbana miljön och förser omgivningen med diverse ekosystemtjänster (Colding och Marcus, 2013). Med stor biomassa krävs mycket resurser för att överleva och därmed förbrukas stora mängder vatten som för med sig diverse ämnen. Rotsystemet behöver vara stort för att kunna förankra och stabilisera hela trädet (Malmö stad, 2005). Ett stort rotsystem är fördelaktigt vid fytoremediering då det får kontakt med en större mängd föroreningar. Träd är dock kostsamma vid inköp och kräver etableringsskötsel samt att de kan vara problematiska i anslutning till fasader och trafik då fri höjd måste tas i beaktning (Ängelholms kommun, 2010).

3.4.1.1 Lövträd

Lövträd är bra på gasutbyten och även mindre känsliga mot avgaser. Löven faller under vinterhalvåret vilket innebär mindre rengörande aktiviteter under den perioden (Stolt, 1982).

3.4.1.2 Barrträd

Majoriteten av barrträden är vintergröna och håller sina barr året om. Således är barrträden effektiva rengörare under en större del av året. Dessutom har barren, som tidigare nämnt, en mer effektiv deposition än löv vilket medför att de kan deponera en större mängd partiklar än vad löv kan. De är dock känsligare än lövträd mot avgaser och därför är alla inte lämpliga vid stora vägar eller högtrafikerade områden (Stolt, 1982). Hög vindhastighet påverkar lövträden på sådant sätt att löven rör sig mot varandra och ökar därmed tätheten i kronan. Mängden partiklar som deponeras reduceras och barrträden är således mer effektiva på att deponera vid hög vindhastighet (Janhäll, 2015).

3.4.2 Hyperackumulerande växter

Hyperackumulerande växter kan ackumulera höga koncentrationer av något förorenande, för jorden främmande, ämne. Växten ackumulerar då ämnet till så pass stor mängd att koncentrationen i växten överskrider koncentrationen i kringliggande jord (The Free Dictionary, 2014). Denna typen av växter har ofta en låg biomassa och därför behöver den totala mängden av det upptagna ämnet inte alltid bli så stor trots en hög koncentration inuti växten. Dessutom är de ofta långsamväxande och fokuserar i många fall på ett specifikt eller enstaka ämnen. Många metallberikade jordar innehåller joner från flera olika typer av metaller (Diaz och Kirkham, 2007). Därför, för att framgångsrikt kunna använda sig av hyperackumulerande växter vid fytoremidiering, krävs det en plantering bestående av varierande arter som fokuserar på olika metaller för att påverka koncentrationen av samtliga metalljoner. Fördelen med att använda sig av hyperackumulerande växter vid fytoextraktion är att de ansamlar en hög koncentration på en liten yta och därmed blir transporten av skörden mindre (Diaz och Kirkham, 2007).

3.4.3 Snabbväxande växter med stor biomassa

Vegetation med snabb tillväxt kräver mycket resurser. För en så lyckad remedieringsprocess som möjligt bör målet vara att optimera tillväxten. Detta uppnås genom god gödsling, bevattning och en lång skördecykel (Willey, 2007). För denna vegetationstypen är vattenförbrukningen stor och vid transport av vatten följer även näringsämnen och eventuella föroreningar med in i växten. En annan positiv effekt är att mängden vatten som via erosion spolar bort många näringsämnen, minskar eftersom att det tas upp av växten. Resultatet av detta blir en minskad risk för såväl urlakning som övergödning och försurning av vattendrag (Tlustoš et.al, 2006).

Vegetation med stor biomassa har ofta stora rotsystem för att kunna förankra och stabilisera hela växten (Malmö stad, 2005) vilket är fördelaktigt i ett flertal fytoremedieringsprocesser. Växter med snabb tillväxt benämns ofta som pionjärer. De växer fort och har en kort livslängd (Orvesten et.al, 2003).

3.4.4 Gräsmattor

Gräsmattor är vanligt förekommande i städer och har ofta ett högt socialt värde med funktion som mötesplats. De är kostsamma, kräver mycket skötsel (Stockholms stad, u.å) och är snåla med ekosystemtjänster som bidrar med något positivt ur rent miljöperspektiv. Dess värde som sällskapsyta bör dock tas i beaktande. I detta arbete syftar gräsmattor främst till de bruksgräsmattor som används frekvent i städer.

3.4.5 Gröna tak och väggar

Gröna tak och väggar är en yta som idag är väldigt aktuell då förtätningen av städerna ökar. Kanske är vegetationen i sig inte lika effektiv för rening som andra ytor då det ofta är vegetation av mindre storlek som används, däremot kan de göra en liten skillnad genom att annars hårdbelagda ytor blir vegetativa. Vegetationen fungerar isolerande för både värme och kyla och kan därmed minska energikostnaderna för uppvärmning av hus. Anläggning av gröna väggar och tak är dock kostsamt (Stockholms stad, 2015). I detta arbete utgås det från att växtligheten på gröna tak och väggar är har låg biomassa.

3.4.6 Funktioner

Tabell 1. En tabell över olika vegetationsytor samt vilka saneringsmetoder de kan använda.

Vegetationsytor	Funktioner			
	Fytodegradering	Fytoextraktion	Fytoavdunstning	Hydraulisk kontroll
Lövträd		x	x	x
Barrträd		x	x	x
Hyperackumulerande växter		x		
Snabbväxande växter med stor biomassa		x	x	x
Gräsmattor			x	
Gröna tak och väggar	x	x	x	

Vegetationsytor	Funktioner			
	Deposition av partiklar	Rhizofiltrering	Rhizodegradering	Fytostabilisering
Lövträd	x			x
Barrträd	x			x
Hyperackumulerande växter				
Snabbväxande växter med stor biomassa	x			x
Gräsmattor				
Gröna tak och väggar			x	

Vad gäller deposition av partiklar är det främst högväxande vegetation som gör skillnad, varför träd och snabbväxande vegetation med stor biomassa är aktuella. Detsamma gäller för fytostabilisering och hydraulisk kontroll där det är fördelaktigt att ha en stor biomassa. Fytoextraktion är den metod som i princip alla vegetationsytorna kan utföra, dock med en stor variation i effektivitet. De som är mest effektiva på extraktionen är hyperackumulerande växter samt snabbväxande växter med stor biomassa eftersom den ena är bra på att ta upp höga koncentrationer medan den andra är bra på att förbruka resurser. Även fytoavdunstning är en metod som de flesta ytorna kan tillämpa eftersom det har med transpirationen att göra.

Rhizofiltrering är den enda metoden som, enligt tabell 1, inte täcks av någon vegetationsyta. Detta beror på att tabellen, som tidigare nämnt, är baserad på varje ytas generella egenskaper. Rhizofiltrering skulle eventuellt med rätt artval kunna utföras av ett flertal av ytorna men det täcks som sagt inte av de generella egenskaperna.

4. Diskussion

4.1 Vegetationsytorna och deras funktioner

Diskussionen kring reningsprocesser och vegetationsval tar en otroligt bred inriktning med tanke på de flertalet aspekter som är avgörande för dess effektivitet. De olika vegetationsytorna har olika egenskaper både när det kommer till mark och vatten respektive luftreningsprocesser men också när det kommer till vilka specifika föroreningar som de kan ta hand om. Vegetationsytorna är dessutom olika när det kommer till vilka förutsättningar miljön måste erbjuda för att de ska kunna leva där.

Det är således viktigt att fokus ligger på kunskap. Det behövs kunskap om den specifika platsen och vilka föroreningar som finns för att kunna välja vilken reningsmetod som är bäst lämpad. Även kunskap om vilka växter som kan hantera de rådande förutsättningarna på aktuell plats och vara effektiva rengörare under omständigheterna behövs. Utöver det bör kunskap om vilken vegetation som är bäst lämpad för platsen ur ett stadsplaneringsperspektiv vägas in.

Barr- och lövträd är bra exempel på typ av vegetation som har möjlighet att rena miljön genom både fytoextraktion, fytoavdunstning, hydraulisk kontroll, deposition av partiklar samt fytostabilisering. Detta beror till stor del på deras storlek. Stora växter kräver stora mängder näring och vatten och stabiliserar jorden med stora, utvecklade rotsystem. Stora rotsystem ökar även chansen att hitta en större spridning av föroreningar eftersom att rötterna kommer befinna sig dels på en större yta men också på ett mer varierat djup och därmed stöta på en variation av tillgängliga föroreningar. Träden förser städerna med många ekosystemtjänster inom flera olika kategorier. Däremot är de kostsamma och tar stor plats både ovan och under mark vilket i en del situationer kan göra dem mindre lämpade för en del platser.

Skillnaden mellan de båda trädtyperna gäller främst vid deposition av luftpartiklar där lövträden har bättre förutsättningar att överleva nära utsläppskällorna eftersom de förefaller att tåla föroreningar bättre än barrträden. Däremot har barrträden en längre säsong eftersom de behåller sina barr året om och även själva barren är mer optimalt utformade för deposition än vad löven är. För en optimal luftrengöring i städerna bör således en kombination av växter användas. Innan beslutet om barr- eller

lövträd tas bör en platsanalys göras. Var i staden befinner vi oss och hur nära utsläppskällan är vi? Befinner vi oss längs en stor trafikerad väg är det i många fall smartare att använda sig av lövträd på grund av närheten till källan medan vi lite längre bort från källan kan plantera ett barrträd. En kombination av de båda behövs i staden men var de placeras spelar stor roll för dess trivsel och effektivitet ur reningsperspektiv.

Snabbväxande växter med stor biomassa är nästa vegetationsyta som likaså den är applicerbar för många av reningsprocesserna. För vegetation att producera stor massa på kort tid kräver stora resurser varpå många processer blir användningsbara. Fördelen här är att tidsåtgången för diverse reningsprocesser kan minskas jämfört med den för trädytorna som främst är effektiva när de nått en viss volym. Snabbväxande växter räknas ofta till gruppen pionjärer som kännetecknas av deras snabba tillväxt och en kort livstid. De är kända för att ha rotsystem med låga krav på underjordiska förhållanden, men är också ofta de träd vars rötter tränger in i olika ledningar och avloppsrör.

Hyperackumulerande växter är med långsam tillväxt och liten biomassa raka motsatsen till föregående yta. Eftersom de allt som oftast specificerar sig på enstaka ämnen bergänsas användningen av växterna till betydligt färre områden än tidigare nämnda ytor. I våra tätbebyggda städer råder en utrymmesbrist i vilka fall hyperackumulerande växter kan vara fördelaktiga. Att dessa tar upp lite plats öppnar upp möjligheter att använda vegetationsytan på trängre ytor där storväxande vegetation inte får tillräckligt med utrymme. Förutsatt att kunskapen för både platsen och vegetationsvalet finns är hyperackumulerare ett bra val för att rena på lång sikt.

I städer är gräsmattor extremt vanligt förekommande vegetationsytor trots att de inte bidrar till reningen av varken luft, mark eller vatten. Detta tjänar som ett bra exempel på att vegetationens sociala värde är en central aspekt när man ser till stadsplaneringen. En förutsättning för att gräsmattor ska se inbjudande ut, och användas av allmänheten, är att de klipps flera gånger om året och i många fall städas både vår och höst. De höga skötselkostnaderna vägs således upp av att de bjuder in till socialt umgänge och diverse aktiviteter.

Gröna tak och väggar är en yta som blir allt mer aktuell i våra städer. De bidrar med grönska på annars hårdbelagda ytor i områden där utrymmet är knappt. Flera remedieringsprocesser går att utnyttja med hjälp av denna typ av planteringar, förutsatt att växtvalet är rätt. En yta som är kostsam men ändå värd att använda då den möjliggör grönska på tidigare outnyttjade ytor.

Ingen enskild vegetationsyta är, med utgångspunkt från ytornas generella egenskaper, användbar för alla rengöringsprocesser. Däremot kan en kombination av växter från olika vegetationsytor eventuellt väga upp för detta. För att behandla så många processer som möjligt behövs en välplanerad, varierad plantering. På så sätt kan variationen av växtval komma närmre att behandla samtliga tillgängliga föroreningar. För detta krävs dock, som tidigare nämnt, kunskap om vilka föroreningar som existerar på aktuell plats, vilka funktioner som behandlar dessa, vilka växter som trivs under förutsättningarna och även hur de olika växterna lever i förhållande till varandra.

4.2 Kunskap

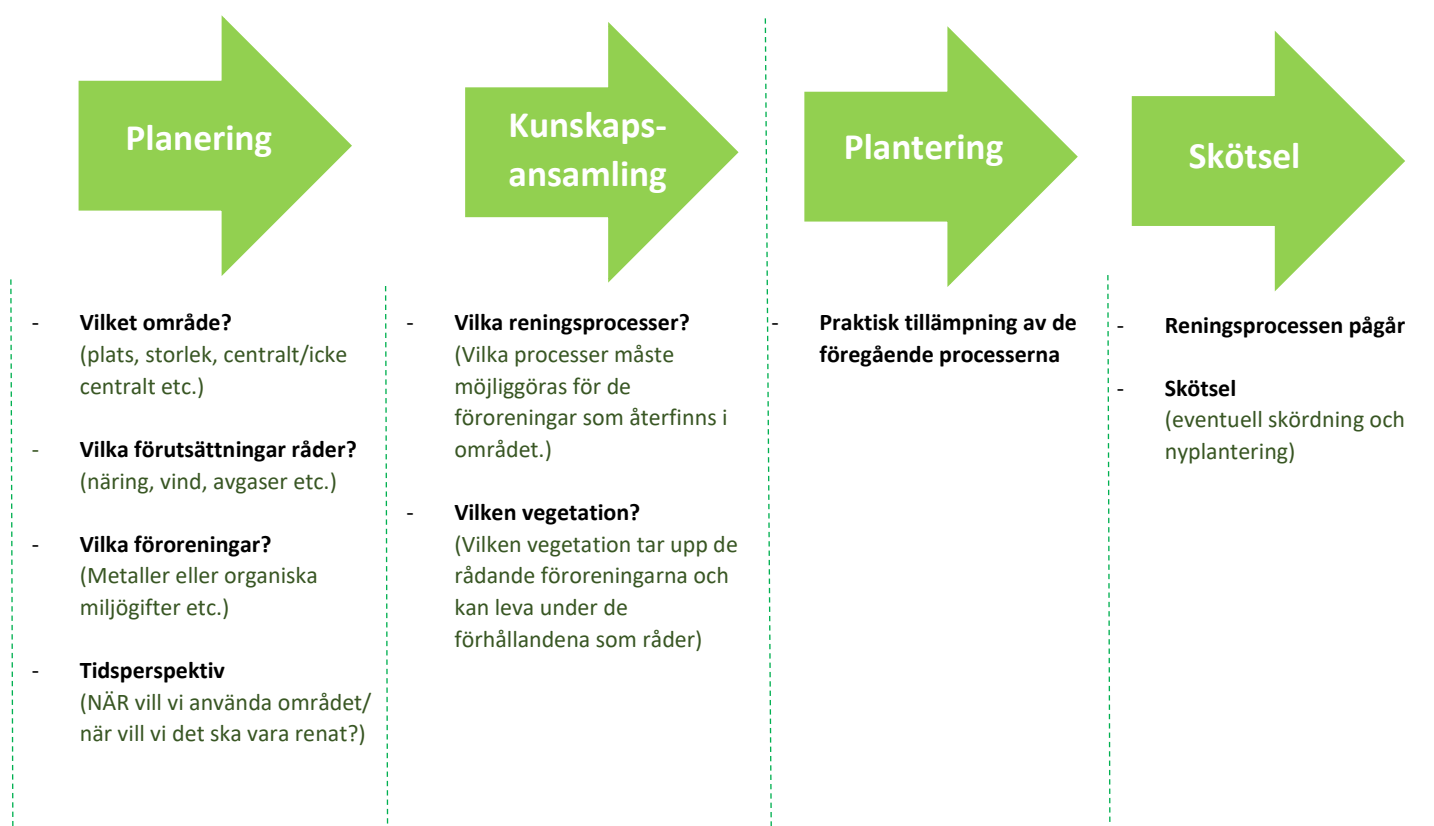
Förutsatt att genforskningen utvecklas och en större kännedom för vilka gener som är delaktiga i de olika processerna framkommer, skulle förhoppningsvis även enklare planteringar kunna förekomma med samma resultat. Lyckas man kombinera gener från hyperackumulerare med snabbväxande växter borde enskilda träd kunna ansamla betydligt större mängder av föroreningar utan att tillförseln blir toxisk för värdväxten. Eventuellt kan det även reducera läckaget som idag uppstår på grund av olika tillsatser, till exempel EDTA, i jorden. En sådan åtgärd tas för att öka föroreningarnas biotillgänglighet men resulterar ofta i att de växttillgängliga ämnena blir för stor mängd i förhållande till vad som kan tas upp av vegetationen. Genom att öka upptagningsförmågan hos vegetationen skulle läckaget från en sådan process minska och därmed öppna upp för möjligheten att använda denna metod i större utsträckning.

Att rena mark, luft och vatten med hjälp av vegetationen är således en tidskrävande process inte minst med tanke på den tidsåtgång som reningsprocessen kräver utan även med tanke på den tidsåtgång som kommer att krävas vid planering och

kunskapsansamling för att uppnå optimal effekt av vegetationen. Detta till trots så är naturliga in situ metoder ett miljövänligt och ofta mindre kostsamt alternativ.

4.3 Planering

Genom att kombinera god framförhållning med smarta vegetationsval kan den växtliga reningsprocessen användas i förebyggande syfte. Områden som ännu inte är högrisk-klassade och inte måste behandlas akut lämpar sig bra för vegetativ rening. Finns det bara en plan för områden som på sikt önskas användas kan fyto Remedieringens positiva effekter väga upp för dess tidsineffektivitet.



. Figur 12. Planeringsprocessen bakom en lyckad reningsprocess.

Innan vegetation kan användas som reningsmetod krävs planering. I Figur 12 visas en översikt på hur en planeringsprocess skulle kunna ses i framförallt två delar; den teoretiska och den praktiska biten. I första fältet finns de grundläggande bitarna, själva planeringen. Vad är målet? Vilka föroreningar finns på platsen? Vilka förutsättningar råder på platsen? När vill vi att ytan ska vara renad? Därefter kommer vi till spalt två som bygger på kunskap. Här måste vi samla fakta och därefter utnyttja vår kunskap.

Vilka reningsprocesser är lämpliga? Vilka vegetationsytor är optimala? Vilken art respektive sort är bäst lämpad? Detta motsvarar den teoretiska biten, varpå den praktiska tar vid när planteringen aktualiseras. Den innefattar både anläggning och sedan skötsel av ytan.

Prognoserna för människans fortsatta påverkan på miljön, i takt med urbanisering och konsumtionsvanor, belyser belastningen som miljön får utstå. Centralt för diskussionen om en hållbar miljö och ett hållbart samhälle är således de incitament som skapas för aktörer att välja klimatsmart i kontrast till exempelvis de idag mer effektiva alternativen (från ett tidsperspektiv).

4.4 Vegetativ rening, en lönsam investering

Från ett stort samhällsperspektiv är det, som argumenteras ovan, mer ekonomiskt lönsamt att använda vegetationen som reningsprocess än till exempel schaktning eller deponi. Detta till trots så är situationen för de enskilda företagen och verksamheterna många gånger den motsatta eftersom investeringsalternativen (i form av tid, kunskapsansamling, plantering samt skötsel) kan komma att vara dyrare utan att generera större avkastning och lönsamhet. Den högre kostnaden är också starkt sammankopplad till den planeringsaspekt som tidigare diskuterats. Det är inte alltid en sådan framförhållning, som krävs för rening med hjälp av vegetation, finns.

Därmed vågar jag påstå att framtida mål, för att öka användningen av gröna reningsverk, borde vara att höja incitamenten - så att de gör samhällsnyttan rätta. Det måste således vara lönsamt att planera. Förslag på åtgärder för att gynna en sådan förändring skulle kunna vara att subventionera arbete inte endast för högrisk-klassade områden utan även för områden där rening i förebyggande respektive långsiktigt syfte.

5. Slutsats

Hur påverkar olika typer av vegetationsytor mark- luft- och vattenrening?

Att vegetation renar miljön är allmänt känt. Vilken påverkan olika vegetationsytor har på reningen av miljön är dock svårt att avgöra då det helt beror på rådande förutsättningar på varje specifik plats. Varje yta har sina för- respektive nackdelar och kommer vara effektiv endast under, för vegetationsytan, trivsamma förutsättningar. En del ytor är fördelaktiga att använda vid vattenrening och en del vid rening av mark. Vissa vegetationsytor omvandlar metaller, andra samlar på sig partiklar. Generellt gäller att för att kunna utnyttja alla reningsprocesser måste olika vegetationsytor kombineras.

Finns det vegetationsytor som är bättre respektive sämre på att rena miljön?

Fördelaktigt inom många metoder i fyto Remediering och luftrening är att ha stor biomassa, i vissa fall både ovan och under mark, vilket medför att vegetationsytor med hög biomassa oftare är fördelaktiga jämfört med mer småväxta vegetationsytor. En del vegetationsytor är effektiva inom flera metoder, vilket nödvändigtvis inte behöver betyda att de är bättre för det. Det innebär att de är applicerbara vid fler tillfällen men inte att de är bättre på att utföra specifika metoder än de ytor som har ett mer begränsat användningsområde. Vilken yta som är bäst på att rena miljön beror således helt på förutsättningarna.

Vilka är deras för- och nackdelar i urbana miljöer?

Vegetationsytor med stor biomassa har visat sig ha en renande inverkan på miljön genom att bidra med flera olika reningsmetoder. Däremot är det inte alltid att utrymme och kapital räcker till i vilka fall det är positivt med alternativ som tar mindre plats alternativt kostar mindre att sköta och anlägga. Trots att de ytor som producerar mindre biomassa inte kan använda sig av lika stort antal reningsmetoder är de applicerbara i situationer där mindre utrymme erbjuds. Så länge kunskapen finns kan det, genom att kombinera olika småväxta plantor, uppnås ett resultat som renar flera olika föroreningar. Gröna tak och väggar är fördelaktiga då de kan utnyttjas på ytor där ingen annan vegetation är ett alternativ, de är dock kostsamma att anlägga och sköta.

6. Förslag till framtida forskning

Det har tidigare belysts under arbetet den brist på tillgång av svensk litteratur rörande ämnet. För att utvecklingen inom området ska gå framåt måste information och forskning finnas lättillgänglig. Ämnet blir också allt mer aktuellt om det lyfts mer i svenska diskussionsforum och om studier görs inom svensk kontext. Om vi vill få en mer utbredd användning av gröna reningsverk ser jag främst att studier inom sverige görs och lyfts fram.

I denna studie, som tidigare nämnts under avgränsningar och diskussion, tar inte till fullt ut det sociala värdet av olika vegetationsval, och jag ser detta som ett viktigt komplement till ovanstående förslag för att man till fullt ut ska kunna ta beslut kring vegetation i urbana miljöer.

10. Referenslista

- Andersson, S. (2014). *Exponering, hälsoeffekter och kostnader*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/luftmiljo/exponering-halsoeffekter-och-kostnader-1.625> [2017-02-22]
- Andersson, Å. Svensson, M. (2007) *Fytoremediering -Att rena mark och vatten med växter*. Lunds Universitet. Ekologiska institutionen. Tillgänglig: http://www.renaremark.se/filarkiv/exjobb/Fytoremediering%20sa%20Andersson_Matilda%20Svensson.pdf s. 20 [2017-03-07]
- Bolan, N.S. Park, J.H Robinson, B. Naidu, R. Young Huh, K (2011). *Phytostabilization: A Green Approach to Contaminant Containment*. Volym 112. USA. Elsevier Inc.
- Bolund, P. Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics* Vol 29, s. 293-301. Tillgänglig: http://www.fao.org/uploads/media/Ecosystem_services_in_urban_areas.pdf s295-296 [2017-02-20]
- Boverket (2010). *Mångfunktionella ytor Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur*. Tillgänglig: http://www.lansstyrelsen.se/skane/SiteCollectionDocuments/sv/nyheter/2010/Mangfunktionella_ytor.pdf [2017-01-30]
- Colding, J. Marcus, L (2013). *Ekosystemtjänster i Stockholmsregionen ett underlag för diskussion och planering*. Stockholm: Länsstyrelsen i Stockholm. 2013:3. Tillgänglig: http://www.rufs.se/globalassets/h.-publikationer/ekosystemtjanster_slutversion_lowres.pdf s.10 [2017-02-13]
- Collins, C.D. *Implementing Phytoremediation of Petroleum Hydrocarbons* i Willey, N. (2007). *Phytoremediation: Methods and Reviews*. Totowa, New Jersey. Humana Press. s 104-105

Diaz, F.M. Kirkham, M.B *Testing the Manipulation of Soil Availability of Metals*. i Willey, N. (2007). *Phytoremediation: Methods and Reviews*. Totowa, New Jersey. Humana Press. s 104-105. s.122.

Dictionary.com. (2017). *In situ*. Tillgänglig: <http://www.dictionary.com/browse/in-situ> [2017-02-24]

Dowling, D.N. Macek, T (2006) *Phytoremediation and Rhizoremediation -Theoretical Background*. 9a, Dordrecht, The Netherlands. Springer. s.237-250

Ek, A. (2017). *Ingen övergödning*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Ingen-overgodning/> [2017-02-20]

Ek, A. (2016). *Regional uppföljning av miljö kvalitetsmålen 2016* Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/Global/regionala-miljomal/alla-lan/2016/regionala-bedomningar-2016.pdf> [2017-02-20]

Eklom, P. (2016). *Giftfri miljö*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/4-Giftfri-miljo/> [2017-01-23]

EPA. (2009). *Integrated Science Assessment for Particulate Matter*. EPA/600/R-08/139F Tillgänglig: [file:///C:/Users/Joanna%20Ryd%20C3%B6v/Downloads/PM_ISA_WITHOUT_ANNEXE S.PDF](file:///C:/Users/Joanna%20Ryd%20C3%B6v/Downloads/PM_ISA_WITHOUT_ANNEXE_S.PDF) kap.1 s.2-6, kap.3 s.15-20, kap.9 s.168-175 [2017-02-10]

EPA. (2000). *Introduction to Phytoremediation*. Cincinnati, Ohio. EPA/600/R-99/107. Tillgänglig: <https://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf> s.1-7, 17-24 [2017-02-20]

EPA. (2005) *Use of Field-Scale Phytotechnology for Chlorinated Solvents, Metals, Explosives and Propellants, and Pesticides*. https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/phytotechnology_ch_solv_542-r-05-002.pdf s.7 [2017-02-10]

Fletcher, J. (2006) *Introduction*. I Mackova, M. Dowling, D.N. Macek, T (2006) *Phytoremediation and Rhizoremediation -Theoretical Background*. 9a, Dordrecht, The Netherlands. Springer. s.1-3.

Folkesson, L. (2005). *Spridning och effekter av tungmetaller från vägar och vägtrafik. Vti: Linköping. Rapport 512*. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:675253/FULLTEXT01.pdf> s.17 [2017-01-23]

Genberg, J. (2016). *Bara naturlig försurning*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/3-Bara-naturlig-forsurning/> [2017-01-29]

Eklom, P. (2016). *Giffri miljö*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/4-Giffri-miljo/> [2017-01-26]

Hedlund, B. (2016a). *Flamskyddsmedel i miljön* Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Organiska-miljogifter/Flamskyddsmedel/> [2017-01-27]

Hedlund, B. (2016b). *Oavsiktligt bildade miljögifter* Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Organiska-miljogifter/Oavsiktligt-bildade-miljogifter/> [2017-01-27]

Janhäll, S. (2015). *Vegetationens inverkan på luftmiljön*. LiU-Tryck, Linköping. VTI rapport 876. Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:885285/FULLTEXT01.pdf> s. 16-20 [2017-02-22]

Johansson, AK. Kollberg, S. Bergström, K. (2009). *Grönområden för fler -en vägledning för bedömning av närhet och attraktivitet för bättre hälsa* Tillgänglig: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/pagefiles/12222/R2009-2-Gronomraden-for-fler.pdf> [2017-02-20]

Kemikalieinspektionen. (2016). *Bekämpningsmedel* Tillgänglig: <http://www.kemi.se/hitta-direkt/bekampningsmedel> [2017-02-20]

Kemikalieinspektionen och Miljömålsportalen. (2010). *Utsläpp i siffror, Kolmonoxid*. Tillgänglig: <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Andragaser/Kolmonoxid-CO/> [2017-02-09]

Kyrklund, T. (2017a) *Fakta om kväveoxider i luft*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftfororeningar/Kvaveoxider/> [2017-02-20]

Kyrklund, T. (2016). *Fakta om partiklar i luft* Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftfororeningar/Partiklar/> [2017-02-13]

Kyrklund, T. (2017b). *Luftföroreningar och dess effekter*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftfororeningar/> [2017-02-20]

Linderholm, L. (2016a) *Fakta om arsenik och arsenikföreningar*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/Arsenik-As/> [2017-02-20]

Linderholm, L. (2016b) *Fakta om kvicksilver*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/Kvicksilver-Hg/> [2017-02-20]

Larsson, O (2016a). *Bara naturlig försurning*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Bara-naturlig-forsurning/> [2017-02-16]

Larsson, O (2016b). *Färre försurade sjöar*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vatten/Forsurade-sjoar/> [2017-02-20]

Leštan, D. *Enhanced heavy metal phytoextraction* I Mackova, M. Dowling, D.N. Macek, T (2006) *Phytoremediation and Rhizoremediation -Theoretical Background*. 9a, Dordrecht, The Netherlands. Springer. s115-128

Limmer, M. Burken, J. (2016) *Phytovolatilization of Organic Contaminants*.
Tillgänglig: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b04113> [2017-02-27]

Linderholm, L. (2016). *Metaller som miljögift*. Tillgänglig:
<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/> [2017-01-23]

Litschke, T. Kuttler, W. (2008). *On the reduction of urban particle concentration by vegetation – a review*. Tillgänglig: https://www.uni-due.de/imperia/md/content/geographie/klimatologie/104_on_the_reduction_of_urban_particle_concentration.pdf [2017-01-26]

Livsmedelsverket (2016). *Dioxiner och PCB* Tillgänglig:
<https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/miljogifter/dioxiner-och-pcb/> [2017-02-23]

Länsstyrelsen Örebro Län. (u.å) *Miljöproblem - miljögifter i vatten*. Tillgänglig:
<http://www.lansstyrelsen.se/Orebro/Sv/miljo-och-klimat/vatten-och-vattenanvandning/miljoproblem-och-atgarder/miljogifter/Pages/index.aspx> [2017-02-20]

Ma, X. & J. G. Burken (2003) TCE diffusion to the atmosphere in phytoremediation applications. *Environmental Science & Technology*, Vol. 37, s. 2534-2539. DOI: 10.1021/es071552l.

Malmö stad. (2005). *Trädplan för malmö*. Tillgänglig:
<http://malmo.se/download/18.7de6400c149d2490efb90a48/1417528860967/Tradplannwebb.pdf> s.28 [2017-02-20]

Mattson, B. (u.å). *Läkemedel och miljö* Tillgänglig:
<http://www.lif.se/grundfakta/lakemedel-och-miljo/> [2017-02-21]

McCutcheon S.C. Schnoor J.L. (2003) *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants*. Canada. John Wiley and sons inc.

Miljömål.se (2016a). *Marknära ozon. Tillgänglig:*

<http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=104&pl=1> [2017-02-22]

Miljömål.se. (2016b). *Steg framåt mot de svenska miljömålen – årlig uppföljning av miljömålen 2016. Tillgänglig:* <http://www.miljomal.se/au> [2017-02-20]

Nationalencyklopedin. *deposition. Tillgänglig:*

[http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/deposition-\(meteorol\)](http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/deposition-(meteorol)) [2017-01-26]

Nationalencyklopedin. (2017a). *Fytoremediering. Tillgänglig:*

<http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/s%C3%B6k/?t=uppslagsverk&q=fyto remediering> [2017-02-13]

Naturvårdsveket (2009) *Biotillgänglighet som företeelse och vid riskbedömningar av förorenade områden. Naturvårdsverket. Rapport 5895. Tillgänglig:*

<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5895-1.pdf> s.8 [2017-02-16]

Naturvårdsverket (2014). *PCB i miljön. Tillgänglig:*

<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Organiska-miljogifter/PCB/> [2017-02-20]

Norström, K. (2016). *Gifter i miljön. Tillgänglig:* <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/> [2017-01-23]

Norström, K. (2017). *Perfluorerande ämnen i miljön Tillgänglig:*

<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Organiska-miljogifter/Perfluorerade-amnen/> [2017-02-20]

Orvesten, A. Kristoffersson, A. Ståhl, Ö. (2003) *Trädrötter och ledningar – goda exempel på lösningar och samverkansformer. Svenskt vatten AB. Rapport 2003-31.*

Tillgänglig: http://vav.griffel.net/filer/VA-Forsk_2003-31.pdf [2017-02-15]

Oxford Reference. (2017). *Ex situ* Tillgänglig:
<http://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110810104854504>
[2017-02-24]

Petersson, G. (2008). *Kolväten*.
Tillgänglig: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/72646.pdf> s5 [2017-02-20]

Pivetz, B.C (2001) *Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites*. Washington D.C. EPA. EPA/540/S-01/500. Tillgänglig:
https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa_540_s01_500.pdf

Raskin, I. Smith, R.D. Salt, D.E. (1997). Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Plant Biotechnology*. 8:221–226. Tillgänglig:
file:///C:/Users/Joanna%20Ryd%20C3%B6v/Downloads/Phytoremediation_of_metals_using_plants.pdf [2017-02-22]

Sabelström, H. (2016). *Exponering av marknära ozon, AOT40*. Tillgänglig:
<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Ozon---exponering-av-marknara-halter-i-luft-regional-bakgrund-AOT40/> [2017-02-17]

SMHI (2016b) *Svaveldioxid*. Tillgänglig: <http://www.smhi.se/reflab/om-luftfororeningar/luftfororeningar/svaveldioxid-1.19621> [2017-02-20]

Stockholms stad. (2017). *Ekosystemtjänster*. Tillgänglig:
<http://www.stockholm.se/Fristaende-webbplatser/Fackforvaltningssajter/Fastighetskontoret/Hallbara-fastigheter/Ekosystemtjanster/> [2017-02-20]

Stockholms stad. (2015). *Ekosystemtjänster, grön företagsamhet och levande system i Stockholms företagsområden*. Stockholm: Cleantech Högdalen / Stockholm Business Region Development. Tillgänglig: <http://cleantechhogdalen.se/wp-content/uploads/2015/10/Ekosystemtj%C3%A4nster-i-Stockholms-f%C3%B6retagsomr%C3%A5den.pdf> [2017-02-21]

Stolt, E. (1982). *Vegetationens förmåga att minska expositionen för bilavgaser*. Göteborg: Göteborgs Hälsovårdsförvaltning. s.3-5

Söderberg, K. 2003. *Bacterial Activity and Community Composition in the Rhizosphere. Influence of plant species, root age, nitrogen addition and mycorrhizal status*. Tillgänglig: <http://lup.lub.lu.se/refmole/detail/7195080c-b9f0-4954-97c7-8a31e330c8b3?style=harvard1>. s.124. [2017-02-21].

The Free Dictionary (2014). *Hyperaccumulator*.

Tillgänglig: <http://www.thefreedictionary.com/hyperaccumulator> [2017-02-27]

Tlustoš, P. Pavlíková, D. Száková, J. Fischerová, Z. Balík, J. *Exploitation of fast growing trees in metal remediation* i Mackova, M. Dowling, D.N. Macek, T (2006) *Phytoremediation and Rhizoremediation -Theoretical Background*. 9a, Dordrecht, The Netherlands. Springer. s.83-102

Vosátka, M. Rydlová, J. Sudová, R. Vohník, M (2006). *Mycorrhizal Fungi as Helping Agents in Phytoremediation of Degraded and Contaminated Soils* i Mackova, M. Dowling, D.N. Macek, T (2006) *Phytoremediation and Rhizoremediation -Theoretical Background*. 9a, Dordrecht, The Netherlands. Springer. s.237-257.

Vägverket. (2006). *Vegetationsetablering på erosionskänsliga slänter Riksväg 32, söder om Mjölby*. Borlänge: Vägverket. Tillgänglig: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/12200/RelatedFiles/2006_45_vegetationsetablering_pa_erosionskansliga_slanter_riksvag_32_soder_mjolby.pdf s.3 [2017-02-20]

Willey, N. (2007). *Phytoremediation: Methods and reviews*. Totowa, New Jersey. Humana Press. s.v-vii.

WWF (2015). *Grönare städer -Framtidens städer*. Solna: Världsnaturfonden WWF. Tillgänglig: http://www.wwf.se/source.php/1618757/14-4026_urbangr%F6nska_151018_2.pdf [2017-01-30]

Ängelholms kommun. (2010) *Trädplan för Ängelholm*. Ängelholm: Ängelholms kommun. Tillgänglig:

<http://engelholm.se/Documents/Bygga,%20bo%20och%20milj%C3%B6/Park%20och%20natur/Tr%C3%A4dplan%202010.pdf> s13-16 [2017-02-20]