



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU  
Kandidatexamensarbete, 15 hp

## FYTOREMEDIERING

Ett hållbart sätt att tillgängliggöra förorenad mark?



Jennie Kind

Fakulteten för Landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap  
Område Landskapsarkitektur, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) Alnarp  
Landskapsarkitektprogrammet  
2012-05-23



# SLU, Sveriges Lantbruksuniversitet

Fakulteten för Landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap  
Område Landskapsarkitektur

**Författare:** Jennie Kind

**Titel (sve):** Fytoremediering- ett hållbart sätt att tillgängliggöra förorenad mark?

**Title (eng):** Phytoremediation- a sustainable method to make contaminated soil available again?

**Nyckelord (6-10 st):** Fytoremediering, phytoremediation, efterbehandlingsåtgärder, urban planering, förorenad mark, tungmetaller, organiska föroreningar, brownfields

**Handledare:** Helena Mellqvist, Område Landskapsutveckling, SLU Alnarp

**Examinator:** Eva-Lou Gustafsson, Område Landskapsutveckling, SLU Alnarp

**Kurstitel:** Kandidatexamensarbete i Landskapsplanering

**Kurskod:** EX0650

**Omfattning (hp):** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** G2E

**Serienamn:** Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2012

**Program/utbildning:** Landskapsarkitektprogrammet

Framsidas bild:

Figur 1: Södra industriområdet i Landskrona, vintern 2012. (Foto: Jennie Kind, 2012-01-31)

# SAMMANDRAG

Fytoremediering är samlingsnamnet på den marksaneringsmetod som utnyttjar växters förmåga att tolerera, extrahera, degradera eller stabilisera olika typer av föroreningar i mark och vatten. Att växters olika egenskaper genom historien använts för att utveckla och förbättra förutsättningar i bl.a. jordbruket är ingenting nytt. Vi lever i en tid där ett allt högre tryck på naturen och jordens resurser påverkas av att vi blir fler och fler människor som ska dela på dem. I våra postindustriella städer finns många restytor påverkade av de verksamheter som tidigare huserat där, med förorenad och förstörd mark som följd. Målet med uppsatsen har varit att reflektera över om/hur fytoremediering kan vara ett alternativt verktyg att använda sig av i dagens stadsplanering. I arbetet presenteras den teknik och de processer som ingår i begreppet fytoremediering övergripande, begränsningar och möjligheter tas upp för att kunna göra en jämförelse med traditionella saneringsmetoder som schaktning, destruktion och deponering av förorenade jordmassor.

Syftet med uppsatsen har varit att få en bredare kunskap kring positiva och negativa aspekter av att med hjälp av växter sanera mark och vatten. I mitt arbete har jag haft två huvudfrågor som jag sökt svar efter genom sammanställningen av litteraturstudien i uppsatsen. *Är fytoremediering ett hållbart sätt att tillgängliggöra förorenad mark på?* Denna första fråga fick även följdfrågorna; hur fungerar det, vilka biologiska och estetiska värden kan uppnås samt vilka problem och möjligheter finns med metoden. Min andra frågeställning blev: *är rening av mark och vatten med hjälp av växter lämpligt att använda sig av i ett stadsplaneringssammanhang?*

Resultatet av arbetet visar att fytoremediering är en metod som har framtiden för sig, där växternas egenskaper kan utnyttjas på flera olika plan, men att metodens fullständiga potential ännu inte nyttjas fullt ut.

## Nyckelord:

Fytoremediering, phytoremediation, efterbehandlingsåtgärder, urban planering, förorenad mark, tungmetaller, organiska föroreningar, brownfields

# ABSTRACT

Phytoremediation is the name of the technology that uses the possibility of green plants to tolerate, extract, degrade or stabilize different types of pollutants in soil and water. The use of different qualities of plants to enhance and improve soils in for example agricultural sciences has been used for a long time. We're living in a time where an increase of population worldwide leads to a high pressure on our environment and on our natural resources. There are many residual areas/brownfields in our postindustrial cities due to the activities of industries with polluted and destroyed soil and water as a consequence. The goal of this essay has been to reflect on if/how phytoremediation can be an alternative tool in the planning of today's urban areas. This paper generally presents limitations and possibilities in the technique and processes involved in phytoremediation, with the purpose to compare it to traditional methods of remediation such as excavation, destruction or landfills of contaminated soils.

The intention of this paper has been to get a wider knowledge on positive and negative aspects of the use of plants to remediate soil and water. In writing this essay I've been trying to answer two main questions through a literature study. *Is phytoremediation a sustainable method to make contaminated soil available again?* This first query generated the attendant questions; how does it work, which biological and aesthetical values can be gained through the process and which possibilities and limitations are there to the method. The second question asked was: *is phytoremediation a usable method in urban planning?*

The result of this paper shows that phytoremediation is a method that has good outlooks for the future, where the plants abilities can be used in several ways and combinations. But the entire potential of the method is still not fully used.

## Key words:

Phytoremediation, remediation methods, urban planning, contaminated soil, heavy metals, organic pollutants, brownfields

# FÖRORD

Detta självständiga arbete ingår i kursen EX0650 Kandidatexamensarbete i landskapsplanering, som ges på Landskapsarkitektprogrammet vid SLU, Alnarp.

Vi människor har genom historien påverkat vår omgivning på olika sätt, ju mer tekniska vi blivit desto större påfrestningar har naturen fått utstå. I och med industrialisering och teknisk revolution har många platser världen över drabbats av utsläpp med föroreningar som följd. Mitt intresse för ämnet tog fart i ett projektarbete där förtättningsproblematiken i Landskrona skulle behandlas. Mycket av stadens mark är utfylld och svårt förorenad, därav kan ingen användning för boende eller rekreativa syften ske utan att stora åtgärder vidtas.

Växter är makalösa när det gäller att anpassa sig till den miljö de väljer/tvingas leva i och att utnyttja denna inbyggda förmåga för att hjälpa till i arbetet med att rena naturen och våra städer, anser jag vara ett tilltalande angreppssätt. Att 'bygga' med växter är en stor del av landskapsarkitektens yrkesroll, gröna platser innehåller en dynamik som vanligt byggda ytor inte kan uppvisa och detta tror jag kan utnyttjas även i processer beträffande rening av förorenad mark.

Ett stort Tack vill jag rikta till min handledare Helena Mellqvist för stöd, uppmuntran och hjälp under hela arbetsprocessen. Tack också till Jessica Svännel för korrekturläsning med konstruktiva och uppmuntrande tillrop.



Malmö, 2012-05-22  
Jennie Kind

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

## SAMMANDRAG

## ABSTRACT

## FÖRORD

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>INLEDNING</b>	<b>9</b>
BAKGRUND: .....	9
MÅL OCH SYFTE: .....	9
FRÅGESTÄLLNINGAR: .....	9
MATERIAL OCH METOD: .....	10
AVGRÄNSNINGAR: .....	10
BEGREPPSFÖRKLARINGAR: .....	11
<b>DEL 1: FYTOREMEDIERING SOM METOD</b>	<b>13</b>
INLEDNING.....	13
HISTORISK BAKGRUND .....	13
VAD ÄR FYTOREMEDIERING? .....	14
HUR FUNGERAR FYTOREMEDIERING?.....	15
Fytoextraktion .....	15
Rhizofiltrering .....	15
Fytostabilisering .....	16
Fytostimulering/rhizodegradering .....	16
Fytodegradering .....	16
Fytoavdunstning .....	17
VILKA FÖRORENINGAR KAN EN FYTOREMEDIERINGSPROCESS HANTERA? .....	17
Olika metaller vanliga i jord och vatten samt deras.....	18
påverkan på växter och miljö	
Organiska föroreningar .....	18
Tidsåtgång och tekniska aspekter .....	18
VILKA VÄXTER FINNS ATT TILLGÅ I EN RENINGSPROCESS? .....	19
Exempel på växter användbara till fytoremediering.....	20

<b>DEL 2: FYTOREMEDIERING I ETT PLANERINGSPEKTIV</b>	<b>21</b>
INLEDNING.....	21
FYTOREMEDIERING SOM PLANERINGSVERKTYG.....	22
Hur vanlig är fyto Remediering som metod vid saneringar .....	22
och hur arbetar man med detta i dagsläget?	
Vilka aktörer är inblandade i processen?.....	22
EXEMPEL PÅ HUR FYTOREMEDIERING ANVÄNTS .....	23
USA .....	23
Europa .....	24
Sverige .....	25
HUR STÅR SIG FYTOREMEDIERING I JÄMFÖRELSE MED ANDRA METODER? .....	25
Ex situ: .....	26
In situ: .....	26
Fördelar med fyto Remediering:.....	28
Nackdelar med fyto Remediering: .....	28
<b>DEL 3: DISKUSSION OCH AVSLUTANDE REFLEKTION</b>	<b>29</b>
Sammanfattning: .....	29
HÅLLBARHET OCH EFFEKTIVITET I FYTOREMEDIERINGSPROCESSEN .....	30
FUNKTIONALITET SOM VERKTYG I STADSPLANERINGEN .....	31
SLUTSATSER OCH FRÅGESTÄLLNINGAR FÖR FRAMTIDEN .....	32
Vidare forskning och frågeställningar: .....	33
<b>LITTERATURFÖRTECKNING</b>	<b>34</b>
ELEKTRONISKA KÄLLOR:.....	34
TRYCKTA KÄLLOR: .....	36



# INLEDNING

## Bakgrund:

I arbetet med *Projekt 3, Stora Landskap* i Landskrona kom vi i kontakt med problematiken kring förorenad, utfylld mark i centrala lägen där tunga industrier tidigare huserat och där en förtätning därför inte är möjlig i dagsläget. Att med hjälp av växter sanera jord och mark var något vi diskuterade som ett första steg mot effektivt markutnyttjande, där estetiska och biologiska värden får en central roll under den dynamiska processen mot nya användningsområden. Detta fångade mitt intresse- hur fungerar det och hur används det i praktiken?

Vi lever i en tid där ett allt högre tryck på naturen och jordens resurser påverkas av att vi blir fler och fler människor som ska dela på dem. I takt med att vår levnadsstandard ökat har vi sakta men säkert tvingats inse att naturresurserna inte är oändliga. Allt fler av oss behöver, eller väljer att bosätta oss i urbana miljöer, vilket ökar behovet av ett mer effektiviserat markutnyttjande för att undvika att viktig natur- och jordbruksmark fortsätter att tas i anspråk för nyexploatering. Sanering av ytor förorenade med tungmetaller eller olika typer av organiska ämnen är ett arbete som blir högst aktuellt i och med detta. Sveriges riksdag har antagit 16 vägledande miljö kvalitetsmål för att främja människors hälsa, värna om biologisk mångfald, skydda ekosystemen, hushålla med naturresurser och ta till vara på kulturhistoriska värden (Naturvårdsverket; Boverket, 2006, sid. 15). Ett av dessa är målet om en 'giftfri miljö'. På sin hemsida skriver naturvårdsverket att, för att målet om en giftfri miljö ska kunna uppnås måste takten av efterbehandling och rening av förorenade områden öka, speciellt om målet ska vara uppfyllt till 2050 vilket är den tidsgräns som satts upp (Naturvårdsverket (c) [online], 2012-05-11). Jag vill med denna uppsats försöka reda ut hur fyto remediering, att rena mark och vatten med hjälp av växtlighet, kan vara en del i planeringen och åtgärderna för saneringsarbeten.

## Mål och syfte:

*Målet* med uppsatsen är att föra ett resonemang kring samt reflektera över om/hur fyto remediering kan användas som ett verktyg i stadsplaneringen.

*Syftet* är att få en djupare och bredare kunskap kring positiva och negativa aspekter av att med hjälp av växtlighet sanera mark, främst i stadsnära, nedlagda industriområden. Att utreda när och under vilka omständigheter processen kan vara befogad.

## Frågeställningar:

***Är fyto remediering ett hållbart sätt att sanera och tillgängliggöra mark på?***

Hur fungerar det?

Vilka estetiska och biologiska värden kan uppnås i processen?

Vilka problem och möjligheter finns?

***Är rening av mark och vatten med hjälp av växter lämpligt att använda sig av i ett stadsplaneringssammanhang?***

## Material och metod:

Den *metod* jag valt att använda mig av till min uppsats är en litteraturstudie för att få en så bred inblick som möjligt i detta relativt tekniska och naturvetenskapliga ämne. Hade mer tid funnits till hands så skulle intervjuer och platsbesök också varit ett intressant inslag i arbetet, framförallt för att få en inblick i hur den praktiska planeringen kring dessa saneringsfrågor kan se ut.

Det *material* jag använt mig av är vetenskapliga artiklar och facklitteratur med fakta om fytoremediering samt texter där metoden ingår i en planeringsprocess.

I det första skedet sökte jag brett efter litteratur som berör begreppet fytoremediering, jag utgick ifrån två studentarbeten hittade i *Epsilon*. Från dessa arbeten kunde jag sedan gå vidare med den litteratur som de hänvisat till och se vilka källor som återkom i de båda texterna samt vilka de i sin tur refererade till. På detta vis byggde jag på min egen litteraturlista. Den litteratur som jag slutligen använde mig av till den första delen av arbetet har främst varit vetenskapliga artiklar som berört den forskning som finns kring metoden, de växter som kan användas och de begränsningar som i dagsläget finns.

För att sedan komma vidare mot litteratur som berör fytoremedieringsprocessen i ett planeringsperspektiv sökte jag i bibliotekets databas Primo med nyckelorden *phytoremediation*, *urban planning* och *brownfield* i olika kombinationer. Att hitta relevant litteratur kring detta ämne visade sig vara svårare än vad jag från början trott, så jag fick modifiera mina planer lite och söka bredare kring begrepp som *reningsmetoder*, *planering* och *föroreningar*. I sammanställningen av uppsatsen har jag därför försökt tolka och använda mig av den mer tekniska litteraturen till att föra ett resonemang kring hur metoden kan appliceras i ett stadsplaneringsperspektiv. Mitt angreppssätt kan närmast beskrivas som hermeneutiskt, då jag genom mina tolkningar av facklitteraturen försökt att föra samman de olika tekniska aspekterna med planering och nyttjande av fytoremediering. Som Patel och Davidsson (2011, sid 29f) beskriver i boken *Forskningsmetodikens grunder, att planera, genomföra och rapportera en undersökning* försöker den hermeneutiske forskaren se helheten i sin forskningsproblematik. Genom att ställa helheten i förhållande till delarna och med en subjektiv förståelse försöka närma sig forskningsfrågan kan insikt nås (Patel; Davidsson, 2011, sid. 29f). Uppsatsen blir därför något tvärvetenskaplig då den första delen behandlar och beskriver de tekniska delarna av metoden, medan del 2 istället försöker sätta fytoremediering i ett större perspektiv. I den tredje och sista delen försöker jag sammanställa de skilda delarna till en helhet genom att diskutera och reflektera kring frågeställningar och behandlad litteratur.

## Avgränsningar:

I min genomläsning av den insamlade litteraturen har jag försökt begränsa mig till mer övergripande beskrivningar av processerna som ingår i begreppet fytoremediering. Detta för att undvika att gå allt för djupt in i de fysikaliska och biologiska aspekter (dock viktiga) som berörs i många av artiklarna och texterna, då mitt arbete främst fokuserar på att reda ut huruvida det är en metod som går att applicera i ett stadsplaneringssammanhang. I möjligaste mån har jag använt mig av förstahandskällor.

## Begreppsförklaringar:

Nedan följer ett antal begrepp och uttryck som är återkommande i min uppsats, detta för att underlätta läsning och förståelse för olika typer av tekniska aspekter och ämnen.

- Fytoremediering - Samlingsnamnet på den grupp tekniker som använder växternas egna processer för att rena eller reducera de föroreningar som finns i mark och vatten (Peer et al. 2005 [online], sid. 1).
- ”Brownfields” - Outnyttjade, eller lågt frekventerade områden på ekonomiskt och exploateringsmässigt viktiga platser i staden. Ofta har industrier eller andra miljöpåverkande aktiviteter försiggått här, vilket lett till att många av ytorna i dagsläget är förorenade (Licht; Isebrands, 2005 [online], sid. 204; Slegers, 2010 [online], sid. 132f).
- In situ metoder - Rening av förorenade jord- och vattenvolymer direkt på den drabbade platsen. Innebär ofta en biologisk eller kemisk nedbrytning av giftiga ämnen (Naturvårdsverket, 2009 [online]).
- Ex situ metoder – Rening av förorenade jord- och vattenvolymer på annan plats än där föroreningen råder, kräver schaktning eller muddring samt ofta bortförsel med transporter (Naturvårdsverket, 2009 [online]).
- Rhizosfär - Den del av marken som direkt påverkas av växternas rötter och deras nedbrytningsprocesser, ämnesutsöndringar samt mikroflora (NE, ”rotzon/rhizosfär” [online], 2012-05-03).
- Mikrob/mikroorganism - Till mikroorganismer räknas bakterier, encelliga alger, jästsvampar och mikroskopiskt små svampar (NE, ”mikroorganism” [online], 2012-05-03).
- Xenobiotika - Kroppsfrämmande ämnen, det vill säga, föreningar som inte naturligt ingår i kroppens ämnesomsättning. Hit hör de flesta läkemedel, droger och miljögifter, gemensamt för de flesta xenobiotika ämnen är att de inte är lösliga i vatten (NE, ”xenobiotika” [online], 2012-05-03).
- Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) - Vanligt förekommande föroreningar i mark och vatten. PAH återfinns naturligt i kol och råolja och bildas och sprids vid en ofullständig förbränning av organiskt material (Nilsson, 2009 [online], sid. 6). Flera av dessa föreningar kan vara starkt cancerframkallande (NE, ”polycykliska aromatiska kolväten” [online], 2012-05-05).

Skjuvhållfasthet -

Ett mått på en jordarts förmåga att hålla samman under olika tryck och påverkan utifrån, vilket varierar med jordens kornstorlek, form och struktur (NE, "jordmekanik" [online], 2012-05-21). Detta mått utnyttjas bl.a. för att beräkna jordartens bärighet inför exempelvis en byggnation.

Polyklorerade bifenyler (PCB) –

Långlivade föroreningar som framställs genom en klorering av bifenyler, dessa ämnen är fettlösliga och skadliga för växter och djur(NE, "PCB" [online], 2012-05-07). PCB har sedan 1920-talet använts bl.a. som isolatorvätska, mjukgörare i plaster och som tillsatser hydrauloljor, smörjoljor, färg och fogmassor men är sedan 1978 totalförbjudet för ny användning i Sverige (NE, "PCB" [online], 2012-05-07).

# DEL 1: Fytoremediering som metod

## Inledning

I Sverige finns det i dagsläget ca 80 000 misstänkt, eller konstaterat förorenade områden (Naturvårdsverket (a) [online], 2012-04-11). Många av dessa anses vara så förorenade att de kan skada miljö och människors hälsa. Det är framförallt tidigare industrier, bl.a. kemisk industri, träimpregnering och glasbruk, som orsakat stora skador i form av föroreningar i mark och vatten (Naturvårdsverket (a) [online], 2012-04-11, sid. 2).

En definition på de överblivna, tidigare industrialiserade områden som är vanliga inom dagens städer har Licht och Isebrands formulerat i sin text:

*"Brownfields, industrial areas that have contaminated soils and groundwater from past chemical leaks, but have value for economic development if the pollutant is controlled and removed"*. (2005 [online], sid. 204).

Frank Slegers (2010 [online], sid. 132f) tar också upp detta begrepp och beskriver ytorna (specifikt de urbana) som viktiga resurser i de industriella/postindustriella städerna. Han fortsätter beskrivningen av "brownfields" med att de på grund av sitt industriella arv ofta är isolerade i förhållande till den övriga stadsbilden och därigenom kan agera barriärskapande. Rening och en förnyad användning av dessa områden borde alltså vara en prioriterad fråga och en del i de förtättningsprojekt som idag pågår i många städer.

I Malmö stads skrift, "så förtätar vi Malmö" (2012 [online], sid. 4) beskrivs förtätning som ett sätt att öka exploateringsnivån i redan bebyggd stadsmiljö. Detta kan ske bl.a. genom omvandling av industri- och hamnområden, tillbyggnader, rivning och nybyggnation med ett högre exploateringsstal. Det talas också om begreppet förtätning som ett aktuellt ämne i dagsläget, som en motreaktion mot de allt mer glesa städer som utvecklats efter bilismens intåg (Malmö stad, 2012 [online], sid 4f). Bilismen och utglesningen av städer har medfört många negativa konsekvenser för miljö, hälsa och hushållning av mark. En minskad fysisk aktivitet med hälsoproblem som följd har också kopplats till detta. Genom att utnyttja de restytor och tidigare industrialiserade områden som finns inom dagens städer så syns många potentiella förtättningsområden. Vad som dock behöver beaktas är just hur situationen på plats ser ut, finns hälsofarliga föroreningar? Vilken metod bör i så fall användas för att sanera och tillgängliggöra dessa ytor?

I det här kapitlet kommer grunderna i fytoremediering att presenteras, hur växter kan hjälpa till i reningen av de föroreningar som är vanliga i jord och vatten samt en inblick i vilket växtmaterial som finns att tillgå.

## Historisk bakgrund

Jordförbättrande åtgärder har använts både inom jordbruk och saneringsprocesser under en lång tid och möjligheterna till fytoremediering och andra biologiska reningsprocesser grundar sig i den forskning som under lång tid pågått kring dessa förbättringsåtgärder (Vangronsveld; Cunningham, 1998, sid. 1). Även Cunningham och Berti (1993 i: McCutcheon; Schnoor, 2003, sid. 5) beskriver att användningen av växter för att rena vatten påverkat av människor och jordbruk inte är ett nytt fenomen utan kan spåras mer än 300 år tillbaka i tiden. Det fanns också, redan under kärnkraftens begynnelse, utvecklade undersökningar i

Ryssland kring användningen av vattenlevande växter för att behandla radioaktivt vatten (Salt, 1995, sid. 468). Under de senaste årtiondena har program för våtmarker samt luftrening med hjälp av växter varit aktuella företeelser (McCutcheon; Schnoor, 2003, sid. 5). Som dessa exempel visar, är fyto Remediering egentligen ingenting nytt, själva begreppet och dess innebörd myntades under 1980-talet (Willey, 2007, sid. v) och har sedan dess blivit alltmer erkänt som en fungerande metod.

Vangronsveld och Cunningham beskriver problematiken kring hur en metod vinner acceptans hos allmänheten:

”In order for a technique to be widely adopted at field sites, it must have a strong theoretical background, be demonstrated in the lab, be successfully translated into a field scale program, and gain regulatory acceptance”. (1998, sid. 2).

Under tiden för Vangronsveld och Cunninghams bok *Metal-Contaminated soils* tillkomst ansågs fyto Remediering ha uppnått de två första stegen som citerats här ovan: den teoretiska bakgrunden och de laboratoriska testerna, vad som däremot inte (vid detta tillfälle) utförts i någon större skala var testerna ute i fält. Fyto Remediering har ökat i popularitet hos beslutsfattande organ och industriella företag under de senaste 10-20 åren (Pilon-Smits, 2005 [online], sid. 17). Detta först och främst på grund av de relativt låga kostnader som är förknippade med processen och att de tillgängliga ekonomiska resurserna för sanering av mark och vatten är begränsade.

## Vad är fyto Remediering?

Fyto Remediering är samlingsnamnet på den grupp tekniker som använder växternas egna processer för att rena eller reducera de föroreningar som finns i mark och vatten (Peer et al. 2005 [online], sid. 1). I uppslagsverket *Nationalencyklopedin* visas följande förklaring av begreppet: ”fyto Remediering, rening av jord och vattendrag från skadliga substanser med hjälp av växter”. (”fyto Remediering” [online], 2012-04-11). Elizabeth Pilon-Smits beskriver fyto Remediering som en teknik som utnyttjar de naturligt förekommande processer i vilka växter och mikroorganismer degraderar och begränsar föroreningar i mark och vatten (2005 [online], sid. 16). Att rena med hjälp av växtlighet är en teknik som kan användas direkt på den plats som är förorenad (*in situ*-behandling) och har just den fördelen att utnyttja naturens egna processer. Det är, först och främst, en process driven av solenergi och därmed mer hållbar i jämförelse med typiska mekaniska reningsprocesser (McCutcheon; Schnoor, 2003, sid. 5). I sin inledning beskriver McCutcheon och Schnoor fyto Remediering som en viktig del i den nya ekologiska tekniken. Vidare anser de att metoden har en stor potential att på ett ekonomiskt vis rena och hjälpa till att läka jorden.

Willey menar att en av grundförutsättningarna för att fyto Remediering ska kunna fungera är växternas förmåga att ta upp föroreningar (2007, sid. v). Han beskriver också en andra förutsättning som är minst lika viktig: hur tillgängliga föroreningarna i mark och vatten är för växternas upptag av dem. Begreppet fyto Remediering innebär alltså att rena mark och vatten med hjälp av växtlighet som direkt på plats extraherar, degraderar eller tolererar och stabiliserar de gifter och föroreningar som förekommer. Det är en komplicerad process där både växternas och markens egenskaper spelar en viktig roll (Willey, 2007, sid. v). Det är dock en teknik som har framtiden för sig, många forskningsprojekt pågår och potentialen att på ett ekonomiskt sätt rena och läka jorden (McCutcheon; Schnoor, 2003, sid. 5) är en väldigt viktig aspekt. Enbart i Sverige finns det kring 80 000 förorenade områden

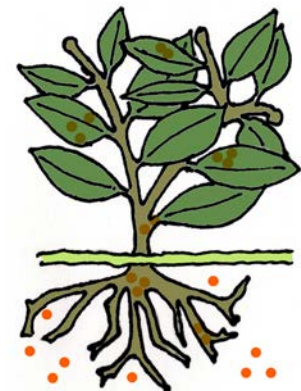
(Naturvårdsverket (a) [online], 2012-04-11, sid. 2) och industrialiseringen världen runt har lämnat tydliga spår efter sig, som med sina gifter och föroreningar kan vara en fara för miljö och hälsa. Områden som tidigare huserat olika typer av industrier kan också vara isolerade och barriärskapande element i förhållande till den övriga stadsbilden (Slegers, 2010 [online], sid. 132f). Fytoremediering är inte det enda alternativ till rening och återutnyttjande av förorenade platser, men kanske är det en metod som ligger bra till i tiden just på grund av sina ekologiska fördelar och att en behandling sker direkt på den drabbade platsen (Naturvårdsverket, 2009 [online], sid. 136).

## Hur fungerar fytoremediering?

Fytoremediering av tungmetaller kan delas in i tre mindre delar vilka är: fytoextraktion, rhizofiltrering samt fytostabilisering (Salt, 1995, sid. 468). Förutom dessa tre beskriver Elizabeth Pilon-Smits (2005 [online], sid. 18f) ytterligare tre processer som ingår i begreppet fytoremediering, dessa är; fytostimulering/rhizodegradering, fytodegradering och fytoavdunstning. Här nedan följer en kortare förklaring av hur de olika processerna hanterar och behandlar föroreningar i mark och vatten. I de små skisserna representerar de orange cirklarna (utanför växterna) obehandlade föroreningar i jord eller vatten.

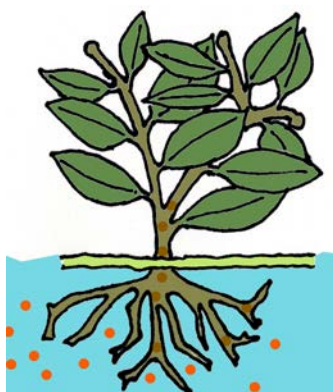
### Fytoextraktion

Är en metod som bygger på att metallansamlade växter tar upp och sedan transporterar eller koncentrerar metaller från jorden till sina rötter eller skott vilka senare kan skördas (Salt, 1995, sid. 468, Vangronsveld; Cunningham, 1998, sid. 6). Vidare beskriver dessa författare att de optimala växterna för metoden fytoextraktion ska kunna tolerera och ackumulera höga halter av tungmetaller i sina rötter och skott samt vara snabbväxande och helst producera en hög andel biomassa. I artikeln *Overview of Phytotransformation and Control of Wastes* (McCutcheon; Schnoor, 2003, sid. 19) förklaras fytoextraktion som kemikalier/föroreningar vilka tas upp med vatten, genom katjonsutbyte, absorption eller andra mekanismer. Därefter transporteras dessa ämnen vanligtvis till växternas ovanjordiska delar varifrån de efter skörd antingen förvaras som deponerat avfall eller komposteras till dess att metaller och föroreningar kan utvinnas.



Figur 2. Fytoextraktion: figuren visar hur föroreningar tas upp av växtens rötter och transporteras vidare till rot eller ovanjordiska växtdelar. (Skiss: Jennie Kind, 2012-05-09)

### Rhizofiltrering



Här absorberar, utfäller och koncentrerar växterna föroreningar från bl.a. avloppsvatten, dräneringsvatten från jordbruk och radioaktiva vattenansamlingar (Salt, 1995, sid. 468). Vidare beskriver Salt att de bästa växterna för denna metod är de som har snabbväxande och utbredda rotsystem med förmågan att ta upp giftiga ämnen från olika lösningar. Även McCutcheon och Schnoor (2003, sid. 20) beskriver tekniken på liknande vis men

Figur 3. Rhizofiltrering: i figuren ser vi hur växter kan koncentrera giftiga ämnen från lösningar i sina vävnader. Välutvecklade och utbredda rotsystem underlättar denna teknik. (Skiss: Jennie Kind, 2012-05-09)

med tillägget att föroreningarna också kan absorberas av svampar, alger och bakterier. Vidare skriver de att mellan 10-60 % av växternas torra vikt kan bestå av ansamlade metaller då de utnyttjats i en rhizofiltreringsprocess.

### Fytostabilisering

Stabiliseringsprocessen innebär en återplantering av växter för att reducera erosion på utsatta, förorenade ytor (McCutcheon; Schnoor, 2003, sid.21). Växter som klarar av/ är toleranta mot tungmetaller används för att begränsa metallernas rörlighet i jorden och reducerar på så vis risken för att föroreningarna ska urlakas eller spridas med vinden (Salt, 1995, sid. 468). Vidare ska dessa fytostabiliserande växter helst ha en lägre förmåga att ansamla metaller i sina skott för att minska nödvändigheten att behandla dött växtmaterial som farligt avfall.



Figur 4. Fytostabilisering: i figuren symboliserar de ljusare fyrkanterna hur växter kan hjälpa till att hålla föroreningar på plats och hindra erosion och urlakning. (Skiss: Jennie Kind, 2012-05-09)

### Fytostimulering/rhizodegradering



Växter kan underlätta en biologisk nedbrytning av organiska föroreningar som utförs av mikrober i rhizosfären (Pilon-Smits, 2005 [online], sid. 19). Wendy Ann Peer m.fl. ([online] 2006, sid. 4) beskriver denna process lite mer ingående. Hon tar upp att olika växter på skilda sätt kan förbättra miljön för mikroorganismer och bakterier i jorden genom att bl.a. tillgängliggöra organiskt kol och näringsämnen samt allmänt förbättra levnadsförhållandena för dessa organismer.

Figur 5. Fytostimulering/rhizodegradering: figuren visar symboliskt att växter kan medverka till att en nedbrytning sker (de mindre, ljusare cirkelarna) genom att optimera förutsättningar för mikroorganismerna som tar hand om föroreningarna. (Skiss: Jennie Kind, 2012-05-09)

### Fytodegradering

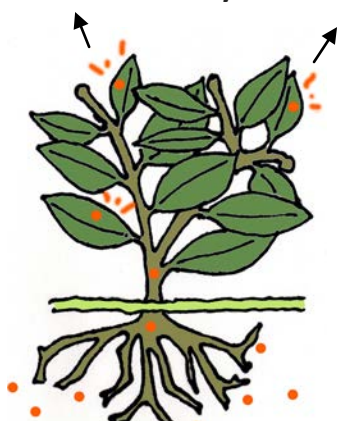
Vatten- eller marklevande växter tar upp, magasineras och, antingen, biokemiskt degraderar eller omvandlar organiska föreningar till ofarliga biprodukter (McCutcheon; Schnoor, 2003, sid. 23f; Pilon-Smits, 2005 [online], sid. 19). Dessa används i sin tur av plantan för att skapa ny biomassa eller så fortsätter föroreningarna att brytas ned av mikroorganismer.



Figur 6. Fytodegradering: föroreningar tas upp i växten och antingen degraderas eller omvandlas till mindre farliga biprodukter. Dessa symboliseras av de mindre, ljusare cirkelarna. (Skiss: Jennie Kind, 2012-05-09)



## Fytoavdunstning



Efter ett upptag av föroreningar i växternas vävnader kan vissa av föroreningarna lämna växten i gasform, vilket definierar begreppet fytoavdunstning (Pilon-Smits, 2005, sid. 19). Vangronsveld och Cunningham (1998, sid. 7) beskriver att denna process verkar involvera både växter och deras associerade mikrober för att omvandla föroreningar till förångad form. Wendy Ann Peer m.fl. ([online], 2006, sid. 4) beskriver att lösliga föroreningar tas upp i växtens rötter tillsammans med vatten för att sedan transporteras vidare till löven varifrån de sedan avdunstar.

Figur 7. *Fytoavdunstning: växten tar upp föroreningar i sina vävnader och kan sedan släppa dem ifrån sig i gasform. (Skiss: Jennie Kind. 2012-05-09)*

Alla dessa metoder, beskrivna ovan, utnyttjas på olika vis anpassat till olika typer av platser och föroreningar, många gånger är det dock en kombination av metoder som sker (Pilon-Smits, 2006 [online], sid. 19). Utöver teknikerna beskrivna ovan tar Pilon-Smits också upp *hydraulisk kontroll* (2006 [online], sid. 18). Vid en sådan process används växter, främst träd p.g.a. djupare rotsystem och förmågan att ta upp stora mängder vatten, som en slags hydraulisk barriär. Genom att träden med sin transpiration transporterar förorenat vatten uppåt i jorden förhindras en urlakning av föroreningar (Pilon-Smits, 2006 [online], sid. 18). Hydraulisk kontroll bygger inte på att några föroreningar tas upp eller degraderas av växten, utan det är mer en stabiliserande teknik (Pilon-Smits, 2006 [online], sid. 18). En annan typ av stabiliserande fyto Remedieringsprocess är *fytotäckning* som också utnyttjar växters förmåga att transpirera vatten (Andersson; Svensson, 2007 [online], sid. 57). Vid en fytoäckning används växter för att täcka över exempelvis deponier och genom sin transpiration förhindrar de att vatten kommer ned till de deponerade materialerna och på så vis minskas läckaget av lakvatten (Andersson; Svensson, 2007 [online], sid. 57). Metoden fytoäckning är i dagsläget inte tillåten i Sverige som sluttäckning av deponier, men den kan användas i väntan på att en slutgiltig täckning ska ske (Andersson; Svensson, 2007 [online], sid. 57).

## Vilka föroreningar kan en fyto Remedieringsprocess hantera?

Författarna Vangronsveld och Cunningham (1998, sid. 1) tar upp problematiken kring förorenad jord. De beskriver att de främsta anledningarna till att giftiga metaller och föroreningar spridits i mark och vatten är förbränningen av fossila bränslen samt avfall från gruvdrift och smältning. Dessa metaller och föroreningar blir ett uppenbart problem först då deras koncentration i jord, sediment och vatten når höjder som negativt påverkar människors hälsa och miljön. På de platser som är svårt drabbade har växtlighet och djurliv minskat drastiskt eller helt försvunnit vilket lämnar marken bar och sårbar för urlakning, erosion och spridning av de giftiga ämnen som finns i marken (Vangronsveld; Cunningham, 1998, sid. 1). McCutcheon och Schnoor (2003, sid. 4) tar inledningsvis upp att de gifter som potentiellt kan renas eller hållas på plats med en fyto Remedieringsprocess är många och ganska varierade. Bl.a. ser de att tungmetaller, metalloider, radioaktiva ämnen, salter,

näringsämnen, avloppsvatten, främmande organiska kemikalier och luftföroreningar kan behandlas med hjälp av växtlighet.

### **Olika metaller vanliga i jord och vatten samt deras påverkan på växter och miljö**

Metaller kan inte brytas ned naturligt och ansamlas därmed i exempelvis jord och vatten (Wong; Li; Thornton, 2006, sid. 2). Flera författare beskriver att de vanligaste metallerna ansamlade i jord eller vatten är bl.a. kadmium, zink, kvicksilver, koppar, bly, arsenik och nickel (Stearns; Shah; Glick, 2007; Wong; Li; Thornton, 2006; Pilon-Smits 2005 [online]). Dessa metaller kan skada växtlighet genom att störa/förstöra viss cellaktivitet samt orsaka stress hos växten, de har även en stor negativ påverkan på miljön och människors hälsa (Salt, 1995, sid. 468). I tillägg till de övriga tungmetallerna tas även krom upp som en vanlig förorening i jord och grundvatten i texten *Phytoremediation and hyperaccumulator plants* (Peer et al., 2006, sid. 18f). Det är tydligt att tungmetallsberikade jordar utövar ett starkt selektivt tryck på lokal växtlighet (Schat; Verkleij, 1998, sid. 52).

### **Organiska föroreningar**

Organiska föroreningar i vår miljö är oftast skapade och spridda av oss människor, vanligtvis är de xenobiotika (kroppsfrämmande ämnen, se begreppsförklaring) för levande organismer (Pilon-Smits, 2005 [online], sid. 16). Vidare beskriver författaren att de organiska föroreningarna många gånger är giftiga och cancerogena. Dessa föroreningar sprids bl.a. genom utsläpp av bränslen, lösningar och fetter, militära aktiviteter där explosiva ämnen och kemiska vapen hamnar i naturen. Jordbruket med sina bekämpningsmedel samt industriella avfall i form av t.ex. kemikalier står också för en del av dessa föroreningar (Pilon-Smits, 2005 [online], sid. 16). Frank Slegers beskriver att fytoremediering bl.a. kan hjälpa till att rena jorden från flera olika gifter vanliga i s.k. "brownfields":

" Phytoremediation has the capacity to assist in the remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons, oils, greases, and heavy metals – which are among the common toxics found in urban brownfields".  
(Slegers, 2010 [online], sid. 133).

Bland de organiska föroreningarna som på olika vis kan behandlas i en fytoremedieringsprocess omnämns bl.a. petroleum, polycykliska aromatiska kolväten (PAH), sprängämnen (TNT), polyklorerade bifenyler (PCB) samt andra avfettningsmedel och kemiska lösningar (Pilon-Smits, 2005 [online], sid. 16).

### **Tidsåtgång och tekniska aspekter**

Beroende på de biologiska processer som är involverade i fytoremediering så kan det ta längre tid att rena en yta med hjälp av växter i förhållande till de, i dagsläget, vanliga metoderna för sanering av mark och vatten (Pilon-Smits, 2005 [online], sid. 17). Vidare tar Pilon-Smits upp att det skiljer sig en del i tidsåtgången mellan de processer som bygger på en ackumulation av föroreningarna i fråga och i de metoder vari de giftiga ämnena degraderas. En fytodegraderingsprocess med exempelvis avloppsvatten går betydligt snabbare än vad fytoextraktion av t.ex. tungmetaller i jord gör (Pilon-Smits, 2006 [online], sid. 17). En stor fördel med fytoremediering är att kostnaden i de flesta fall är kring 10 gånger lägre (Peer et al. 2006, sid. 29).

Optimala plantor för en effektiv fytoextraktionsprocess behöver inte bara tolerera och ackumulera höga halter av tungmetaller utan också vara snabbväxande (Salt, 1995, sid. 469). Salt beskriver vidare att de flesta vildväxande arter som är metallackumulerande växer relativt sakta och deras förmåga att extrahera stora mängder föroreningar därmed är ganska liten. I en laboratorieundersökning har backskärvfröets (*Thlapsi caerulescens*) förmåga att extrahera metaller från jorden översatts till den ungefärliga tid det skulle ta för växten att ute i fält göra samma sak (Salt, 2003, sid. 469). *Thlapsi caerulescens* skulle behöva upp till 13-14 år under fortlöpande kultivering för att kunna rena platsen i fråga. Ormbunken *Pteris vittata* har under fältförsök visat sig vara en effektiv fyto Remedierande växt, i undersökningen kunde växten rena en arsenikförorenad yta på mindre än 10 år (Peer et al. 2006 [online], sid. 15).

### **Vilka växter finns att tillgå i en reningsprocess?**

För att kunna använda gröna växter till fyto Remediering är det viktigt att förstå växternas tolerans mot farliga ämnen samt vilken stress de utsätts för under processen (Medina et al. 2003, sid. 190f). Vidare talar Medina m.fl. om att en rening med hjälp av växter ofta involverar höga koncentrationer av föroreningar som kan orsaka stress eller toxicitet över det normala hos växterna. Dessa stressmoment spelar en roll i att utvärdera om en användning av fyto Remediering blir lyckad eller inte. Effektiviteten i reningsprocessen varierar mycket beroende bl.a. på platsen i fråga, mikrobiella förhållanden, jordens karaktär, växterna, föroreningarna samt vilka skötselmetoder som används (Tang, 2007, sid. 175f).

För en fytostabiliseringsprocess krävs en sluten vegetationsmatta, gärna så snabbt som möjligt, för att hindra urlakning och erosion (Vangronsveld; Cunningham, 1998, sid. 51). Här beskrivs vidare att växtligheten i första hand begränsas av mängden gifter i jorden men också på grund av dålig förekomst av näringsämnen och vattenhållande egenskaper i jorden. För att övervinna dessa problem finns det enligt Vangronsveld och Cunningham två metoder att tillgå: jordförbättring där gödningsmedel och/eller organiska ämnen tillsätts eller att andra förbättrande åtgärder utförs. Det andra sättet att överbygga dessa begränsningar är att välja ut växtmaterial som är tillräckligt tåligt för att klara av de svåra förhållanden som råder (1998, sid. 51). Rent praktiskt beskriver Vangronsveld och Cunningham att en kombination av dessa två metoder kan vara att föredra vid en fytostabiliseringsprocess.

En viktig aspekt att ta i beaktning då växter för fyto Remediering ska väljas ut är att bland de växter som klarar av och tolererar gifter och föroreningar i marken är det inte alla som kan ta upp eller omvandla dessa ämnen (Peer et al. 2006 [online], sid. 7). Många arter som klarar av svåra och förorenade växtplatser har en förmåga att stänga de skadliga ämnena ute från sina rötter och har på så vis inte någon effekt om det är en uppsamling eller degradering av gifterna som eftersträvas (Peer et al. 2006 [online], sid. 7). Författaren skiljer i sin text på *indikatorväxter*, *toleranta arter* samt *hyperackumulerande växter*, där endast de hyperackumulerande växterna tar upp och samlar föroreningar i sina skott och rötter (fytoextraktion). Dock borde indikator- och toleranta arter vara värdefulla vid en fytostabiliseringsprocess.

## Exempel på växter användbara till fytoremediering

Latinskt namn	Svenskt namn	Zon	Ämnen som kan hanteras	Användningsområde
---------------	--------------	-----	------------------------	-------------------

### TRÄD

Morus sp.	Mullbärsträd	I-II	PCB och PAH genom mikroorganismer	Fytostimulering/rhizodegradering
Populus sp.	Poppel	I-(VIII)	Klorerade lösningar, explosiva ämnen	Fytoavdunstning, stabilisering, extraktion
Salix sp.	Sälg, vide, pil	I-(VIII)	Kadmium, zink	Fytoextraktion, avdunstning, stabilisering

### GRÄS OCH ÖRTER

Agrostis canina, A. capillaris Och A. stolonifera	Brun-, röd- och krypen	I-VIII	Metaller och organiska ämnen	Fytostabilisering
Brassica juncea	Indisk senap	Ev. I	Metaller	Fytoextraktion, avdunstning
Deschampsia cespitosa, D. flexuosa	Tuv- och kruståtel	I-VIII	Metaller och organiska ämnen	Fytostabilisering
Festuca rubra, F. ovina	Röd- och fårsvingel	I-VIII	Metaller och organiska ämnen	Fytostabilisering, stimulering/rhizodegradering
Helianthus sp.	Solrosor	I-VI	Uranium, metaller	Fytoextraktion
Holcus lanatus	Luddtåtel	I-VIII	Metaller och organiska ämnen	Fytostabilisering
Medicago sativa	Blålusern/alfaalfa	I-IV	Organiska föroreningar: petroleum	Fytostimulering/rhizodegradering
Sedum alfredii	Fetblad	-	Zink	Fytoextraktion, stabilisering

### VATTENVÄXTER

Myriophyllum aquaticum	Storslinga	-	Trinitrotoluen (TNT)	Fytodegradering
Thypha sp.	Kaveldun			
Eichhornia crassipes	Vattenhyacint	-	Metaller, cesium, radionukleära ämnen	Fytoextraktion

Tabell 1. Tabellen ovan är väldigt generell och översiktlig, där de växter jag stött på flera gånger i min litteraturstudie fått en plats. Listan är inte tänkt att vara fullständig, utan enbart agera som en inblick i en del av det växtutbud som finns att tillgå i olika typer av fytoremedieringsprocesser. Källor till växtmaterialet är: Pilon-Smits, 2005 [online], sid. 20f; Tang, 2007, sid. 360; Lyubun; Tychinin, 2007, sid. 430f; Medina et al. 2003, sid. 189; Rock, 2001, sid. 5; Vangronsveld; Cunningham, 1998, sid. 51f; Peer et al. 2006 [online]; Movium plantarum [online], 2012-05-21; Malmberg, 2005 [online].

## DEL 2: Fytoremediering i ett planeringsperspektiv

### Inledning

År 1999 antog riksdagen 16 vägledande miljö kvalitetsmål för att främja människors hälsa, värna om biologisk mångfald, skydda ekosystemen, hushålla med naturresurser och ta till vara på kulturhistoriska värden (Naturvårdsverket; Boverket, 2006, sid. 15). Ett av dessa är målet om en 'giftfri miljö'. På sin hemsida skriver naturvårdsverket att, för att målet om en giftfri miljö ska kunna uppnås så måste takten av efterbehandling och rening av förorenade områden öka, speciellt om målet ska vara uppfyllt till 2050 vilket är den tidsgräns som satts upp (Naturvårdsverket (c) [online], 2012-05-11). Miljömålen samt ett ökat tryck på exploatering och förtätning i dagens städer har lett till att sanering av förorenade områden blivit ett allt vanligare inslag i planering av våra städer och urbana miljöer (Naturvårdsverket (c) [online], 2012-05-11; Malmö stad, 2012 [online]).

Med allt fler människor i våra urbana miljöer världen över samt en ökad medvetenhet kring de begränsade resurser jorden har att erbjuda så har utvecklingen av tidigare industrialiserade områden, så kallade brownfields, blivit ett välkänt fenomen (Kirkwood, 2001, sid. 11). Ett generellt synsätt är, att för att spara på värdefull jordbruksmark, istället låta städer växa inåt genom att utnyttja obebyggda eller lågt frekventerade områden för en exploatering vilket också anses bidra till mer mångfald i staden samt ett minskat bilberoende då allt finns inom nära räckhåll (Malmö stad, 2012 [online], sid. 4f). I detta klimat ligger alltså olika typer av reningsprocesser för områden förorenade med tungmetaller eller organiska ämnen helt rätt i tiden.

I texten *Developing decision support tools for the selection of "gentle" remediation approaches* tar författarna upp att traditionella metoder för sanering av förorenade ytor, som exempelvis schaktning, deponering och isolering, kanske inte är de mest hållbara alternativen sett ur ekologiska och miljömässiga perspektiv (Onwubuya et al. 2009 [online], sid. 6132). Därför har forskningen kring in situ alternativ för rening av mark och vatten ökat i omfattning enligt författarna. De fortsätter beskriva problematiken kring remedieringsprocesserna med de mjukare, inte lika drastiska metoderna (*gentle*) som exempelvis fytoremediering ännu inte använts i så stor skala. Detta trots en utökad forskning och lyckade laboratorieförsök. Onwubuya m.fl. tar också upp att det skett en förändring i intresset kring förorenade områden, det är inte längre bara markägare, finansärer och miljö- och ingenjörskonsulter som arbetar/ vill arbeta med frågan. Även t.ex. påtryckningsgrupper, lokala föreningar och bostadsrättsföreningar har fått upp ögonen för olika typer av reningsprocesser samt hur marken i fråga senare kan komma att användas (Onwubuya et al. 2009 [online], sid. 6133).

I det här kapitlet ges en överblick över hur arbetet med olika typer av reningsmetoder/efterbehandlingsåtgärder kan se ut samt vilka aktörer som är inblandade i processen. Jag gör också ett försök att reda ut hur fytoremediering som metod står sig i jämförelse med de vanligt använda teknikerna för rening av mark och vatten. Även några lyckade exempel där fytoremediering varit en del av arbetet presenteras kort här. I den litteratur som behandlats i denna uppsats har det inte funnits så mycket konkret kring hur arbetet med fytoremediering som en del av planeringen faktiskt ser ut och fungerar. Därför blir det en sammanställning av den information jag hittat samt hur arbetet mer generellt ser ut i hanteringen av föroreningar och val av efterbehandlingsmetoder.

## Fytoremediering som planeringsverktyg

### Hur vanlig är fytoremediering som metod vid saneringar och hur arbetar man med detta i dagsläget?

Onwubuya m.fl. beskriver i sin text har fytoremediering, trots sina positiva egenskaper ännu inte nått så långt att det ingår som ett naturligt verktyg i planeringen (2009 [online], sid. 6133). I Sverige är det naturvårdsverket som har det övergripande ansvaret för förorenade ytor och reningen av dessa samt agerar rådgivande i frågor som berör ämnet (Naturvårdsverket (b) [online], 2012-05-10). Synsättet på de "mildare" reningssätten ligger bra till i tiden, men exempelvis fytoremediering är fortfarande kvar i ett försöksskede med fältförsök i Sverige och då främst i samband med salixodlingar för bioenergi (Olsson, 2011 [online], sid. 15). I USA har utvecklingen nått längre med en större utbredning av metoden, bl.a. har US. EPA (United States Environmental Protection Agency) en väldigt informativ hemsida där fytoremediering presenteras och resultat från fältförsök redovisas (Clu-in (a) [online], 2012-05-13).

Val av saneringsmetod och uppföljning av resultat är ett arbete som kräver en noggrann planering, och utifrån hur den förorenade platsen senare ska användas väljs en passande metod ut (Naturvårdsverket, 2009 [online], sid. 11). Sverige har i dagsläget många förorenade ytor som kräver en efterbehandling, men trots detta har fytoremediering inte riktigt kommit in som en fullt accepterad metod (Naturvårdsverket (a) [online], 2012-04-11; Olsson, 2011 [online], sid. 15).

### Vilka aktörer är inblandade i processen?

Generellt för all planering och utförandet av efterbehandlingsåtgärder i Sverige så gäller att naturvårdsverket samordnar och bistår i arbetet (Naturvårdsverket (b) [online], 2012-05-10). På naturvårdsverkets hemsida beskrivs vilka aktörer som gör vad under en sanering av förorenade områden. För samordning och prioritering på nationell nivå, vägledning, administration, uppföljning och EU samarbete står *Naturvårdsverket* själva. Vidare förklaras att *Länsstyrelserna* runt om i Sverige arbetar med att inventera förorenade områden, prioritera på ett regionalt plan, agera som tillsynsmyndighet samt vara ett stöd och ge vägledning till kommuner. *Kommunerna* arbetar framförallt med egna tillsynsobjekt genom utredningar, undersökningar, tillsyns- och planärenden (Naturvårdsverket (b) [online], 2012-05-10). Förutom detta kan kommunen också agera som huvudman vid en efterbehandling, då främst i ärenden där verksamhetsutövare eller bidragsfrågor är en del av processen. För *Verksamhetsutövare* eller *fastighetsägare* gäller att om föroreningar upptäcks på tomten så är man skyldig att anmäla detta till tillsynsmyndigheten (Naturvårdsverket (b) [online], 2012-05-10). *Miljöödomstolar* tar hand om eventuella överklaganden i samband med en efterbehandlingsåtgärd (Naturvårdsverket (b) [online], 2012-05-10). Vidare beskriver naturvårdsverket att arbetet med sanering av mark och vatten också ingår i bl.a. banverket, försvarsmakten, statens fastighetsverk och luftfartsverkets verksamhet (Naturvårdsverket (b) [online], 2012-05-10).

Rock och Sayre skriver i sin text att det i de flesta reningsprocesser i USA finns tre inblandade intressenter (2000, sid. 45). Dessa är:

- markägaren, de som använder eller har använt platsen och delvis kan vara skyldiga till att den förorenats
- Nationella och/eller statliga eller lokala beslutsorgan

- Närboende invånare och andra berörda

Traditionellt sett har de flesta förorenade ytor behandlats genom att jorden i fråga schaktats och transporterats bort för deponiförvaring (Jackson, 2001, sid. 35).

Fytoremediering beskrivs som ett alternativ till dessa metoder, där användningen av växter öppnar upp för ett samarbete mellan olika aktörer. För att möjliggöra en rening och att åter kunna utnyttja den förorenade ytan kan samarbetet mellan landskapsarkitekter, ingenjörer och biologer vara en bra grund att utgå från (Jackson, 2001, sid. 35).

I artikeln *Phytoremediation: integrating art and engineering through planting* beskriver Steven Rock att i de flesta projekt där en reningsprocess använts så kommer en landskapsarkitekt in i planeringskedet först då saneringen redan är utförd (2001, sid. 52). Vidare tar Rock upp att planeraren och ingenjören ofta 'talar olika språk' samt ser platser på helt skilda sätt, framförallt är det hur tidsaspekten i hur projekt hanteras som skiljer yrkesgrupperna åt. Han fortsätter beskriva att en planeringsprocess kring förorenade områden skulle vinna på ett nära samarbete mellan landskapsarkitekt/planerare och ingenjör. Där en ökad förståelse för att alla platser kanske inte behöver saneras helt, framförallt inte om en återanvändning av ytan bidrar till att den (fortsätter att) renas med hjälp av t.ex. olika växter (Rock, 2001, sid. 52).

## Exempel på hur fytoremediering använts

### USA

Vid infarten till staden Ogden, Utah i USA renades en nedlagd bensinstation med hjälp av fytoremediering (Jackson, 2001, sid. 35f). Den 16 000 m<sup>2</sup> stora ytan var förorenad med petroleum och både grundvatten och jord var drabbat. Jackson beskriver att i processen med att välja reningsmetod till den före detta bensinstationen skedde ett samarbete med US. EPA (2001, sid. 35). Fytoremediering övervägdes då som ett kostnadseffektivt, miljömedvetet och ekologiskt alternativ. För att se var och i vilka mängder föroreningarna förekom gjordes utförliga tester och därefter utvecklades en planeringsplan för området (Jackson, 2001, sid. 36). De växter som valdes till reningsprocessen var olika gräsarter, blålusern/alfaalfa (*Medicago sativa*), poppel (*Populus sp.*) samt en (*Juniperus sp.*) (Jackson, 2001, sid. 36). Efter tre år på platsen utvecklades alla växter bra och nya mätningar i jord och vatten visade att halten föroreningar minskat. Kostnaderna för denna sanering motsvarade 20 % av vad det skulle kostat om traditionella metoder istället hade använts på denna yta (Jackson, 2001, sid. 35f). Jackson pekar också på att kombinationen mellan fytoremediering och design har stor potential för efterbehandling och rening av förorenade ytor, där estetiska värden och en ökad biologisk mångfald är positiva aspekter (2001, sid. 35).

Ett annat lyckat exempel på fytoremediering från USA är en tidigare militär yta i Spring Valley, Washington. Det 2,6 km<sup>2</sup> stora området användes under första världskriget till att producera och testa olika kemiska lösningar, vilket lett till att marken blivit förorenad med arsenik (Clu-in (b) [online], 2012-05-13). I projektet användes tre sorters ormbunkar (*Pteris vittata*, *P. cretica* och *P. multifida*) för att minska mängden arsenik i jorden. På stora delar av ytan lyckades ormbunkarna på två år extrahera tillräckligt mycket av föroreningarna för att ingen övrig behandling längre krävs enligt de mål som satts upp för saneringsarbetet (Clu-in (b) [online], 2012-05-13).

## Europa

I norra Ruhr-distriktet i Tyskland har arbetet med att återanvända, integrera, forma och utveckla förorenad och otillgänglig mark tagit sig uttryck i Landschaftspark Duisburg-Nord (Latz, 2001, sid. 150). Parken ligger i ett tätbefolkat område; med 2,5 miljoner invånare var det viktigt att detta projekt kunde berika och göra de industriella miljöerna attraktiva för boende och besökare i distriktet. En annan viktig aspekt i utvecklingen av Landschaftspark Duisburg-Nord var att hantera platsens historia där industri och föroreningar lämnat tydliga spår efter sig samt att förhålla sig till och utnyttja dessa historiska värden istället för att förändra helt och hållet (Latz, 2001, sid. 150f).

Arbetet med den 230 hektar stora landskapsparken drog igång 1991 efter en internationell tävling där en övergripande plan för hela platsen utsågs, som vinnare stod Peter Latz of Latz + Partner, en landskapsarkitektfirma från Kranzberg, Tyskland (Krinke, 2001, sid. 136; Latz, 2001, sid. 150f). Peter Latz beskriver att Landschaftspark Duisburg-Nord reflekterar nya tankar och idéer kring landskap och natur (2001, sid. 150). Parken har fått symbolisera en metamorfos från tung industri till aktivitetspark där den gamla industriella strukturen fått utgöra områdets stomme och bas (Latz, 2001, sid. 150f). Befintliga byggnader och objekt i området har fått nya och fantasifula användningsområden där, exempelvis den gamla blåstringsugnen idag utnyttjas av klättrare, eller underjordiska sjöar i de före detta malmagasinen används av lokala dykklubbar (Latz, 2001, sid 151f). Vidare beskrivs att andra lokaler numera huserar bl.a. utställningar, konserter och träningslokaler.



Figur 9: Landschaftspark Duisburg-Nord i Tyskland (foto: © Raimond Spekking (2006) *Landschaft.jpg*/CC-BY-SA-3.0 (via Wikimedia Commons) [online] tillgänglig via: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Landschaftspark\\_Duisburg-Nord\\_-\\_Landschaft.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Landschaftspark_Duisburg-Nord_-_Landschaft.jpg) [2012-05-05] licensierad som offentligt material).

Stora delar av Landschaftspark Duisburg-Nord består också av områden som lämnats att utvecklas i egen takt, utan intensiv skötsel, samt delar som är så förorenade att de måste hållas inkapslade/avstängda (Latz, 2001, sid. 153). Exempel på ytor som måste hållas avstängda och isolerade är en stenkoltjärafylld sjö. De områden som istället lämnats åt att utvecklas på egen hand består ofta av växtlighet, där arter som klarar av de föroreningar som finns just där valts ut (Latz, 2001, sid. 156f). Många av dessa är visuellt tillgängliga från exempelvis gångstråk men inte tillåtna att vistas nära. Ett annat exempel är en PAH-förorenad yta som tidigare användes för att tvätta kol, här beskriver Peter Latz att det fanns två alternativ för att hantera dessa föroreningar (Latz, 2001, sid. 156). Det ena innebar att



tjocka lager lera läggs ovanpå ytan och kapslar in den PAH-förorenade marken, vilket skulle resultera i ett slags deponi där ingen växtlighet skulle klara av att leva. I det andra alternativet som fanns till hands ansågs det att ett litet gasutsläpp från den förorenade marken kunde accepteras om växtlighet på sikt kunde hjälpa till att rena ytan (Latz, 2001, sid. 156). I Landschaftspark Duisburg-Nord valdes det andra alternativet och på platsen i fråga växer nu enstaka grupper av björkar, användningen av ytan är begränsad till att innefatta gång- och cykelstråk för att inte utsätta besökare för onödiga risker (Latz, 2001, sid. 156).

## Sverige

Fytoremediering som arbetsmetod för att sanera förorenade ytor i Sverige har inte kommit så långt att det blivit allmänt accepterat och betrott som metod. Naturvårdsverket beskriver processen kortfattat i sina skrifter, men i jämförelse med de traditionella metoderna så som schaktning, destruktion och deponering av förorenad mark, får tekniken inte mycket utrymme (Naturvårdsverket, 2009 [online]). Karin Olsson beskriver i sitt examensarbete *Jordläkande växter* att det trots bristen på utbredning i Sverige pågår ett flertal forskningsprojekt och försöksarbeten som berör fytoremediering. Hon tar exempelvis upp *Mykorrhizas stadsodling* i Malmö, *energiskogar* som sänkt kadmiumhalten i jorden på Öland och utanför Västerås samt *Gunnebo slotts köksträdgård* (Olsson, 2011 [online], sid. 15). Karin Olsson tar även upp problematiken med klimatet i Sverige, att för att få till stånd en fungerande fytoremedieringsprocess krävs att växter väljs utifrån försök utförda i liknande klimat.

Salixodlingar har visat sig vara en effektiv fytoremedieringsväxt då de kan extrahera bl.a. kadmium och zink som är två vanligt förekommande föroreningar i urbana miljöer (French; Dickinson; Putwain, 2005 [online] sid. 393). I Sverige är Salix vanligt förekommande i odlingar för bioenergi, p.g.a. den höga andel biomassa de producerar och forskning har visat att arten även här effektivt kan ta upp föroreningar som kadmium, zink och koppar (Olsson, 2011 [online], sid. 15).

## Hur står sig fytoremediering i jämförelse med andra metoder?

Naturvårdsverket har gett ut en rådgivande rapport som heter *Att välja efterbehandlingsmetod* där processen kring att välja rätt behandling för platsen i fråga utreds (Naturvårdsverket, 2009 [online]). I denna rapport beskrivs att arbetet med att välja efterbehandling börjar redan då en misstanke om föroreningar som kan vara skadliga för människor och miljö råder. Därefter kan processen delas in i *undersökningar och utredningar, riskbedömning, riskhantering, riskvärdering, åtgärds genomförande* och avslutningsvis *uppföljning* (a.a, sid. 16). För att kunna välja ut den lämpligaste reningsmetoden bör kostnader för åtgärden vägas mot tidsåtgång och förväntat resultat samt att utförande och att resultatet kontrolleras noga (a.a, sid. 16).

I skriften tar naturvårdsverket upp olika metoder för sanering av mark, en uppdelning görs mellan åtgärder direkt på platsen, *in situ metoder*, och åtgärder som kräver en schaktning och borttransport av de förorenade jordvolymerna, *ex situ metoder* (a.a, sid. 131). Inför beslut om val av åtgärds metod bör målen för vilka resthalter, det vill säga hur mycket föroreningar som tillåts finnas kvar i mark eller vatten efter utförd behandling, vara tydligt uppställda (a.a, sid. 157). Vidare tar de i sin text upp att även mängden jord som är förorenad måste beaktas i valet av remedieringsmetod. Här nedan följer en kortare

förklaring av vad de två begreppen ex situ och in situ betyder samt vilka typer av reningsprocesser de kan innefatta.

### **Ex situ:**

Alla metoder som ska behandlas ex situ kräver att de förorenade jordvolymerna eller sedimenten schaktas/muddras och oftast transport för vidare åtgärder (Naturvårdsverket, 2009 [online], sid. 131f).

*Schaktning*: kräver grundläggande information om de geotekniska förhållanden som råder på platsen, där grundvattnets höjd, erosionsrisken, risk för sättningar och skred tas i beaktning (a.a, sid. 131f). Vidare beskrivs att vid en *muddring*, som innebär schaktning av sediment som befinner sig under vatten, är risken för spridning stor p.g.a. att materialet har en hög vattenkvot, hög organisk halt och en låg skjuvhållfasthet. Det finns dock många tekniska lösningar för att minska spridningen av föroreningar vid muddring i form av bl.a. specialutformade skopor. En *destruktionsmetod* går enbart tillämpa på organiska föroreningar, den vanligaste metoden bygger på biologiska behandlingar där en nedbrytning, kompostering eller förbränning utförs (a.a, sid. 135). *Separation eller koncentration* av föroreningar kan utföras antingen genom en termisk avdrivning eller jordtvätt (a.a, sid. 137). Vid en termisk avdrivning beskriver naturvårdsverket att jordmassorna hettas upp till ca 400-500 grader, till denna metod hör även avskiljning i en rökgasreningsprocess. Det är en effektiv men relativt dyr åtgärdsmetod, något som måste tas i beaktning är hur föroreningarna reagerar på upphettningen; vissa av dem kan övergå till lättrolig gasform eller oxideras. I en jordtvätt separeras jordmassornas olika kornstorlekar åt för att sedan, beroende på vilken typ av förorening som råder, tvättas med vatten eller olika typer av lösningsmedel (a.a, sid. 137). *Deponering/slutförvar* av förorenade jordvolymerna sker hos antingen en extern, regional mottagare eller en specialdeponi anlagd enbart för de påträffade jordvolymerna (a.a, sid. 139). En specialdeponi kan vara aktuellt i de fall då stora volymer finns på en plats och det är långt till närmsta externa deponianläggning. Vad som krävs i båda fallen är en noggrann planering där geologiska, geotekniska och hydrologiska förhållanden utreds, av stor vikt är också kontroll av mängden och typen av föroreningar i jorden samt vilken risk som finns för urlakning och läckage av dessa.

### **In situ:**

Metoder som behandlas in situ, bygger på att föroreningar åtgärdas direkt på den drabbade platsen genom olika tekniker som presenteras kort här. I en rening direkt på den drabbade platsen kan fytoremediering, bioremediering, destruktion, separation och koncentration, behandling av förorenat vatten eller en inneslutning av föroreningarna infattas (Naturvårdsverket, 2009 [online], sid. 136).

Det vanligaste viset på vilket metaller och organiska föroreningar saneras med en in situ åtgärd är tekniker för stimulerad biologisk eller kemisk nedbrytning av dessa ämnen (a.a, sid. 136). Denna reningsprocess kan optimeras genom att tillföra reagenser eller mikroorganismer. Denna metod kallas för *bioremediering*. Vidare beskriver naturvårdsverket att en av de viktigaste förutsättningarna för att en in situ-behandling ska kunna utföras är att föroreningarna finns i en form som låter sig behandlas (a.a, sid. 136). Rådande geokemiska förhållanden måste därför utredas, där t.ex. syretillgång, organisk halt och tillgång på

näringsämnen mäts. Om pågående nedbrytningsprocesser redan finns på platsen samt om det finns konkurrerande ämnen i jorden/vattnet utreds också (a.a, sid. 136).

En *destruktion* som utförs in situ innebär exempelvis att avdrivning av flyktiga ämnen i gasfas eller pumpning av grundvatten med avskiljning och destruktion ovan jord (a.a, sid. 136). *Separation/koncentration* av förorenade ämnen på den drabbade platsen kan innebära bl.a. avdrivning av flyktiga ämnen i gasfas, termisk avdrivning eller elektokinetisk koncentration. En *inneslutning* kan vara relevant då föroreningarna ligger svårt åtkomliga, djupt i marken (a.a, sid. 139ff). Här beskriver naturvårdsverket att inneslutning i praktiken blir en typ av deponi men utan momentet där jordvolymerna schaktas och transporteras, därför anser de att området också bör behandlas som en deponi med de säkerhets- och skyddsåtgärder som hör till. Vidare beskrivs att några olika sätt att innesluta föroreningarna direkt på platsen kan vara: täckning med hjälp av vertikala tätskärmar, täckning av området med olika typer av material, partikelfilter eller s.k. reaktiva barriärer. De reaktiva barriärerna bygger på att föroreningar behandlas i genomströmmande vatten (a.a, sid. 139ff). Vad som är viktigt då en inneslutande efterbehandlingsåtgärd utförs är att reda ut vem/vilka som har ansvar för platsen i framtiden, samt vilka åtgärder som kan komma att behövas (a.a, sid. 139ff).

Nuvarande reningsmetoder för ytor förorenade av tungmetaller är relativt kostsamma, påverkar naturen negativt och kräver en stor arbetsinsats (Vangronsveld; Cunningham, 1998, sid. 1f). Dessa remedieringsmetoder baseras i första hand på ingenjörstekniker som ofta involverar schaktning av den förorenade jorden vilket många gånger kostar mer än tänkt och kräver extra arbete för att återställa mark och miljö till ett hälsosamt tillstånd.

U.S Environmental Protection Agency (EPA) använder nio lagstadgade kriterier för att utvärdera olika alternativ att sanera platser med (Rock; Sayre, 2000, sid. 44f). Kriterierna är:

- *Övergripande skydd av människors hälsa samt miljö*- här värderas metodens möjlighet att eliminera, reducera eller kontrollera skadliga föroreningar
- *Överrensstämmelse med lagar och regler*- om den valda metoden uppfyller federala och statliga miljömål och andra regleringar
- *Långsiktig effektivitet och permanens*- utreder pålitligheten och möjligheten att lyckas i det alternativ som föreslås
- *Minskning av föroreningarnas giftighet, rörlighet eller volym*- uppskattning av effektiviteten i metoden
- *Kortsiktig effektivitet*- värderar nödvändig tidsåtgång för att påbörja alternativet samt vilka risker det medför till arbetande, närboende och miljön under tiden för rening
- *Genomförande*- utredning av de tekniska och administrativa möjligheter till genomförande som alternativet har, konstruktionens svårigheter och möjligheter
- *Kostnadsberäkning*- uträkning av den sammanlagda kostnaden för den metod som valts
- *Statligt godkännande*- går igenom om staten kan acceptera och godkänna de analyser som utförts vid EPA
- *Samhällets och invånarnas godkännande*- frågeformulär och enkäter utvärderas för att se om metoden kan accepteras av en majoritet av invånare

Listan med lagstadgade kriterier som U.S EPA har utfärdat är ganska generell och det finns uppenbara likheter med naturvårdsverkets skrift *Att välja efterbehandlingsmetod* med skillnaden att den senare enbart är rådgivande.

### **Fördelar med fytoremediering:**

I motsats till de vanligaste metoderna för rening av mark och vatten kan fytoremediering kombineras med design och en utökad planering för framtida bruk av platsen (Jackson, 2001, sid. 36). I texten tar författarna även upp att den biologiska mångfalden också är en av de positiva aspekter som reningsprocessen för med sig. Vad som då behöver tas i beaktande är att då växterna väl är planterade på platsen så ingår de genast i ett större sammanhang- vad händer i näringskedjan då djur äter dessa växter som påverkats av föroreningar? Vilken typ av habitat försöker man att skapa på platsen? (Jackson, 2001, sid. 42).

Deponering av förbränt växtmaterial är billigare och mindre ytkrävande än att deponera hela, förorenade jordvolymen (Rock, 2001, sid. 55).

### **Nackdelar med fytoremediering:**

Växternas rotdjup är en av de största begränsningarna för en fytoremedieringsprocess, rötterna måste antingen kunna ta sig så djupt som föroreningarna befinner sig eller så måste de giftiga ämnena pumpas eller flyttas upp för att få kontakt med rötterna (Rock; Sayre, 2000, sid. 44). Vidare är reningsprocessen begränsad av hur snabb- respektive långsamväxande växterna är.

Det begränsade utbudet av växter tillgängliga för fytoremediering utgör också ett hinder för metodens användbarhet samt att en del platser är för förorenade för att växterna ska kunna växa och utvecklas någorlunda bra på platsen (Jackson, 2001, sid. 36). Vidare beskrivs risken för människor och djur att komma i kontakt med kontaminerad växtlighet som en aspekt som måste tas i beaktning och där mer forskning skulle behövas.

## DEL 3: Diskussion och avslutande reflektion

I den här uppsatsen har jag försökt reda ut begreppet fytoremediering, vilka tekniker som är inblandade i processen samt hur metoden kan appliceras på olika typer av föroreningar i mark och vatten. Detta med syftet att försöka nå en förståelse för om/hur rening med hjälp av växtlighet skulle kunna vara en del i stadsplanering; som ett verktyg i arbetet mot ett mer effektivt markutnyttjande. I mitt arbete har jag medvetet försökt att inte gräva ned mig för djupt i de tekniska, fysikaliska och biologiska processer som är en del av begreppet fytoremediering. Istället presenteras tekniken mer övergripande för att kunna diskutera kring dess relevans som ett verktyg i planeringen av våra städer.

Det här kapitlet reder ut, diskuterar och reflekterar över den litteraturstudie som genomförts för att besvara frågeställningarna uppställda i inledningen. Del 3 tar sin början med en kort sammanfattning av uppsatsen för att sedan fortsätta med egna reflektioner och diskussion under rubrikerna *Hållbarhet och effektivitet i fytoremedieringsprocessen*, *Funktionalitet som verktyg i stadsplaneringen* och *Slutsatser och frågeställningar för framtiden*.

### Sammanfattning:

Fytoremediering är samlingsnamnet på den marksaneringsmetod som utnyttjar växters förmåga att tolerera, extrahera, degradera eller stabilisera olika typer av föroreningar i mark och vatten. Att växters olika egenskaper genom historien använts för att utveckla och förbättra förutsättningar i bl.a. jordbruket är ingenting nytt. Vad som på senare år forskats och prövats i fält, är speciella plantors möjlighet att genom olika processer rena den jord eller vatten de växer i från hälsofarliga metaller eller organiska ämnen. Fytoremediering anses vara en teknik som i kontrast till många traditionella metoder för sanering av mark och vatten, som exempelvis schaktning och deponering, är ett betydligt "snällare" metodval. Snällare i den bemärkelsen att långa, klimatpåverkande transporter kan undvikas då växterna behandlar föroreningar direkt på den drabbade platsen, utan störande och bullrande maskiner. Även aspekten att gröna plantor i princip kan sägas vara drivna av solenergi och ökar ekologiska värden och biologisk mångfald bidrar.

En av de största begränsningarna för funktion och möjlig användning av fytoremediering är hur djupt växternas rötter kan nå, samt i vilken mängd och form olika föroreningar förekommer i mark och vatten. För att metoden ska fungera krävs att de ämnen som ska renas finns på ett djup där växterna kan nå dem med sina rötter samt att de förekommer i en form som plantorna kan hantera. Allt för förorenade och giftiga ytor kan inte renas med hjälp av fytoremediering då växterna kan dö av toxiciteten i jord eller vatten.

Informationen kring hur arbetet på stads- och landskapsplaneringsnivå ser ut kring just fytoremediering är relativt begränsad, däremot finns mycket skrivet kring hur förorenade ytor bäst bör hanteras. Outnyttjade eller lågt frekventerade områden, ofta förorenade ytor som tidigare huserat industriell verksamhet, ses som en viktig ekonomisk resurs i dagens städer. Med ett ökat tryck på exploatering kan en argumentation föras kring att utnyttja redan bebyggda områden istället för att ta ny mark i anspråk. För att detta argument ska kunna hävdas krävs att det finns fungerande och kostnadseffektiva sätt att omvandla, rena eller utveckla dessa stadens restytor. Här nedan följer en diskussion om hur fytoremediering skulle kunna vara en del i arbetet med att planera för ett effektivt markutnyttjande, både ekologiskt och ekonomiskt.

## Hållbarhet och effektivitet i fyto Remedieringsprocessen

Det finns i dagsläget ca 80 000 misstänkt eller konstaterat förorenade ytor i Sverige. I Europa uppskattas antalet platser där misstanke om föroreningar råder till ca 3 miljoner (Onwubuya et al. 2009 [online], sid. 6132). Vad som blir väldigt tydligt med dessa siffror är att den industriella revolutionen och vägen fram till dagens tekniksamhälle påverkat vår omgivning drastiskt. Problematiken med förorenade jord- och vattenvolymer kommer ofta till ytan då nya områden för exploatering efterfrågas. I och med miljömålet om en 'giftfri miljö' krävs ett utökat arbete med sanering av förorenade ytor, och alternativ till de traditionella metoderna borde kunna få ett uppsving då många olika typer av platser behöver renas. Om reningsmetoder eller efterbehandlingsåtgärder anses för kostnads- eller tidskrävande kan istället värdefull natur- eller jordbruksmark tas i anspråk, eller så anses tiden vara så knapp att snabba drastiska metoder utförs med stor påverkan på plats och omgivning. I detta skede skulle fyto Remediering kunna bistå som ett innovativt och grönt alternativ.

Fyto Remediering är en reningsprocess som visat sig vara en effektiv metod för att rena jord och vatten från ett flertal olika föroreningar. Något som förvånat mig under arbetets gång är den mängd föroreningar som växter faktiskt kan hantera, från tungmetaller till organiska ämnen. Att processens byggstenar är växterna och deras inbyggda förmåga att extrahera, degradera eller stabilisera olika typer av föroreningar gör det till en miljövänlig process i bemärkelsen att den i princip kan sägas vara driven av solenergi. De estetiska och biologiska värden som kan uppnås med fyto Remediering är också en viktig aspekt. De olika teknikerna innefattade i fyto Remediering har ganska skilda funktioner och möjligheter att hantera föroreningar och skulle således kunna passa till en rad platser med olika föroreningar och förutsättningar. Ofta kan dessa processer också samverka i en reningsprocess. T.ex. skulle det kunna tänkas att i de fall fytoextraherande växter används så sker samtidigt en stabilisering av överflödet föroreningar eller ämnen som inte kan tas upp av växten i fråga, vilket ytterligare minskar risken för att dessa föroreningar sprids genom urlakning eller erosion. Som naturvårdsverket beskriver i sin rapport *Att välja efterbehandlingsåtgärd* är bioremediering den vanligaste metoden för rening direkt på platsen (in situ) och bygger på en nedbrytning av föroreningar med hjälp av mikroorganismer eller kemiska ämnen, vilket då skulle gå utmärkt att kombinera med fytostimulering/rhizodegradering, där växterna underlättar och förbättrar betingelserna för mikroorganismer.

Det är dock många fysikaliska egenskaper som hur djupt växternas rötter når, biotillgängligheten i de föroreningar som ska behandlas och hur stora mängder av föroreningar som finns i jord eller vatten, som kan begränsa användningen av fyto Remediering. Faktumet att det trots ett brett forskningsfält kring metodens möjligheter fortfarande inte blivit en fullt ut accepterat och applicerbart är även det en begränsning för reningsprocessen med växter. Tidsaspekten anses av flertalet författare som refererats till i detta arbete vara en av metodens största nackdelar, men med ett förändrat synsätt på hela processen kanske tidsåtgången istället skulle kunna vändas till något positivt vilket diskuteras lite mer under nästa rubrik. Nackdelarna till trots har fyto Remediering stor potential att vara en del i reningen av mark och vatten.

Att förorenad mark renas direkt på den drabbade platsen är i många fall ett betydligt mildare sätt att ta sig an föroreningsproblematiken. Långa transporter och bullrande maskiner kan då undvikas och den påverkan platsen och dess omgivningar utsätts för är betydligt mindre.

## Funktionalitet som verktyg i stadsplaneringen

Frank Slegers skriver i sin artikel *Phytoremediation as green infrastructure and a landscape of experiences* om att metoder för att återta förorenade ytor egentligen inte är något nytt inom landskapsarkitektens disciplin (2010 [online], sid. 132f). Vidare tar författaren upp att det finns en stor utvecklad potential i att integrera reningsprocessen med övrig planering som t.ex. nätverk i form av grönstruktur och att låta de förorenade ytorna vara en del av den urbana kontexten även under tiden för rening. Att se på saneringen av mark och vatten med ett bredare och mer helhetsinriktat synsätt tas även upp av Niall Kirkwood (2001, sid 7). Här ser författaren möjligheten att använda sig av de tekniska aspekterna och knyta dem till form och design, att istället för att låta tekniken agera som hinder, ta inspiration från denna i planeringen. Som dessa två författare beskriver det så finns det en tydlig potential i att knyta fytoremedieringsprocesser till stads- och landskapsplanering och låta teknik och stad/land utveckla varandra och fungera som en helhet.

I exemplet som visar hur utvecklingen av *Landschaftspark Duisburg-Nord* ser ut, är det tydligt att det på ett fungerande vis går att kombinera fytoremediering med andra saneringsmetoder, men framförallt med design och funktion. Att ett förorenat och skadat område som det i Duisburg-Nord kan bibehålla sin historiska karaktär samtidigt som nya användningsområden växer fram är ett respektfullt sätt att hantera en plats. På samma vis skulle kanske växtlighet och fytoremediering kunna bidra till en bättre miljö i de områden i dagens städer som fortfarande har aktiva, miljöpåverkande industrier. Är det inte då tänkbart att genom en mer långsiktig planering, där insikt om att verksamheter kommer och går men även att behoven av stadsmiljön och dess ytor förändras, kunna använda sig av fytoremediering? På detta vis skulle metodens relativt tidskrävande egenskaper istället utnyttjas till någonting positivt, där framtidens behov av platsen gynnas av att växterna extraherat, degraderat eller stabiliserat de föroreningar som finns. Vidare finns det ett flertal in situ-metoder som går att kombinera med fytoremediering om det visar sig att ett utökat behov av sanering krävs för det framtida bruket av platsen.

Under mitt arbete med uppsatsen har jag upplevt att det i svensk litteratur finns väldigt lite information om hur fytoremediering faktiskt kan användas inom planering, i praktiken. Metoden omnämns som en innovativ teknik som har framtiden för sig, men anses antagligen fortfarande vara ett för osäkert alternativ för ett bredare användningsområde. Speciellt eftersom många förorenade ytor upptäcks först då en förändring ska ske och att det då vanligtvis anses vara bråttom att rena ytan och få den funktionsduglig igen. Naturvårdsverket och Boverket skriver i rapporten *Förorenade områden och fysisk planering* att arbetet med förorenade ytor skulle vinna på att ingå i ett större planeringssammanhang. Ju tidigare förorenade områden upptäcks och metoder för hur de ska hanteras kan vävas in i planeringsprocessen, desto effektivare kan saneringen bli.

”Den kommunala planprocessen innehåller de moment av överblick, långsiktighet och förutseende som arbetet med förorenade områden behöver tillföras för att bli mer effektivt och målinriktat”

(Naturvårdsverket; Boverket, 2006 [online], sid. 16).

Fytoremediering är en metod som kräver en långsiktig planering för att fungera, och kanske skulle det bli ett mer övervägt och användbart alternativ, om föroreningar och arbetet med att rena dem kan vävas in i planeringen som Naturvårdsverket och Boverket trycker på?

En stor potential i fytoremediering är att just växter utnyttjas, vilket kan knytas starkt till landskapsarkitektens/planerarens yrkesroll och utformningen av vår utemiljö. Att på ett integrerat vis använda sig av växter för att rena en utnyttjad yta skulle inte bara leda till att

en ny användning av platsen kan nås på sikt, utan även stora kvaliteter under processens gång. Växterna är som sagt en stor potential i fytoremedieringsprocesser, men inte enbart, brister kan uppstå bl.a. i form av vilka klimatzoner som arter med en utvecklad förmåga att hantera metaller och organiska föroreningar klarar av. En annan typ av problematik med fytoremediering som bl.a. Lucinda Jackson tar upp är att det inte är helt utrett hur växter i kontaminerad jord (och vatten) kan påverka näringskedjan (2001, sid. 36). Vad händer t.ex. då människor, djur och insekter kommer i kontakt med växter som samlat på sig föroreningar i sina ovanjordiska växtdelar? Jackson skriver att det behövs mer forskning för att reda ut denna typ av problematik som är förknippad med reningsprocessen (2001, sid. 36).

## Slutsatser och frågeställningar för framtiden

Fytoremediering har en stor potential att på ett mer ekologiskt, estetiskt och dynamiskt sätt bidra till att fler outnyttjade ytor åter kan komma till användning. Det finns fortfarande en del lösa trådar i tekniken som behöver mer forskning, utredning och fältförsök för att metoden ska kunna stå sig i jämförelse med redan etablerade sätt att sanera jord och vatten.

Integrering av design, planering och fytoremediering är en relativt outvecklad potential som med rätt typer av projekt borde kunna utveckla och sprida kunskap om metoden som ett välfungerande och långsiktigt sätt att ta sig an förorenade ytor. Att med hjälp av växter återta kontaminerade eller förgiftade områden leder inte bara till rening av jorden i fråga utan kommer även med alla de positiva aspekter som växter bidrar med i vår utemiljö. Som landskapsarkitekter tror jag definitivt att vi skulle kunna vara en del i att metoden utvecklas och vinner mark i jämförelse med traditionella åtgärder för att rena jord och vatten. Som beskrivet i början av detta kapitel har de mer tekniska delarna av fytoremediering beskrivits på ett generellt och övergripande sätt i uppsatsen. Landskapsarkitektens yrkesroll kan i många fall vara att agera samordnande i olika typer av projekt och det är då viktigt att vi har en bred kunskap; att kunna lite om många saker.

För att kunna planera för, och med hjälp av växter rena, förorenade områden krävs först och främst en kunskap om fytoremedieringsprocessens möjligheter och begränsningar. Att som landskapsarkitekt kunna skapa sig en uppfattning om det är ett gångbart alternativ för platsen i fråga, därefter kommer samarbetet med ingenjörer, ekologer och biologer kring de mer tekniska aspekterna som ett logiskt nästa steg. Just samarbetet mellan olika yrkesgrupper tror jag är en grundläggande förutsättning för att kunna föra utvecklingen av denna innovativa metod framåt. Steven Rock beskriver att ett nära samarbete mellan planerare/landskapsarkitekt och ingenjör skulle gynna planeringen för områden som är förorenade med tungmetaller eller organiska ämnen. Även Naturvårdsverket och Boverket förespråkar mer samarbete kring frågor om sanering av föroreningar och planeringen för arbetet med dem.

Ett långsiktigt synsätt på de frågor som hanterar, av oss människor, förorenade ytor skulle kanske också kunna inbegripa att det i anknytning till verksamheter med stor miljöpåverkan (risk för utsläpp av giftiga ämnen) kan pågå en fytoremedieringsprocess. Där växter bidrar både i en långt gående rening av ytor och med estetiska och biologiska värden till platsen i fråga.

Som verktyg för stadsplanering har fytoremediering framtiden för sig, det är en metod som jag tror tilltalar beslutsfattare, invånare och planerare. Det dynamiska sättet att angripa föroreningsproblematiken med hjälp av växtlighet tillsammans med att långa transporter,



deponering av stora jordvolymen och bullrande maskiner kan undvikas ligger bra till i en tid då vi tvingats bli allt mer medvetna om de begränsade resurser som råder världen över.

Under arbetets gång har jag upptäckt att mina frågeställningar överlag varit ganska generellt uppställda och något svåra att hitta enkla och självklara svar till. De mer tekniska bitarna, som hur metoden fungerar, biologiska och ekologiska värden som kan uppnås samt vilka problem och möjligheter som finns har jag kunnat besvara genom mitt arbete. Svårare har det varit med frågan om fytoremediering kan anses vara en lämplig metod att använda sig av i stadsplaneringssammanhang. Det är en väldigt bred fråga och det självklara svaret borde vara att, ja det är en fungerande metod som visat sig vara effektiv i många sammanhang och till flera olika föroreningar. Bristen här ligger i att metoden fortfarande inte vunnit allmän acceptans som ett alternativ till de traditionella saneringsmetoderna. Mycket av detta tror jag kan bero på att tekniken att rena mark och vatten med växtlighet ännu inte helt lämnat "försöksstadiet" där de inblandade främst är de som forskar kring metoden och alla dess aspekter. Samarbete och planering på ett bredare plan samt att knyta reningsprocessen starkare till just planering och den framtida användningen av våra förorenade ytor skulle kunna ge fytoremediering den knuff framåt som metoden behöver. Här skulle vi som landskapsarkitekter/planerare kunna bidra genom att lära oss mer om, och förespråka, fytoremediering som ett fungerande, hållbart, ekonomiskt och dynamiskt sätt att återta och återställa områden förorenade med organiska ämnen och tungmetaller.

#### **Vidare forskning och frågeställningar:**

Problematiken med hur människor och djur kan påverkas då de kommer i kontakt med växter som ansamlat föroreningar i sina vävnader är en viktig aspekt att forska vidare kring.

Något jag saknat i färdigställandet av uppsatsen är konkreta exempel på kopplingar mellan tekniken fytoremediering och planeringsperspektivet. I de flesta artiklar och övrig litteratur som behandlar rening med hjälp av växtlighet ligger ett stort fokus på just tekniken och försök utförda i laboratorier eller strikt vetenskapliga fältförsök. Det hade varit intressant med fler exempel likt *Landschaftspark Duisburg-Nord* där reningsprocessen verkligen vävts in i planeringen och att metoden fått vara med och påverka utgången av den fysiska utformningen. Med fler sådana exempel skulle en bredare utvärdering av metodens användbarhet kunna nås.

# LITTERATURFÖRTECKNING

## Elektroniska källor:

Andersson, Åsa; Svensson, Matilda (2007) *Fytoremediering – Att rena mark och vatten med växter*.

Examensarbete [online] tillgänglig via:

[http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=fyto remediering%20att%20rena%20mark%20och%20vatten%20svensson%20andersson&source=web&cd=1&ved=0CFEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.renaremark.se%2Ffilarkiv%2Fexjobb%2Ffyto remediering%2520sa%2520Andersson\\_Matilda%2520Svensson.pdf&ei=NLmnT5KXILPV4QS BzujGCA&usg=AFQjCNEZTug1gSwKBXKPMpggBQYsXbbPSw&cad=rja](http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=fyto remediering%20att%20rena%20mark%20och%20vatten%20svensson%20andersson&source=web&cd=1&ved=0CFEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.renaremark.se%2Ffilarkiv%2Fexjobb%2Ffyto remediering%2520sa%2520Andersson_Matilda%2520Svensson.pdf&ei=NLmnT5KXILPV4QS BzujGCA&usg=AFQjCNEZTug1gSwKBXKPMpggBQYsXbbPSw&cad=rja) [2012-05-07]

Clu-in (a), hemsida, länken technologies [online] tillgänglig via: <http://www.clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/Phytotechnologies/cat/Overview/> [2012-05-13]

Clu-in (b), hemsida, länken technologies [online] tillgänglig via: [http://www.clu-in.org/products/demos/search/vendor\\_details.cfm?Project\\_ID=212](http://www.clu-in.org/products/demos/search/vendor_details.cfm?Project_ID=212) [2012-05-13]

Foto: © Raimond Spekking (2006) *Landschaft.jpg*/CC-BY-SA-3.0 (via Wikimedia Commons) [online] tillgänglig via: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Landschaftspark\\_Duisburg-Nord\\_-\\_Landschaft.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Landschaftspark_Duisburg-Nord_-_Landschaft.jpg) [2012-05-05] licensierad som offentligt material.

French, Christopher J; Dickinson, Nicholas M; Putwain, Philip D. (2005) Woody biomass phytoremediation of contaminated brownfield land. *Environmental Pollution*. Vol.141(3), sid. 387-395 [online] tillgänglig via: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749105004628> [2012-05-11]

Licht, Louis A; Isebrands, J.G (2005) Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities. *Biomass and Bioenergy*. Vol.28(2), sid. 203-218 [online] tillgänglig via: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195340400162X> [2012-04-11]

Malmberg, Karin (2005) *Samlade erfarenheter om härdighet hos prydnadsgräs i Sverige från zon 1 till 8* [online] tillgänglig via: [http://ex-epsilon.slu.se:8080/archive/00000576/01/k\\_malmberg.pdf](http://ex-epsilon.slu.se:8080/archive/00000576/01/k_malmberg.pdf) [2012-05-21]

Malmö stad (2012) hemsida, länken Medborgare, "Så förtätar vi Malmö" [online] tillgänglig via: <http://www.malmo.se/download/18.4d147ba1286e5bcbb4800055507/F%C3%B6rt%C3%A4tning-PM.pdf> [2012-04-12]

Movium plantarum, hemsida [online] tillgänglig via: <http://plantarum.slu.se/?nav=home> [2012-05-21]

*Nationalencyklopedin*, "fyto remediering" [online] tillgänglig via: <http://www.ne.se/fyto remediering> [2012-04-11]

*Nationalencyklopedin*, "mikroorganism" [online] tillgänglig via: <http://www.ne.se/lang/mikroorganism> [2012-05-03]

*Nationalencyklopedin* "PCB" [online] tillgänglig via: <http://www.ne.se/lang/pcb/281036> [2012-05-07]

*Nationalencyklopedin*, "polycykliska aromatiska kolväten" [online] tillgänglig via: <http://www.ne.se/polycykliska-aromatiska-kolv%C3%A4ten> [2012-05-05]

*Nationalencyklopedin*, "rotzon/rhizosfär" [online] tillgänglig via: <http://www.ne.se/rotzon> [2012-05-03]

*Nationalencyklopedin*, "jordmekanik" [online] tillgänglig via: <http://www.ne.se/lang/jordmekanik> [2012-05-21]

*Nationalencyklopedin*, "xenobiotika" [online] tillgänglig via: <http://www.ne.se/xenobiotika> [2012-05-03]

Naturvårdsverket (2009) *Att välja efterbehandlingsåtgärd: en vägledning från övergripande till mätbara åtgärds mål*. Rapport 5978 [online] tillgänglig via:

<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5978-1.pdf> [2012-04-12]

Naturvårdsverket och Boverket (2006) *Förorenade områden och fysisk planering*. Rapport 5608 [online]

tillgänglig via: <http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Om-Naturvardsverket/Vara-publikationer/ISBN1/5600/91-620-5608-5/> [2012-04-17]

Naturvårdsverket (a), hemsida, länken Verksamheter med miljöpåverkan [online] tillgänglig via:

[http://www.naturvardsverket.se/upload/07\\_verksamheter\\_med\\_miljopaverkan/Foroenade-omraden/laget\\_i\\_landet\\_efterbehandling/2010/Skrivelse-o-bilagor-Lagesbeskrivning-ebh-2010-110415.pdf](http://www.naturvardsverket.se/upload/07_verksamheter_med_miljopaverkan/Foroenade-omraden/laget_i_landet_efterbehandling/2010/Skrivelse-o-bilagor-Lagesbeskrivning-ebh-2010-110415.pdf) [2012-04-11]

Naturvårdsverket (b), hemsida, länken Verksamheter med miljöpåverkan [online] tillgänglig via:

<http://www.naturvardsverket.se/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Foroenade-omraden/Vem-gor-vad-inom-efterbehandling/> [2012-05-10]

Naturvårdsverket (c), hemsida, länken Verksamheter med miljöpåverkan [online] tillgänglig via:

<http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Foroenade-omraden/Vem-gor-vad-inom-efterbehandling/Tydligare-roller-for-att-oka-efterbehandlingstakten/> [2012-05-11]

Nilsson, Paula (2009) *Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) i jord - inverkan av organiskt material och kolloidrelaterade företeelser* [online] tillgänglig via:

[http://www.gvc.gu.se/digitalAssets/1322/1322980\\_b583-klar---kopia.pdf](http://www.gvc.gu.se/digitalAssets/1322/1322980_b583-klar---kopia.pdf) [2012-05-05]

Olsson, Karin (2011) *Jordläkande växter, växters kapacitet att med fyto Remediering rena förorenad mark, med exempel och förslag för Ockelbo järnvägsstation* [online] tillgänglig via:

<http://www.uppsatser.se/upsats/e05084d660/> [2012-05-11]

Onwubuya, Kene; et al. (2009) Developing decision support tools for the selection of "gentle" remediation approaches. *Science of the Total Environment*. Vol.407(24), sid. 6132-6142 [online] tillgänglig via:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969709007591> [2012-04-15]

Peer, Wendy Ann et al. (2006) Phytoremediation and hyperaccumulator plants. *Molecular Biology of Metal Homeostasis and Detoxification From Microbes to Man*. Vol. 14, (sid. 299-340) Här: sid. 1-43 [online] tillgänglig

via: <http://naturalsystems.uchicago.edu/naturalsystems/class/GMO/Peer2005.pdf> [2012-05-14]

Pilon-Smits, Elizabeth (2005) Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*. Vol. 56, sid.15-39 [online]

tillgänglig via: <http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214> [2012-04-10]

Slegers, Frank (2010) Phytoremediation as Green Infrastructure and a Landscape of Experiences. *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy*. Vol. 15(13), sid. 132-140 [online]

tillgänglig via: <http://scholarworks.umass.edu/soilsproceedings/vol15/iss1/13> [2012-04-10]

Wong, Coby S C.; Li, Xiangdong; Thornton, Iain (2006). Urban environmental geochemistry of trace metals.

*Environmental Pollution*. Vol.142(1), sid. 1-16 [online] tillgänglig via:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749105004811> [2012-04-17]

## Tryckta källor:

- Jackson, Lucinda (2001). Beyond clean-up of manufactured sites: remediation, restoration and renewal of habitat. I: *Manufactured sites: rethinking the post-industrial landscape*. Red. Niall Kirkwood. New York: E & FN Spon, sid. 35-42
- Kirkwood, Niall (2001). Manufactured sites: integrating technology and design in reclaimed landscapes. I: *Manufactured sites: rethinking the post-industrial landscape*. Red. Niall Kirkwood. New York: E & FN Spon, sid. 3-11
- Krinke, Rebecca (2001). Overview: design practice and manufactured sites. I: *Manufactured sites: rethinking the post-industrial landscape*. Red. Niall Kirkwood. New York: E & FN Spon, sid. 125-149
- Latz, Peter (2001). Landscape Park Duisburg-Nord: the metamorphosis of an industrial site. I: *Manufactured sites: rethinking the post-industrial landscape*. Red. Niall Kirkwood. New York: E & FN Spon, sid. 150-165
- McCutcheon, Steven C; Schnoor, Jerald L. (2003). Overview of Phytotransformation and Control of Wastes. I: *Phytoremediation: transformation and control of contaminants*. Red. Steven C. McCutcheon och Jerald L. Schnoor. New Jersey: Wiley-Interscience, sid. 3-58
- Medina, Victor F et al. (2003) Plant Tolerances to contaminants. I: *Phytoremediation: transformation and control of contaminants*. Red. Steven C. McCutcheon och Jerald L. Schnoor. New Jersey: Wiley-Interscience, sid. 189-232
- Patel, Runa; Davidson, Bo (2011). *Forskningsmetodikens grunder: att planera, genomföra och rapportera en undersökning*. 4., [uppdaterade] uppl. Lund: Studentlitteratur
- Rock, Steve; Sayre, Philip G. (2000) Regulatory considerations for phytoremediation. I: *Phytoremediation of Toxic Metals*. Red. Ilya Raskin och Burt D. Ensley. New York: Wiley, sid. 43- 49
- Rock, Steven (2001). Phytoremediation: integrating art and engineering through planting. I: *Manufactured sites: rethinking the post-industrial landscape*. Red. Niall Kirkwood. New York: E & FN Spon, sid. 52-60
- Salt, David. E; Blaylock, Michael; Kumar, Nanda. P.B.A (1995) Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals from the Environment Using Plants. *Biotechnology: the international journal of biology and industry*. New York: Nature publishing company. Vol. 13(5), sid. 468-474.
- Schat, Henk; Verkleij, Jos A.C. (1998) Biological Interactions: The Role for Non-Woody Plant in Phytoremediation: Possibilities to Exploit Adaptive Heavy Metal Tolerance. I: *Metal-contaminated soils: in situ inactivation and phytoremediation*. Red. Jaco Vangronsveld och Scott D. Cunningham. Berlin: Springer, sid. 51-65
- Stearns, Jennifer C.; Shah, Saleh; Glick, Bernard R. (2007). Increasing Plant Tolerance to Metals in the Environment. I: *Phytoremediation: methods and reviews*. Red. Neil Willey. New Jersey: Humana, sid. 15-26
- Tang, Chung-Shih (2007). Sectorized Planters for Phytoremediation Studies. I: *Phytoremediation: methods and reviews*. Red. Neil Willey. New Jersey: Humana, sid. 175-183
- Vangronsveld, Jaco; Cunningham, Scott D. (1998). Introduction to the concepts. I: *Metal-contaminated soils: in situ inactivation and phytoremediation*. Red. Jaco Vangronsveld och Scott D. Cunningham. Berlin: Springer, sid. 1-15
- Willey, Neil (red.) (2007). *Phytoremediation: methods and reviews*. New Jersey: Humana