



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap

Fytoremediering som saneringsmetod och landskapsarkitektur i postindustriella hamnmiljöer

Phytoremediation as a Means of Site Remediation and
Landscape Architecture in Post-industrial Harbour Sites

Baloo Peinkofer

Fytoremediering som saneringsmetod och landskapsarkitektur i postindustriella hamnmiljöer

Phytoremediation as a Means of Site Remediation and Landscape Architecture in Post-industrial Harbour Sites

Baloo Peinkofer

Handledare: Cecilia Öxell, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Mats Gyllin, SLU, Institutionen för arbetsvetenskap ekonomi och miljöpsykologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Kandidatexamensarbete i Landskapsarkitektur

Kurskod: EX0649

Ämne: Landskapsarkitektur

Program: Landskapsarkitektprogrammet

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2017

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

Nyckelord: fytoremediering, förorenad mark, sanering, postindustriella miljöer, brownfields, waterfront renewal, waterfront regeneration

Innehåll

Sammandrag	
Abstract	
Förord	
Sammandrag	5
Abstract.....	5
Förord.....	6
Introduktion	7
Bakgrund	7
Frågeställningar:	7
Mål	7
Syfte	7
Avgränsningar	7
Metod och material	8
Litteraturstudier.....	8
Begreppsförklaringar	9
Stadens utveckling	11
Förtätning.....	11
Återexploatering av <i>brownfields</i> och hamnområden.....	11
Föroreningar	14
Vad är vanliga föroreningar?	14
Hur uppstår föroreningar?	16
Hur åtgärdas föroreningar idag?.....	17
Fytoremediering.....	19
Vad är fytoremediering?	19
Vad kan fytoremedieras i dagsläget?.....	21
Hur används fytoremediering idag?	23
Fytoremedering som landskapsarkitektur i hamnbelägna <i>brownfields</i>	24
Fytoremediering och landskapsarkitektur i kombination.....	24
Vilka föroreningar är vanliga i hamnområden?	27
Vilka växtarter kan användas?	27
Förutsättningar	27
Växtlista över potentiella arter	28
Exempel.....	31
Diskussion	35
Är fytoremediering ett gångbart alternativ för sanering i ett postindustriellt hamnområde?	35

Är det möjligt att, i en postindustriell hamnmiljö, skapa stimulerande miljöer för rekreation med växtmaterial som samtidigt hjälper fyto Remedieringsprocessen?	36
Vidare forskning	37
Övriga reflektioner kring ämnet och arbetet.....	39
Källförteckning	40

Sammandrag

Fytoremediering är en metod där föroreningar, i mark och vatten, extraheras, stabiliseras eller bryts ned med hjälp av växter. Då den industrialiserade världen innehar stora kvantiteter av förorenade områden och samtidigt behöver mark att bygga på för att möta de krav som en växande befolkning ställer, används idag ofta omfattande saneringsåtgärder. Dessa saneringsåtgärder beskrivs många gånger som dyra och sällan miljövänliga. I en sådan kontext kan fytoremediering vara ett användbart verktyg för att rena förorenade platser på ett hållbart sätt.

Utöver de renande möjligheterna fytoremediering har att erbjuda, har metoden potential att skapa en attraktiv miljö under saneringstiden. Detta är dock fortfarande ett ganska outforskat område och har ännu inte behandlats i någon större utsträckning i litteratur eller av realiserade arkitekturprojekt. Således är det av intresse att undersöka hur attraktiva miljöer skulle kunna gestaltas i postindustriella områden, vilka ofta är föremål för stadsförnyelseprojekt och förtätning.

Det föreliggande arbetet har därför som mål att undersöka tillämpbarhet av fytoremediering som saneringsmetod och möjlighet att samtidigt skapa ett attraktivt område på den typ av plats som idag är en av de populäraste att förnya: den postindustriella hamnmiljön. Syftet med detta är att arbetet ska kunna tjäna som kunskapsunderlag vid projekt som ämnar att tillämpa fytoremediering i hamnområden. Genom litteraturstudier dras slutsatserna att fytoremediering oftast är ett bra alternativ för sanering, såväl i hamnmiljöer som generellt, men att det kräver att god framförhållning i planeringen och att ståndortens förhållanden inte omöjliggör vegetation. Vidare konstateras att attraktiva miljöer bör kunna skapas med hjälp av fytoremedierande växtlighet.

Abstract

Phytoremediation is a remediation technique that extracts, stabilises or degrades contaminants, in both soil and water, by the use of plants. As the industrialised world contains large quantities of contaminated sites and, at the same time, is in need of space to build upon to satisfy the needs of a growing population, large-scale remediation techniques are often utilised. These techniques are frequently described as expensive and seldom as environmentally friendly. In such a context, phytoremediation could prove a useful means of cleaning contaminated sites in a sustainable way.

Beyond its remedial capabilities, phytoremediation has potential to create an attractive environment during the remediation process. This, however, is still a rather uncharted territory and has so far not been addressed in literature nor by realised architecture projects. Thus, it is of interest to investigate how attractive environments might be created in post-industrial sites which often are subject to urban renewal and densification.

Accordingly, the paper in hand operates under the aim of investigating the applicability of phytoremediation as a remediation technique and its potential in creating an attractive environment in the type of site that is one of the most popular for urban renewal these days: the post-industrial harbour. The purpose of the paper is to be able to serve as a base of knowledge for projects that aim to apply phytoremediation in a harbour site. By means of literature studies, the conclusion, that phytoremediation is a sound alternative for remediation, both in harbour sites and in general, but that it also demands thorough long-term planning and that the conditions of the site do not rule out the establishment of vegetation, is reached. Furthermore, it is concluded that, using vegetation that is active in phytoremediation, attractive environments should be able to be created.

Förord

Det föreliggande kandidatarbetet är resultat av knappa två månaders studier. Val av ämne har skett på vis som liknar valet av utbildningen som föranleder arbetet; en ganska slumpmässig upptäckt av något som ger intryck av att vara intressant och tycks kunna erbjuda möjligheten att kunna göra saker bättre än de är i dagsläget. Mer vardagligt, skulle anledningarna kunna sammanfattas med att växter är häftiga, föroreningar dåliga och en massa industrimarker, däribland hamnar, ska förnyas.

Tack till Cecilia Öxell som handlett och svarat på frågor. Tack också till Jenny Fischer som gjort mer än gedigna genomläsningar av arbetet. Och tack, Lina såklart, för att du är bäst.

Baloo Peinkofer

19 maj 2017 Lund

Introduktion

Bakgrund

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

Så lyder definitionen på Giftfri miljö som är ett av de 16 nationella miljömål som beslutats om av Sveriges riksdag (Naturvårdsverket 2017a). En central del i miljömålet är att *"Förorenade områden är åtgärdade i så stor utsträckning att de inte utgör något hot mot människors hälsa eller miljön"* (Ibid.) Detta sammanfaller med att allt fler städer önskar att bygga på mark som är drabbad av just föroreningar, såsom industri- och hamnområden (Malmö stad 2010, 4). Ambitionen med detta är en tät och hållbar stad som kan möta behoven en växande urban befolkning ställer på bostäder, infrastruktur, grönstruktur och serviceutbud (Ibid.) Eftersom urbaniseringstrenden är ihållande och behovet av bostäder stort, avsätter Naturvårdsverket (2017b) 300 miljoner kronor i bidrag för kommuner som ämnar att sanera förorenad mark för att bygga på den. Att sanera mark med konventionella metoder är ytterst dyrt och inte särskilt hållbart, men samtidigt är saneringen nödvändig för att kunna förtäta landets urbana centra. Billigare och hållbarare saneringsmetoder är således värda att undersöka.

Frågeställningar:

Är fyto Remediering ett gångbart alternativ för sanering i ett postindustriellt hamnområde?

Är det möjligt att, i en postindustriell hamnmiljö, skapa stimulerande miljöer för rekreation med växtmaterial som samtidigt hjälper fyto Remedieringsprocessen?

Mål

Att undersöka och försöka svara på i vilken utsträckning fyto Remediering är tillämpningsbart som metod för sanering av förorenad mark i hamnmiljöer och om detta samtidigt skulle kunna erbjuda en möjlighet att arbeta med vegetationens estetiska kvalitéer.

Syfte

Arbetet ska kunna tjäna som ett översiktligt kunskapsunderlag för framtida arbete med fyto Remediering vid stadsförnyelseprojekt i postindustriella hamnmiljöer.

Avgränsningar

I detta arbete diskuteras främst fyto Remediering som metod för att åtgärda befintliga föroreningar. I litteratur (bl.a. Kennen & Kirkwood 2015) nämns ibland fytostrategier och syftar då på hur vegetation även kan förebygga framtida föroreningar. Detta har endast nämnts vid något tillfälle i arbetet. Inte heller görs några större fördjupningar i fyto Remedieringens växtfysiologiska processer. Likaså hålls beskrivningarna av föroreningarna översiktliga.

I "Återexploatering av brownfields och hamnområden" återges en teori om den historiska utvecklingen av hamnområden. Denna teori är en av flera på området. Inga andra teorier redovisas, nämns eller jämförs. Detta eftersom denna del av arbetet endast är till för att ge bakgrunds information.

Metod och material

Litteraturstudier

Det föreliggande arbetet grundar sig på litteraturstudier i böcker, artiklar, avhandlingar och vetenskapliga rapporter. Litteratur har sökts via SLUs databas Primo, Google Scholar samt onlinedatabasen över akademisk litteratur som tillhandahålls av Taylor and Francis Group. Tryckt litteratur har sökts med hjälp av biblioteken vid Lunds Universitets gemensamma katalog, Lovisa. Även genom granskning av relevant litteraturs referenser har fler källor hittats.

Då fyto Remediering är ett relativt ungt ämne finns det fortfarande ett ganska litet litteraturunderlag, framförallt sådant som relaterar fyto Remediering till design. Dessutom redogör flera källor (Nicholson et al. 2009; Kennen & Kirkwood 2015; van der Ent et al. 2015) hur många av de slutsatser som drogs från den tidiga forskningen inom ämnet var förhastade och alltför optimistiska. Således har försök gjorts att så långt som möjligt basera litteraturstudien på material som utkommit de senaste decennierna. Ambitionen har också varit att om möjligt alltid använda förstahandskällorna. Vad gäller fyto Remedieringens mer tekniska aspekter har dock meta-analyser och *reviews*, eller systematiska översiktsarbeten, använts i många fall för att få en övergripande bild. Då meta-analyserna publicerats i *peer reviewed journals* och följaktligen är granskade av sakkunniga har bedömningen gjorts att innehållet är empiriskt underbyggt och trovärdigt. Stora delar av uppsatsen har i första hand grundats på Kennen och Kirkwoods bok *Phyto* (2015). Att låta en enda källa utgöra grunden till stora delar av arbetet kan i högsta grad ifrågasättas. Källor som behandlar överlappningen mellan fyto Remedieringens naturvetenskapliga parametrar och de designmässiga aspekterna är dock väldigt sällsynta och Kennen och Kirkwoods arbete utgör en förhållandevis grundlig genomgång av just denna överlappning. Dessutom refererar författarna som regel till mer atomistiska källor för att underbygga den helhetsbilden som boken ämnar att förmedla. I de fall källorna som referats till varit tillgängliga har dessa använts istället. Vidare talar författarnas meriter för bokens trovärdighet. Kate Kennen driver fyto Remedieringskonsultföretaget Offshots Inc. och har arbetat med flera stadsförnyelseprojekt. Dessutom undervisar hon inom fyto Remediering Harvard University Graduate School of Design. Niall Kirkwood är professor i landskapsarkitektur vid Harvard University Graduate School of Design och har givit ut flera tidigare böcker om fyto Remediering och *brownfields*, många av vilka refereras till av annan litteratur inom ämnet.

Begreppsförklaringar

Anjoner/kationer:

En anjon är en negativt laddad jon. En katjon är således en positivt laddad jon. Speciellt vid fytoremediering av metaller är detta relevant då dessa kan vara hårt bundna i en jord med positivt laddade joner om de består av negativt laddade joner, och vice versa, vilket kan försvåra upptaget av föroreningarna (Kennan & Kirkwood 2015, 141).

Bioackumulering:

Accumulering av miljögifter i biologisk organism (Nationalencyklopedin 2017a)

Biotillgänglighet:

Andelen av förorening som kan tas upp av en organism avgör graden av biotillgänglighet (Kennan & Kirkwood 2015, 56).

Ekologiskt fotavtryck:

Mäter hur mycket markareal och vatten som är nödvändigt för att producera de gods och tjänster som möjliggör en viss livsstil (WWF 2017).

Freoner:

En form klorerade lösningsmedel. Freoner bidrar till uttunning av ozonskiktet och är idag förbjudna. Användes främst i kylanläggningar och luftkonditioneringar (Kemikalieinspektionen 2012).

Furaner:

Grupp av kemiska föroreningar vilka är giftiga, svårnedbrytbara och kan bioackumuleras. Är en biprodukt vid tillverkning av, exempelvis PCB. Furaner är karcinogena (Svenska Geotekniska Föreningen 2015).

Halveringstid:

Tid det tar för ett ämne att brytas ned till hälften av sin ursprungliga mängd. Används som indikator för hur snabbt en kemisk förening sönderfaller (Nationalencyklopedin 2017b).

Immobilisering:

Betecknar metod för att göra ett ämne orörligt (Nationalencyklopedin 2017c).

Karcinogen:

Cancerframkallande ämne.

Kelater:

En kelat är en metallkomplex som tillsätts jorden för att binda metallatomer. Detta förenklar upptagningen av metaller genom växter (Olsson 2011, 20).

Kreosot:

Träimpregneringsmedel som består av olika ämnen som uppkommer vid torrdestillation av stenkol. Kreosot används främst för impregnering av järnvägssliprar och telefonstolpar. Kreosot är cancerframkallande (Kemikalieinspektionen 2016a).

Remediering/efterbehandling/sanering:

Begreppen används synonymt i detta arbete och syftar till de åtgärder som genomförs för att rena en plats från de föroreningar som finns där.

PAH:

Står för polyaromatiska kolväten och är en grupp av karcinogena ämnen som "bildas när kol eller kolväten t ex olika oljor upphettas utan att det samtidigt finns tillräckligt mycket syre för att ge en

fullständig förbränning till koldioxid. Det kan ske i industriella processer såsom vid krackning av petroleum, eller i förbränningsmotorer i bilar.” (Kemikalieinspektionen 2016b).

PCB:

Står för polyklorerade bifenoler och är en form av långlivade organiska föroreningar. PCB har använts i allt från äldre köksapparater till färg och lysrör. PCB påverkar utvecklingen av hjärna och nervsystem (Naturvårdsverket 2014).

Permeabilitet:

Ett materials genomsläpplighet för gaser eller vätskor (Nationalencyklopedin 2017d).

Stadens utveckling

Förtätning

Idag upplever Sveriges storstadsregioner en kraftig befolkningsökning vars behov av bostäder inte täcks upp av de befintliga bestånden och kräver en markant ökning av nyproduktioner (Olofsson, 2015). Historiskt expanderande städer främst utåt och tog på så sätt upp allt mer markareal. Detta gick hand i hand med anpassning för bilen som huvudsakligt transportmedel (Boverket 2004, 59) men också med de på 30-talet förhärskande visioner om att ett idealiskt liv skulle kunna etableras utanför stadens kärna. Exempelvis beskriver Lilja (2000, 3) hur ” [d]römmen om folkhemmet skulle realiseras genom att bygga nya förorter och idag framträder folkhemsbygget som årsringar av förorter t.ex. runt Stockholms innerstad.” För att möta det ovannämnda bostadsbehovet, men också för att bygga ett hållbarare samhälle, är ambitionen idag att istället växa inåt istället för att expandera utåt, så kallad förtätning (Boverket 2016, 7). Syftet är att bevara åkermark och natur i stadens omnejd samt att inte komplicera infrastrukturen ytterligare (Boverket 2004, 59-60).

Om målbilden är att inte låta stadens utbredning fortgå blir utmaningen istället att finna lämplig mark att exploatera inom staden. Valet faller då ofta på tidigare exploaterade miljöer, såsom industri- och hamnområden (Boverket 2016, 7). Dessa har i många fall påverkats av den strukturomvandling som den svenska industrinäringen genomgått under 1900-talets andra hälft (Boverket & Naturvårdsverket 2000, 36). Dels har många verksamheter flyttats till låglöneländer och dels har effektivare teknologiska lösningar lett till högre produktionskapacitet på en mindre yta (ibid.). Enligt Boverket och Naturvårdsverket (a.a. 37) är detta inte bara en möjlighet att råda bot på landets bostadsbrist, utan även ett tillfälle att förtäta genom en hållbar stadsutveckling:

”[...] nybyggandet på jungfrulig mark kan dämpas. Centralt belägna områden kan förtätas vilket kan leda till en minskning av transporterna. Genom att denna mark är attraktiv för bostäder och arbetsplatser finns ofta ett ekonomiskt motiv att sanera förorenad mark”

Återexploatering av *brownfields* och hamnområden

I engelskan används uttrycket *brownfield* för att beskriva sådana platser som Boverket och Naturvårdsverket vill se exploaterade. Svenskan saknar en direkt semantisk motsvarighet men det EU-övergripande nätverket *Concerted Action on Brownfield and Economic Regeneration Network* (CABERNET) har definierat begreppet på följande sätt:

“[...] sites that: have been affected by the former uses of the site and surrounding land; are derelict and underused; may have real or perceived contamination problems; are mainly in developed urban areas; and require intervention to bring them back to beneficial use”. (CABERNET 2006, 10)

Det är tydligt att förekomsten av dessa områden främst karaktäriserar västvärlden där industriproduktionen tidigare varit framträdande. Exempelvis, uppskattas antalet *brownfields* i USA uppgå till cirka en halv miljon (Kirkwood 2010, 4) och i Frankrike närmare 222 000 (CABERNET 2006, 23). I Sverige, där uttrycket *brownfield* inte används och *förorenat område* är den gängse termen, uppskattar Naturvårdsverket och Boverket (2006, 13) antalet till cirka 80 000. Totalt kan antalet *brownfields* i Europa uppgå till ungefär en miljon (Cundy 2016, 68).

Att förnya dessa områden är i många fall önskvärt då man kan skönja positiva aspekter vad gäller ekonomisk, ekologisk och social hållbarhet. Skapandet av arbetstillfällen och ett större skatteunderlag nämns exempelvis som möjliga ekonomiska vinningar medan produktionen av bostäder och förebyggandet av stadsutglesning räknas som sociala, respektive ekologiska (Dixon

2007, 92). Det finns även konkreta exempel som styrker detta. Ett sådant är Washington's Landing i Pittsburgh som omvandlats från ett nedgången område, format och förorenat av närmare 200 års industriell verksamhet, till ett av stadens mest attraktiva. Mindre än ett decennium efter sanering och återexploateringen genomförts hade området skapat 600 nya jobb och genererade årligen \$700 000 för staden Pittsburgh (Davis 1997, 231-232).

Liksom Washington's Landing, är de flesta storskaliga förnyelseprojekt idag i hamnområden eller belägna invid vatten (Pekin Timur 2013, 181). Det pånyttfödda intresset för dessa områden är ett relativt ungt fenomen som egentligen först blev framträdande i stadsbyggnadsstrategier under 1900-talets sista decennier (Jones 2016, 2-3). Pekin Timur (2013, 175) sammanfattar historien för de på engelska så kallade *waterfronts*, i fyra stadier; uppkomst; tillväxt; nedgång och återupptäckt.

Under uppkomsten var staden, i nuläget endast en mindre samling bosättningar, och *waterfront* i direkt kontakt. Koppling till vattnet var avgörande för transport och handel. Således är vägnätet är anlagt i förhållande till hamnen och utmed det är husen belägna (Pekin Timur 2013, 175).

Tillväxtstadiet sammanfaller med att samlingen av bosättningar antar stadskaraktär och sjöfartshandeln expanderar. Varuhus etableras invid sjösidan för att effektivisera logistiken, men samtidigt bildar de en barriär mellan gata och vatten. För att utöka hamnens kapacitet upprättas nya lastkajer och skeppsdockor i vattnet med hjälp av fyllnadsmassor. Dessutom inleder järnvägen sitt intåg i hamnverksamheten. Ytan som detta kräver bildar en än större barriär mellan stad och hamn. Resultatet blir en avskärmad *waterfront* som inte är tillgänglig för annat än relevant näringslivsverksamhet. Förlusten för stadens invånare kan dock ses som något begränsad då den i området belägna industrin orsakar föroreningar som förtar den ursprungliga attraktiviteten (Pekin Timur 2013, 176-177).

På detta följer nedgångsfasen som karaktäriseras av containerfartygens framfart. Dessa kräver en ännu större kapacitet och den förhållandevis lilla hamnen uppfyller inte de krav som ställs. Istället etablerar sjöfartsindustrin nya hamnar i stadens utkant. Något som även kan ses i Sverige, exempelvis i Göteborg (Göteborgs hamn AB 2017). Samtidigt växer miljörelsen och striktare lagar gällande utsläpp och föroreningar stiftas vilket resulterar att många industrier flyttar sina verksamheter (Pekin Timur 2013, 177). Därmed förlorar det gamla hamnområdet sin tidigare roll som viktigt transportnav, överges och faller i vanvård (Ibid.).

Återupptäckten av och ambitionen att förnya hamnområdena grundar sig i ett ökat intresse för hushållning med naturens resurser samt en önskan att återta det förlorade sceneri som hamnområdet utgjorde tidigare i sin existens (Pekin Timur 2013, 178). Staden och privata fastighetsutvecklare tar tillfället i akt och den moderna staden med sina blandade former av bebyggelse och funktioner intar det övergivna området. På så sätt återskapas kopplingen mellan stad och hamn, och de båda integreras i varandra igen (Ibid.).

Det sista är något som kan ses alltmer internationellt men även i Sverige. Antalet svenska städer som har eller planerar att genomföra prestigefyllda återexploateringsprojekt i hamnlägen är ansenligt. Malmö Stad har under, i princip hela, 2000-talet byggt i Västra Hamnen och planerar närmast ta sig an Nyhamnen (Malmö stad 2016). Helsingborg har liknande ambitioner med sin stadsförnyelsesatsning H+ (Helsingborg 2016). Stockholms mest kända exempel på detta är Hammarby Sjöstad (Stockholms stad 2017) och i Göteborg har namnet Älvstaden använts för att beskriva förnyelseprojekt utmed Göta älv (Göteborgs stad 2017). Dessa tendenser är dock inte förbehållna storstäderna utan även mindre kommuner såsom Lomma (2017), Trelleborg (2017) och Ystad (2016) planerar, respektive, genomför snarlika planer i sina strandnära lägen.

Dessa typer av projekt är, med andra ord, enormt populära i dagsläget. Dock är det inte en självklarhet att alla förnyelseprojekt på post-industriella platser blir lika lyckade som exempelvis Washington's Landing. Med områden som inte är strategiskt placerade i förhållande till resten av staden finns risken att en återexploatering inte skulle betala sig i längden (CABERNET 2006, 61). Inte heller går det att förvänta sig att alla hälsofarliga spår efter mer än ett sekel av tung industri kommer att åtgärdas genom dessa insatser (Kirkwood 2001, 5). Alltför ofta är dessa spår drabbade av föroreningar i diverse former som resultat av den tidigare markanvändningen (Ibid.). Därtill kommer ofta en brist på kunskap och erfarenhet (Ibid.). Okunskapen kretsar i första hand kring de eventuella föroreningarna på platsen; vilka typer; i vilka halter; vilken saneringsåtgärd som bör vidtas och vad slutkostnaden kommer bli (Kirkwood 2001, 6 & 23).

Sammanfattningsvis kan alltså för denna del konstateras att återexploatering, eller förnyelse, av postindustriella områden är det rådande planeringsparadigmet i den industrialiserade världens städer. En anledning till detta är att Sverige, och världen i stort, genomgår en urbaniseringstrend där majoriteten av den globala befolkningen inom en snar framtid kommer vara bosatt i en stad (Förenta Nationerna 2014). Därmed måste städer utöka sin kapacitet vad gäller bostäder, serviceutbud, grönområden etc. Denna trend konvergerar med en annan trend, nämligen hållbar utveckling. Ambitionen att minska människans ekologiska fotavtryck har gett upphov till strategier som stadsförtätning, där städer inte längre ska expandera utåt, utan istället nyttja den mark som finns inom deras gränser idag. När dessa båda trender sammanstrålar faller valet på nya ytor som ska tas i anspråk för att täcka stadens växande behov allt som oftast på sådana som tidigare brukats i industriella sammanhang, men där verksamheten idag är nedlagd eller för en tynande tillvaro. Av historiska skäl är dessa platser ofta strategiskt belägna i förhållande till resten av staden och att bygga bostäder och kontor här förefaller därigenom attraktivt och kan innebära avsevärd ekonomisk potential. Detta är gällande särskilt för hamnområden vars förnyelse är en av de mest framträdande och vanligaste typologierna av stadsförnyelse i de länder som befinner sig i ett postindustriellt stadium. Detta till trots existerar flera hinder och omständigheter som kan försvåra förnyelseprocessen. Den främsta utmaningen är i de flesta fall föroreningarna som finns kvar på platsen. Att sanera med de idag vanligtvis använda metoderna innebär ofta en hög kostnad och är svåra att budgetera för i återbyggnadsprojekt.

Föroreningar

Vad är vanliga föroreningar?

För att kunna diskutera och fördjupa sig i saneringen av förorenade platser är det nödvändigt med en grundläggande förståelse av de föroreningar som kan uppträda. Generellt delas föroreningar in i två kategorier: oorganiska och organiska.

Oorganiska föroreningar är naturligt förekommande grundämnen, de som återfinns i periodiska systemet. I sammanhanget av förorenad mark handlar det främst om metaller och halvmetaller men kan också innefatta radioaktiva isotoper. Näringsämnen såsom kväve och fosfor kan i stora doser också innebära föroreningar. Oorganiska ämnen släpps ut i miljön genom mänskliga aktiviteter såsom industriell produktion och förbrännandet av fossila bränslen. (Kennen & Kirkwood 2015, 33). Det är viktigt att komma ihåg att oorganiska föroreningar är oförstörbara och därmed inte kan brytas ned (Naturvårdsverket 2003, 6). Följaktligen måste dessa ämnen på något sätt fraktas bort från den förorenade platsen för att föroreningen ska kunna åtgärdas (Kennen & Kirkwood 2015, 33). I vissa fall kan de oorganiska ämnena även bindas på platsen och därigenom immobiliseras. På så sätt förhindras spridningen av föroreningen (a.a. 33-34). Det är också viktigt att ha i åtanke att dessa ämnen kan uppträda i olika former, dels; fast, flytande och gasform, men även som anjoner, katjoner. Ämnets tillstånd kan sedan påverka saneringsprocessen och därmed vilken saneringsmetod som är lämplig.

Oorganiska ämnen som är vanligt förekommande föroreningar och hälsorisker associerade med dem. Uppgifterna om ämnenas effekter och risker baseras på information hämtad från Agency for Toxic Substances and Disease Registrys (ATSDR) (2017) databas över giftiga ämnen.

Tabell 1. Oorganiska föroreningar och deras effekter.

Förorening	Effekter och risker
Metaller och halvmetaller	
Aluminium	Överexponering kan ha negativa effekter på nervsystemet, muskuloskeletala systemet och respirationssystemet.
Arsenik	Toxiska halter påverkar nervsystemet, levern, huden och respirationssystemet. Arsenik är dessutom en känd karcinogen.
Bly	Bly kan i princip påverka samtliga organ och system i människokroppen. Främst påverkas nervsystemet.
Bor	I höga doser, påverkar bor kardiovaskulära systemet samt kan orsaka fosterskador.
Fluor	Fluor i toxiska halter kan orsaka illamående och kräkningar.
Kadmium	Ackumuleras i kroppen och kan vid höga halter påverka lever och lungor samt orsaka benskörhet. Kadmium klassas även som karcinogen.
Kobolt	Kobolt kan existera en rad olika radioaktiva isotoper. I höga doser har kobolt visat sig ha skadlig påverkan på hjärta, lungor, lever samt hud hos olika däggdjur i laboratorium.
Koppar	Exponering mot koppar i höga doser kan orsaka irritationer i ögon, näsa och mun, huvudvärk, yrsel och diarré.
Krom	Krom kan i vid höga doser orsaka andningssvårigheter, såsom astma, hosta och andnöd, samt hudutslag. Krom är även karcinogen.
Kviksilver	Överexponering kan orsaka neurologiska defekter, fosterskador och förhöjd cancerrisk.

Mangan	Inandning av stora mängder mangan kan orsaka irritation av lungorna och i förlängning leda till lunginflammation. Främst påverkar höga doser mangan dock nervsystemet.
Molybden	Exponering mot förhöjda nivåer kan orsaka skador på lever och njurar.
Nickel	Exponering sker främst vid inandning av partiklar och kan påverka lungor och andningsvägar. I höga doser är nickel karcinogent.
Selen	Toxiska doser selen kan resultera i hårförlust, irritation av andningsvägar och neurologiska defekter. Exponeringen måste dock vara mot väldigt höga nivåer eller under lång tid för att orsaka ovannämnda symtom.
Zink	Exponering mot höga halter av zink kan orsaka zinkfeber.
Näringsämnen	
Fosfor	Både fosfor och kväve kan läcka ut i vattendrag och sjöar och där orsaka övergödning. Övergödningen resulterar sedan algbloomning vilken i sin tur för med sig syrebrist vilket påverkar de levande organismerna i vattendragen negativt.
Kväve	Förutom de ovannämnda riskerna kan kväve förorena dricksvattentillgångar och höga doser av kväve i dricksvatten kan leda till syrebrist i blodet hos nyfödda barn?
Radioaktiva isotoper	
Cesium	Liksom med de flesta radioaktiva isotoper utgör strålningen en av de mest betydande farorna för celler och vävnad. Cesium påminner i sin struktur om kalium vilket är ett för växter nödvändigt näringsämne. Därför finns en risk att cesium tas upp av växter för att sedan bioackumuleras i näringskedjan.
Strontium	Strålningen från strontium utgör en risk för celler och vävnader. Strontium påminner i sin struktur om kalcium vilket är ett för växter nödvändigt näringsämne. Därför finns en risk att strontium tas upp av växter för att sedan bioackumuleras i näringskedjan.
Uran	Liksom tritium kan även uran läcka ut i grundvatten och därigenom påverka dricksvattnet. Exponering mot uran kan leda till njurskador.

Organiska föroreningar är kemiska föreningar av grundämnena. Kol är ett alltid närvarande grundämne i dessa föreningar (Naturvårdsverket 2003, 5), men även kväve och syre är vanligt förekommande (Kennen & Kirkwood 2015, 32). Typiskt är att dessa föreningar oftast är syntetiska och främmande för levande organismer (Pilon-Smits 2005, 16). Då det handlar om kemiska föreningar kan de förstöras och brytas ned (Kennen & Kirkwood 2015, 33). Liksom oorganiska föroreningar kan organiska föreningar uppträda i olika form, detta betyder att de kan existera i olika grader av flyktighet, giftighet och beständighet (Naturvårdsverket 2003, 5).

Tabell 2. Organiska föroreningar och deras effekter.

Förorening	Effekter och risker
Petroleumkolväten (olja, gasolin, PAH, kresot m.m.)	Många av kolvätena är karcinogena (Kennen & Kirkwood 2015, 66).
Klorerade lösningsmedel (TCE, PCE, freoner m.m.)	Kan spridas relativt lätt till grundvattnet. Är oftast svårare att åtgärda än exempelvis petroleumkolväten. Flera klorerade lösningsmedel är potentiellt karcinogena (Naturvårdsverket 2007, 8-9)
Bekämpningsmedel	Innefattar de som har en halveringstid kortare än ett år. Risk finns att de infiltrerar grund- och dricksvatten. Många bekämpningsmedel är karcinogena (Kennen & Kirkwood 2015, 111).

Långlivade organiska föreningar (PCB, dioxiner, furaner m.m.)	Är redan i låga halter skadliga och kan bioackumuleras. De är dessutom svårnedbrytbara och kan leda till fosterskador hos människor och djur (Naturvårdsverket 2016a).
---	--

Hur uppstår föroreningar?

Nästa steg är att förstå var och i vilka sammanhang dessa föroreningar uppkommer. Som tidigare nämnts är föroreningar oftast kopplade till tidigare industriell verksamhet men även andra aktiviteter kan ge upphov till föroreningar. Gruvdrift, deponier, bensinstationer eller militär verksamhet är exempel på detta (Naturvårdsverket 2003, 3). Därtill är mänsklig aktivitet generellt kopplat till föroreningar i en historisk kontext (a.a. 4). Även idag uppstår många föroreningar på grund av skäl som är relaterade till människors vardagsaktiviteter. Biltrafik, äldre komponenter i gamla hus, användandet av bekämpningsmedel, övergödning och gräsklippning av grönytor kan vara exempel på detta (Westlin 2004, 7; Kennen & Kirkwood 2015, 252-253, 269). Här bör också nämnas att, som Naturvårdsverket (2003, 2) påpekar, industrin idag inte längre står för föroreningar av någon större utsträckning. Det är snarare tidigare verksamhet utförd med bristande kunskap som är upphovsmakare till majoriteten av de föroreningar vi stöter på idag (Ibid.)

Följaktligen är det viktigt att ha en uppfattning om vilken typ av näringsverksamhet som kan ha givit upphov till vilka typer av föroreningar. Detta är grunden till första steget i Naturvårdsverkets Metodik för Inventering av Förorenade Områden (MIFO). Första steget, eller fasen, i MIFO är nämligen att med hjälp av underlag identifiera branscher som kan ha orsakat en förorening. Detta kompletteras med kart- och arkivstudier samt platsbesök och intervjuer innan fas två tar vid då prover tas för att avgöra om platsen verkligen är förorenad (Naturvårdsverket & Boverket 2006, 21).

Nedan följer ett flertal industriverksamheter och andra aktiviteter samt de föroreningar som ofta föranletts av dem.

Tabell 3. Industriverksamheter och andra aktiviteter samt de föroreningar som ofta föranletts av dem.

Aktivitet	Vanligt förekommande föroreningar
Metallverk	Metaller (aluminium, kadmium, koppar, fluor, järn, molybden, nickel, zink), klorerade lösningsmedel, PCB, PAH (Naturvårdsverket 2003, 5).
Akkumulatorindustri	Bly, kadmium, nickel (Naturvårdsverket 2003, 5).
Verkstadsindustri	Metaller, klorerade lösningsmedel, olja (Länsstyrelsen Skåne 2005, 6).
Oljedepåer	Metaller, Olja (Naturvårdsverket 2003, 5).
Garverier	Krom, kvicksilver, bly och diverse petroleumprodukter (Länsstyrelsen Stockholm 2006, 21)
Massa- och pappersbruk	Tungmetaller, PCB (Naturvårdsverket 2003, 5)
Träimpregnering	Krom, koppar, arsenik, kreosot (Naturvårdsverket 2003, 5)
Biltrafik	Tungmetaller, PAH, olja (Westlin 2004, 7).
Tågdrift	Metaller, PAH (Wilkomirski et al. 2011, 339 & 341).

Hur åtgärdas föroreningar idag?

Det finns idag flera möjliga åtgärder för efterbehandling av förorenad mark. Innan en metod kan väljas görs dock en riskklassning vilken följer på den första fasen i MIFO som kort beskrevs ovan (Naturvårdsverket 2009b, 10). Denna ska "uppskatta[...] vilka risker som föroreningssituationen innebär idag och i framtiden" men också utgöra ett underlag för att formulering mätbara åtgärds mål för hur mycket riskerna måste minskas genom sanering (Ibid.). I en riskbedömning använder man sig av de generella riktvärden som tagits fram av Naturvårdsverket (2009c). Det finns två olika riktlinjer som skiljer sig åt beroende på tänkt framtida markanvändning för området:

Känslig markanvändning (KM) förutsätter att markkvalitén inte innebär något hinder för markanvändningen. Dessutom ska "alla grupper av människor (barn, vuxna, äldre) [kunna] vistas inom området under en livstid" (Naturvårdsverket 2009c, 22). Vidare skyddas yt- och grundvatten samt majoriteten markekosystemen från föroreningar (Ibid.)

Mindre känslig markanvändning (MKM) är något mer överseende med graden av förorening som får finnas kvar. Således blir markanvändningen begränsad till "t.ex. kontor, industrier eller vägar" (Naturvårdsverket 2009c, 22). Personer som vistas i området antas göra det i samband med sitt yrke eller tillfälligt av andra skäl. Vegetation ska kunna etableras i området och djur kunna vistas där tillfälligt. Dessutom skyddas grundvatten inom en zon av 200 meter (Ibid.)

Då en riskbedömning har gjorts och riktlinjer för området etablerats kan åtgärdsutredningen ta vid. Här utvärderas olika saneringsalternativ för platsen. Första steget är att identifiera samtliga gångbara alternativ. Därpå gallras de alternativ som inte anses ge önskade resultat eller av diverse skäl inte är genomförbara. Kvarblivande åtgärdsalternativ bedöms sedan efter kostnad, risker och störningar (Naturvårdsverket 2009a, 45). Slutligen utförs en riskvärdering på de åtgärdsalternativ som efter åtgärdsutredningen anses vara gångbara. I riskvärderingen görs en avvägning "mellan de olika åtgärdsalternativens totala miljömässiga konsekvenser, tekniska risker och kostnader. Hänsyn tas till osäkerheter och tidsaspekter och parametrar som rekreativvärde, estetiska och psykologiska faktorer, etc." (a.a. 63). Baserat på detta föreslås ett eller flera bäst lämpade åtgärdsalternativ som sedan tillämpas.

Som nämndes ovan existerar flera åtgärdsmetoder för efterbehandling av förorenad mark. Det bör nämnas att flera av metoderna kan utföras både *in situ* och *ex situ*, det vill säga att behandlingen sker på plats respektive genomförs externt/fraktas bort. Samtliga åtgärder som utförs *ex situ* kräver av naturliga skäl att massorna först schaktas. Därmed är schaktning är en av de vanligaste åtgärderna och alltså en förutsättning för att kunna utföra behandlingar *ex situ* (Länsstyrelsen 2012, 8). Det finns dock flertalet hinder och faktorer som kan komplicera processen. Exempelvis kan massornas sammansättning innebära att en sortering måste ske på plats trots att detta kanske inte var planerat (Naturvårdsverket 2009a, 131). Dessutom kan faktorer, såsom på vilket djup de förorenade massorna befinner sig eller var viktiga ledningar ligger i schaktningsområdet, försvåra ytterligare (a.a. 132). En djupare belägen förorening resulterar i att en större andel rena massor också måste schaktas bort för att kunna komma åt föroreningen. Ledningsgravarna innebär en risk då de erbjuder en spridningsväg för föroreningen (Ibid.). Utöver detta påverkas åtgärdens grad av ekonomisk och ekologisk hållbarhet bland annat genom logistiken som krävs för att transportera bort de schaktade massorna samt transportera rena massor för återfyllnad till platsen (Naturvårdsverket 2009a, 151).

Om föroreningar upptäcks i massorna under vatten krävs muddring för att kunna utföra behandlingar *ex situ*. Muddring är schaktning av förorenade massor under vatten och har flera försvårande faktorer, bland annat vattendjup samt förekomsten av bottenvegetation. Förutom detta tillkommer de logistikfrågor som även är aktuella vid schaktning ovan jord (Naturvårdsverket 2009a, 132-133.)

Många saneringsåtgärder kan, som nämnts tidigare, utföras både *ex situ* och *in situ*. Något förenklat kan sägas att åtgärder som utförs *in situ* är billigare och miljövänligare, främst för att schaktning och transport undviks. *In situ*-behandlingar är generellt dock inte lika effektiva som *ex situ*-behandlingar. *Ex situ*-behandlingar är i regel dyrare och kan innebära risk för att personal som utför schaktningsarbetet exponeras för förorening. Dock går de fortare, är enklare att övervaka och uppnår en mer enhetlig sanering (Kuppusamy et al. 2016, 124).

Tabell 4. Konventionellt använda saneringsmetoder.

Åtgärd	Process	Kommentar
<i>Ex situ</i>		
Jordtvätt	Massorna sorteras efter kornstorlek för att isolera föroreningarna som oftast binder till de mindre storlekarna.	Väl lämpad för oorganiska föroreningar. Inte särskilt användbar på blandningar av föroreningstyper. En medelstor jordmassa runt 20 000 ton kan behandlas på cirka 6 månader (Svenska Geotekniska Föreningen, 2015)
Termisk behandling	Massorna värms upp för att förångas föroreningen .	Olika temperaturer krävs för att olika föroreningar ska förångas. Kan användas för de flesta organiska föroreningar samt vissa metaller (Svenska Geotekniska Föreningen, 2015)
<i>In situ</i>		
Jordtvätt	Vatten eller lösningsmedel injiceras i den förorenade jorden. Vätskorna pumpas sedan upp och för då med sig föroreningen.	Fungerar för organiska föroreningar och i viss mån metaller. Jorden måste dock uppvisa permeabilitet. Tillsatta lösningsmedel kan orsaka ny förorening. Behandlingstiden kan vara mellan någon månad och några år (Svenska Geotekniska Föreningen, 2015)
Termisk behandling	Mark och grundvatten hettas upp till tillräcklig temperatur för att föroreningen ska övergå till gasform. Gasen extraheras sedan.	Kan användas på alla föroreningar vars kokpunkter är lägre än den temperatur till vilken marken kan hettas upp till. Behandlingen utförs på cirka 1-3 månader och anses vara relativt dyr (Svenska Geotekniska Föreningen, 2015)
Inneslutning	Föroreningen begränsas med barriär material för att förebygga spridning.	Främst lämpad för de föroreningar som inte kan åtgärdas på annat sätt. Kan påverkas av eventuella

		översvämningar eller jordbävningar (Naturvårdsverket 2012, 54)
Stabilisering/solidifiering	Både stabilisering och solidifiering tjänar till att begränsa föroreningens rörlighet. Stabilisering åstadkommer detta genom kemisk bindning och solidifiering genom inkapsling av föroreningen i lågpermeabelt material.	Kan användas på såväl organiska som oorganiska föroreningar (Svenska Geotekniska Föreningen, 2015)

Fytoremediering

Vad är fytoremediering?

Fytoremediering är ett samlingsnamn för metoder med användandet av växter och, med växter associerade, mikroorganismer för att rena eller immobilisera föroreningar i mark, luft och vatten (Pilon-Smits 2006, 16). Falk och Ronnheden (2010, 17) tillägger: "[p]rocessen sker utifrån växtens naturliga biologiska, kemiska och fysiologiska aktiviteter och drivs därmed av sol, vilket innebär att den är ekologisk och skonsam för miljön."

Det finns flera mekanismer som ryms under begreppet fytoremediering och i många tillämpningar av fytoremediering är flera mekanismer aktiva samtidigt (Kennen & Kirkwood 2015, 34). Nedan följer en kort genomgång av dessa.

Fytodegradering innebär att växten tar upp föroreningen i sin vävnad och där bryter ned den till mindre beståndsdelar med hjälp av fotosyntesen. Ibland används dessa beståndsdelar sedan som näring. Fytodegradering kan endast appliceras på organiska föroreningar (Kennen & Kirkwood 2015, 34).

Rhizodegradering grundar sig i att växter vanligtvis tar upp näringsämnen i rotzonen med mikroorganismers hjälp. Mikroorganismerna, som gynnas genom att växten utsöndrar sockerarter och syre i rotzonen, bryter ned näringsämnena till ett stadie där de kan tas upp och användas av växten (Kennen & Kirkwood 2015, 28). Det samma sker vid rhizodegradering; mikroorganismerna bryter nu ned föroreningen istället. Värt att komma ihåg är att, även om mikroorganismerna är den huvudsakliga aktören i mekanismen, så är de beroende av växten då denna skapar den gynnsamma miljön vilket möjliggör nedbrytningen. Liksom när växten bryter ned föroreningen vid fytodegradering, är rhizodegradering endast användbart vid organiska föroreningar (a.a. 35).

Vid fytoavdunstning tas föroreningen upp i växten där den omvandlas till gasform för att sedan transpireras ut i luften genom växtens stomata. I de flesta fallen är det att föredra att föroreningen avlägsnas från marken och oftast sker utsöndringen via transpiration tillräckligt långsamt för att luftkvalitén inte ska påverkas. Till skillnad från tidigare nämnda mekanismer är fytoavdunstning användbart såväl organiska som oorganiska föroreningar (Kennedy & Kirkwood 2015, 36-37).

Fytoextraktion betecknar den process då växten tar upp en förorening från mark eller vatten och ackumulerar denna i sin vävnad. När detta sker med organiska föreningar bryts de ned och försvinner därigenom från platsen (se fytodegradering). Men när föroreningen består av oorganiska ämnen, som inte kan brytas ned, lagras dessa helt enkelt i växten. Därmed uppstår behovet av skörd av växtmaterialet för att saneringsprocessen ska kunna fortskrida. Det skördade växtmaterialet kan, eller bör, beroende på typ och halt av förorening, brännas eller deponeras. I vissa fall kan de ackumulerade ämnena återvinnas eller det skördade växtmaterialet tjäna som biomassa (Kennedy & Kirkwood 2015, 38).

Hydraulisk kontroll bygger på växtens vattenupptagning. I vissa fall kan grundvattnets flöde påverkas så att det byter riktning eller stannar helt. På så sätt kan föroreningarnas spridning förhindras. Hydraulisk kontroll sker ofta i samband med andra fytomekanismer som samtidigt bryter ned föroreningen. Hydraulisk kontroll går att användas både vid förekomster av organiska och oorganiska förorenande ämnen (Kennedy & Kirkwood 2015, 39).

Fytostabilisering betecknar mekanismen då växter binder föroreningen på platsen och därigenom förhindrar att den migrerar. Detta sker dels då växten täcker markytan och förhindrar att partiklar förs bort med vinden men också när växten binder det förorenande ämnet under marken. Det är möjligt för växter att binda både organiska och oorganiska föroreningar genom fytostabilisering. (Kennedy & Kirkwood 2015, 39).

Rhizofiltrering sker då växtens rötter filtrerar vatten på föroreningar. Detta förutsätter att grundvattnet är lokaliserat i närheten av rotzonen. Skulle så inte vara fallet kan detta problem kringgås genom att vattnet pumpas upp till rotsystemet. Rhizofiltrering appliceras endast på oorganiska substanser och då dessa ämnen inte kan brytas ned, måste rötterna skördas efter att de ackumulerat föroreningen. I vissa fall, beroende på växtart, kan skott från skördade växter användas för att odla upp nya plantor, vilket gör processen mer hållbar (EPA 2000).

Vad kan fyto Remedieras i dagsläget?

Det råder en del tvetydigheter i litteraturen kring olika arters förmåga att remediera platser förorenade med vissa substanser. I början av 90-talet utfördes flera studier som indikerade att växter kunde remediera även de svåraste föroreningar, såsom radioaktiva grundämnen och ett multitud av olika metaller och halvmetaller (Kennen & Kirkwood 2015, 139, 183). Amerikanska EPA (Environmental Protection Agency), USAs ungefärliga motsvarighet till Naturvårdsverket, är den myndighet som varit drivande för forskning inom remediering och de fick stora forskningsanslag för vidare forskning inom ämnet. Situationen förändrades dock när det under 90-talets andra hälft publicerades flertalet studier vilka visade att resultat från de studier som utförts i växthus eller med jordförbättringar och som tidigare gav hopp om fyto remediering som patentlösning, sällan gick att replikera i fält (a.a. 12). I samband med detta svalnade intresset för ämnet och EPAs forskningsbudget krympte (Schnoor 2007, 2071). Än idag beskrivs läget vad gäller forskningsstöd för studier inom fyto remediering som skralt (Kennen & Kirkwood 2015, 13).

Resultatet av detta är att det idag finns ett stort behov av vidare forskning för att med säkerhet kunna säga vilka arter som fungerar för olika scenarier. Att förlita sig på de studier som utfördes i växthus i början 90-talet kan vara kontraproduktivt och stjälpa mer än hjälpa (Kennen & Kirkwood 2015, 59).

Där det krävs mest forskning för att kunna bekräfta eller dementera resultaten från tidigare studier är inom remedieringen av oorganiska föreningar, främst metaller och halvmetaller (Dickinson et al. 2009, 97). Det har i tidigare forskning antytts att arter, som exempelvis *Helianthus annuus*, skulle kunna extrahera signifikanta mängder oorganiska föreningar och därmed kunna sanera de flesta platser där föroreningar av denna karaktär påträffas (Ulam 2012, 56). Resultaten grundade sig dock ofta i studier utförda i växthus, med jordförbättringar eller i kruka (Dickinson et al. 2010, 98-99). Det går alltså inte att direkt extrapolera ifrån dessa resultat och applicera dem i fält (a.a. 98).

En av orsakerna till problematiken med att använda fyto remediering vid förorening med metaller är att dessa ofta är hårt bundna till jorden och har låg biotillgänglighet (Kennen & Kirkwood 2015, 139). Det finns dock ett antal metaller, arsenik, kadmium, nickel, selen och zink, som är mer biotillgängliga och har kunnat fytoextraheras i varierande grad (a.a. 137).

Vad gäller arsenik har släktet *Pteris spp.* visat potential att extrahera metaller (van der Ent et al. 2013, 327) och på platser som endast är måttligt förorenade med arsenik kan saneringen förväntas ta 1-3 år (Kennen & Kirkwood 2015, 145). Kadmium och zink påträffas oftast tillsammans och därmed krävs att växter för fyto remediering kan extrahera båda eller åtminstone den ena och ha tolerans för den andra (van der Ent et al. 2013, 324). *Salix spp.* har i fält kunnat extrahera kadmium och zink i relativt stora mängder (Dickinson et al. 2010, 101). Detta till trots är fytoextraktion av kadmium och zink en ytterst långvarig process och kan även vid låga koncentrationer ta flera årtionden (Kennen & Kirkwood

2015, 151-152). Nickel är den metall som kunnat fytoextraheras effektivast och har dessutom visats kunna återanvändas efter extrahering (Kennen & Kirkwood 2015, 160-161; Chaney et al. 2007, 1431). På detta sätt kan fyto remedieingsprocessen också fungera som "phytomining" där växterna förs till smältverk för att återvinna metall som de ackumulerat. Eftersom kostnaderna för planteringen i relation till konventionell gruvsdrift är låga, samt att nickel är en dyrbar metall och att det är enkelt att separera nickel från växternas aska, kan fytoextraktion av nickel visa sig lukrativt eller åtminstone kunna utföras till relativt låga kostnader (Chaney et al. 2007, 1431). Vidare har Selen effektivt kunnat extraheras på platser där föroreningsgraden varit måttlig (Kennen & Kirkwood

2015, 165). Att använda växter som ackumulerat selen i sin vävnad som berikad gröda åt betesdjur har potential att agera som ekonomisk motivering för fyto Remedieringsarbetet (Chaney et al. 2007, 1435).

Bor, kobalt, koppar, järn, mangan och molybden anses svårare att extrahera och fytoextraktion är i dagsläget inte en lämplig metod för sanering vid föroreningar som innefattar dessa (Kennen & Kirkwood 2015, 167). På samma sätt är koncentrationer av bly, krom, fluor, kvicksilver och uran är ytterst svåra att påverka med fytoextraktion då dessa antingen är fytotoxiska för växter eller inte biotillgängliga (a.a. 173,177).

Även om fytoextraktion inte alltid är ett alternativ kan metaller och halvmetaller bindas på platsen genom fytostabilisering. Det är dock sällsynt att endast växter används och oftast utgörs projekt av ett samspel mellan växter och andra hjälpmedel för att binda substanserna på platsen (Kennen & Kirkwood 2015, 139)

Medan saneringen av oorganiska föroreningarna kräver betydligt mer forskning, så utgör flera organiska föroreningar de mest lovande exemplen på växtbaserade remedieringsmetoder. Föroreningar från petroleumföroreningar, klorerade lösningsmedel samt vissa bekämpningsmedel har alla åtgärdats i fält genom fyto Remediering (Kennen & Kirkwood 2015, 65).

Petroleumföroreningar uppskattas kunna brytas ned inom fem år, givet att det handlar om lättare fraktioner av petroleum. För tyngre fraktioner anges ett tidsspann på 5-20+ år enligt Kennen & Kirkwood (2015, 72). Även klorerade lösningsmedel kan brytas ned relativt snabbt och ett intervall på 1-10 år anges (a.a. 96). Kortast tid bedöms nedbrytningen av bekämpningsmedel vars halveringstid är mindre än ett år ta. Här uppskattas föroreningen vara åtgärdad inom 0-3 år (a.a. 112).

Föroreningar där fyto Remediering idag inte är ett alternativ för nedbrytning eller extraktion inkluderar, förutom de tidigare nämnda, metaller och halvmetaller (Dickinson et al., 2010, 102-103), även radioaktiva isotoper. Förvisso har extraktion av strontium och cesium med hjälp av *Salix caprea* genomförts (Dutton & Humphreys 2005, 286-290) men artikelförfattarna bedömer att en signifikant minskning av halterna av dessa ämnen skulle ta många årtionden, och i fallet av cesium skulle det inte gå mycket fortare än den naturliga nedbrytningen (a.a. 291). Inte heller för långlivade organiska föroreningar, såsom DDT och PCB, finns idag pålitliga metoder och praxis för fyto Remediering. Vissa växter har kunnat ackumulera dessa ämnen men inte tillräckligt för att kunna sanera en plats (Kennen & Kirkwood 2015, 119). Trots att fyto Remediering inte är ett gångbart saneringsalternativ för ovanstående ämnen i dagsläget har de dock alla gemensamt att fytostabilisering kan användas för att binda dem på platsen och förhindra att de sprids genom grundvattnet, samt att det i framtiden finns potential för att effektiva metoder upptäcks (a.a. 119, 139 & 183).

Hur används fytoremediering idag?

Fytoremediering har historiskt använts relativt sällan för att sanera förorenad mark (Svenska Geotekniska Föreningen 2015). Speciellt i Europa har fytoremediering varit sällsynt som saneringsmetod (Cundy et al. 2016 68-69). I USA är dock användandet av fytoremediering, relativt Europa i alla fall, betydligt vanligare. Detta kan bero på att de ytor som är drabbade av föroreningar är betydligt större i USA till ytan och att schakta massorna därmed blir ekonomiskt ohållbart. En annan aspekt som kan ha bidragit är att det i USA finns en fytoremedieringsbransch med konsulter och kommersiella uppdrag (Falk & Ronnheden 2010, 31). I andra länder, såsom Ryssland, Indien, Kina, Australien och Nya Zeeland, bedrivs förvisso forskning men exempel på applikation i fält är sällsynta (Willey 2007).

När fytoremediering appliceras i fält idag är det ofta i form av monokulturer baserade på en viss art eller klon (Cundy et al. 2016, 71). Detta är i många fall en effektiv metod, framförallt i vissa situationer, men genom användandet av endast en växtart eller klon offras också flera av de potentiella fördelar som fytoremedieringsstrategier kan bidra med, utöver själva saneringen (Ibid.). Kennen och Kirkwood (2015, 19) argumenterar för användningen av kombinationer av växter för att dels åstadkomma fytoremediering och samtidigt åstadkomma estetiska kvalitéer. Att fytoremedieringsprojekt ofta ser ut som de gör idag kan förklaras med att de gånger fytoremediering applicerats i fält har försöken nästan uteslutande bedrivits av naturvetenskapliga fakulteter och statliga myndigheter. Saneringen är i huvudfokus och designrelaterade aspekter har, om alls, en ytterst begränsad plats (Kennan & Kirkwood 2015, kap. 3).

Fytoremedering som landskapsarkitektur i hamnbelägna brownfields

Fytoremediering och landskapsarkitektur i kombination

Som antytts i föregående stycke är exempel på projekt som kombinerar fytoremediering och design sällsynta. Det finns dock ett par få exempel som är värda att undersöka närmare. Det ena är Landschaftspark Duisburg-Nord i Tyskland av Peter Latz och det andra är De Ceudel i Nederländerna av Pieter Theuws och Marc Wilschut.

Landschaftspark Duisburg-Nord är i belägen i det tidigare industritäta Ruhrområdet i östra Tyskland. Platsens historia följer det bekanta mönstret: en till början välmående industriregion ser under 1900-talets andra hälft hur internationell konkurrens och strukturomvandlingar gör tidigare framträdande verksamheter förlegade och olönsamma (Schwarz 2001, 243). Nedläggning av fabriker är resultatet (Ibid.). Kvar blir ett av industrin ärrat landskap. Marken är förorenad med kolväten och tungmetaller (Latz 2001, 150). Istället för att riva de gamla industrialäggningarna och sanera marken enligt konventionella metoder, etablerades en park vars ryggrad är de gamla industrilämningarna. Mitt bland dessa tillämpas fytoremediering genom strategiskt placerad vegetation (a.a. 156). De jordmassor som visade sig vara förorenade till den grad att de utgjorde ett hot mot djur och människor, flyttades in i befintliga strukturer och gjordes där otillgängliga för parkens besökare medan fytoremedieringen pågår. De blir dock inte fullt otillgängliga, då fytoremedierande "trädgårdarna" där massorna ligger kan betraktas från avskilda, upphöjda gångvägar (a.a. 156-157). På så sätt döljs inte föroreningen, vilket skulle varit fallet i en konventionell deponi, utan blir en del av platsen och gestaltningen men förblir ändå alltså ofarlig (Krinke & Winterbottom 2001, 163).

Figur 1: Landschaftspark Duisburg-Nord av Marco Derksen (CC BY-NC 2.0)



Parken är enormt populär och lockar till och med turister från utlandet (Schwarz 2001, 247). Latz projekt genomsyras av, som han själv uttrycker det, användbarhet eller "utilization" (Latz 2001, 151). Istället för programmerade ytor med objekt som besitter tydliga ändamål, uppmuntrar platsen till kreativiteten och möjliggör många olika aktiviteter (Ibid.). Exempelvis erbjuder stora betongväggar en håll för klättrare, en bergssluttning försedd med rutschkana och klätternät blir lekplats och vattenfyllda underjordiska gruvor under grundvattennivån har gett upphov till en dykarklubb (Ibid.). Det är inte osannolikt att det är denna frihet vad gäller möjliga aktiviteter som gör Landschaftspark Duisburg-Nord till en park besökt av så många olika intressegrupper (Schwarz 2001, 247). I slutänden, förblir den dock just det: en park. Fytoremedieringen kommer att ta många generationer för att uppnå acceptabla halter av föroreningar i jorden och en komplett sanering var inte heller huvudfokus i projektet (Latz 2001, 156). Istället ville arkitekterna ta tillvara på den unika situationen som platsen erbjöd (Ibid.) Således kan inte en Landschaftspark Duisburg-Nord tillämpas fullt ut i en situation där avkastning på investerat kapital behöver uppnås snarast genom etableringen av bostäder, kontor och handel. Dock kan den tjäna som exempel på hur befintliga strukturer kan integreras och återanvändas även i platsens senare skeden och hur detta kan facillitera rekreation (Krinke & Winterbottom 2001, 163).

Figur 2: Landschaftspark Duisburg-Nord av Marco Derksen (CC BY-NC 2.0)



Det andra exemplet är De Ceugel där landskapsarkitekterna Theuws och Wilschut har tillämpat sina idéer om hur estetik och fytoremediering kan nyttjas i en stadsförnyelsekontext. Platsen De Ceugel är belägen i ett av Amsterdams föråldrade industrihamnsområden, Buiksloterham. I Buiksloterham har staden som ambition att skapa en "blandad levande stadsdel" (Lundén 2014, 39). Alltså helt kongruent med de utvecklingstendenser som ofta ses i dessa typer av områden. Det som gör fallet Buiksloterham annorlunda är att uppdragsgivaren staden har valt att låta området gradvis omvandlas och saneras. För att ge exempel på hur detta skulle gå till utlystes en tävling där en förorenad plats i Buiksloterham skulle utvecklas på så sätt att den skulle kunna brukas av och vara

attraktiv för människor, och ändå kunna exploateras inom 10 år (Ibid.). Det var denna tävling som Theuws och Wilschut vann med sitt förslag för De Ceuvel.

Figur 3: 150624.033 av Adam Nowek (CC BY-NC-ND 2.0)



Föroreningsbilden på De Ceuvel innefattar både organiska föroreningar, som PAH och mineraloljor, och oorganiska föroreningar, som tungmetaller och zink. (Lundén 2014, 40). För att åtgärda dessa valdes fyto Remediering som åtgärds metod i syfte att dels immobilisera dem och dels bryta ned eller extrahera dem (Ibid.). Med

detta i åtanke användes en blandning av lignoser och örtartade växter (Lundén 2014, 41). Tidigt föreslog Theuws och Wilschut även att fyto Remediering de delar av massorna som skulle visa sig vara alltför förorenade, och därmed utgöra ett hinder för platsen design, *ex situ*. Detta skulle ske genom att den förorenade jorden placeras i pråmar. I pråmarna planteras sedan fyto Remedierande vegetation. Pråmarna skulle placeras i vattnet intill platsen och därmed anspela på dess tidigare industriella aktivitet. Vidare skulle de efter en viss tid kunna utgöra flytande trädgårdar som är estetiskt tilltalande men fysiskt otillgängliga för passerande (Theuws & Wilschut 2009, 84). Speciellt den sista komponenten, där fyto Remedieringen sker inom synhåll men utom räckhåll, och föroreningarna därmed aldrig kommer farligt nära människan, påminner avsevärt om utformningen i Landschaftspark Duisburg-Nord. Det är dock oklart huruvida idén med pråmarna faktiskt tillämpats i De Ceuvel.

Figur 4. 150624.018 av Adam Nowek (CC BY-NC-ND 2.0)



I övrigt, vad gäller design av platsen, togs avlagda husbåtar upp på land och utrustades där med bland annat gröna tak och solceller, för att göra dem så hållbara som möjligt (World Landscape Architecture 2017). I dessa huserar idag en rad olika verksamheter. Somliga används som ateljéer, andra för workshops eller som café (De Ceuvel 2017). Dessa förbinds genom en upphöjd gångväg som slingrar sig mellan fyto Remedierande vegetation (Lundén 2014, 41). Gångvägens upphöjning

försäkrar att de gående inte exponeras för den förorenade jorden (World Landscape Architecture 2017).

Vilka föroreningar är vanliga i hamnområden?

Föroreningarna som kan uppträda i ett hamnområde kan variera kraftigt beroende på vilken typ av verksamhet som funnits där tidigare. Vanligt förekommande källor till föroreningar är oljecisterner, järnväg samt diverse andra industrier. Därtill kan kajer vara uppbyggda av fyllnadsmassor vilka ofta består av förorenad jord, sediment och stenfyllnad. I dessa fall är förekomsten av flera olika metaller och kolväten, bland annat kreosot, tämligen säker.¹

Vilka växtarter kan användas?

Förutsättningar

Urvalet av växter som bevisligen kan användas för fyto Remediering är begränsat. Detta begränsas sedan ytterligare beroende på vilka krav ståndorten ställer på växtmaterialet. Ett hamnområde som ståndort kan främst jämföras med de förhållanden som råder i en kustmiljö. Detta innebär att vegetationen periodvis kommer vara utsatt för kraftiga vindar (Olsson 2010, 9). Beroende på var och hur vegetationen placeras i förhållande till övriga lägivande komponenter kan vindutsattheten variera.

En annan aspekt som kan vara aktuell, beroende på var i landet platsen är lokaliserad, är vegetationens exponering för salt via de starka vindarna (Blixt 2007, 9). Är salthalten högre än vad växten klarar försvårar detta vattenupptagningsförmågan och kan skada växtens vävnad (Ibid.).

Ytterligare en förutsättning som bör beaktas är torka. Växter som har kustmiljöer som sitt naturliga habitat har ofta utvecklat torktålighet eller tolerans för torra perioder (Olsson 2010, 8). Den främsta anledningen till detta är starka vindar som verkar uttorkande på vegetationen (Jansson 2013, 1). Som tidigare nämndes kan även salt vara en bidragande faktor till torka.

Utöver dessa tre, utgör platsens föroreningar ytterligare variabler, då växterna måste kunna tolerera, och i bästa fall fyto Remediera, dessa. Därmed blir växtvalet väldigt begränsat. Det finns dock en grupp av växter som är speciellt salttålig och trivs i salta miljöer. Dessa kallas halofyter (Manousaki & Kalogerakis 2011, 960) och betraktas som ett av de stora framtidshoppen inom fyto Remediering av metaller (a.a. 966). Förhoppningarna baseras på att de fysiologiska mekanismer som salttoleranta växter använder för att hantera överskottet av salt liknar de processer som växter som kan växa i förorenade miljöer använder (a.a. 961). Följaktligen förmodas att denna grupp av salttåliga arter även skulle kunna tåla andra stressfaktorer, såsom metaller (a.a. 959). Likväl, är området fortfarande oprövat och det återstår att se vad forskningen kan upptäcka. (Kennen & Kirkwood 2015, 143). Men även om empirin ännu inte borgat för, eller dementerat, halofyternas fyto Remedieringskapacitet kan konstateras att dessa växter är, tack vare sina egenskaper, väl lämpade att växa i en hamnmiljö.

¹ Kirkwood, Niall; professor i landskapsarkitektur vid Graduate School of Design, Harvard University. 2017. E-postbrev den 26e april.

Växtlista över potentiella arter

Nedan följer en växtlista som skapats med ambitionen att ge en överblick över de arter som borde ha de bästa förutsättningarna för att fungera i ett postindustriellt hamnområde. Arterna har valts ut med hjälp av växt databasen Movium Plantarum. Urvalet baserades på kriterierna "Speciell tålighet: Vind; Marksalt, Luftsalt, Torra". Listan bör inte ses som uttömmande. Urvalet från Movium Plantarum kompletteras sedan i växtlistan med de föroreningar som arten med säkerhet kan fytoremediera enligt Kennen & Kirkwood (2015). Detta inkluderar samtliga fytoremedieringsmekanismer, även fytostabilisering, och innebär således inte nödvändigtvis att föroreningen saneras.

Ytterligare en aspekt att betänka är att de arter som idag inte med säkerhet kan sägas remediera någon förorening, inte nödvändigtvis behöver vara odugliga för fytoremediering, utan snarare att mer forskning behövs kring dem. Således finns i följande växtlistor arter som inte har kända fytoremedieringskvalitéer men ändå har goda förutsättningar att utvecklas väl på platsen.

Tabell 5. Växtlista över arter som bör få kunna få en god utveckling i hamnområden och deras eventuella fytoremedieringsegenskaper

Artnamn	Zon	Kända fytoremedieringskvalitéer	Kommentar
<i>Alnus glutinosa</i>	6	Lätta och tunga fraktioner av petroleumkolväten	
<i>Alnus incana</i>	7	Lätta och tunga fraktioner av petroleumkolväten	Rotskott
<i>Betula pendula</i>	8	Klorerade lösningsmedel, tunga fraktioner av petroleumkolväten	
<i>Caragana arborescens</i>	8	Lätta och tunga fraktioner av petroleumkolväten	Familjen <i>Fabaceae</i> beskrivs som fytoremedierande i litteratur
<i>Colutea arborescens</i>	3	Lätta och tunga fraktioner av petroleumkolväten	Familjen <i>Fabaceae</i> beskrivs som fytoremedierande i litteratur
<i>Eleagnus commutata</i>	7		
<i>Hippophae rhamnoides</i>	6		
<i>Lycium barbarum</i>	4		Klätterväxt. Rotskott
<i>Myrica pensylvanica</i>	4		
<i>Pinus mugo</i>	6		
<i>Pinus nigra</i>	4		
<i>Pinus sylvestris</i>	8	Lätta och tunga fraktioner av petroleumkolväten	
<i>Populus spp.</i>	Varierar	Klorerade lösningsmedel, lätta och tunga fraktioner av petroleumkolväten, arsenik, kadmium, zink, koppar	
<i>Prunus spinosa</i>	5		
<i>Quercus petraea</i>	4		
<i>Quercus robur</i>	5		
<i>Salix spp.</i>	Varierar	Klorerade lösningsmedel, lätta och tunga fraktioner av petroleumkolväten, Långlivade organiska föroreningar, kadmium, zink, koppar, radionuklider	

Alla hamnområden skapades inte lika och därmed kan ståndortsförhållanden variera mycket. Bland annat beroende på var i landet hamnen ligger kommer att vara betydelsefullt, men även saltexponeringen kommer att skilja sig åt beroende på om hamnen är lokaliserad på väst- eller ostkusten, eller rentav vid en större sjö. Nedan presenteras en kortare växtlista med potentiella arter som endast saknar någon av de fyra tåligheter som användes för föregående lista.

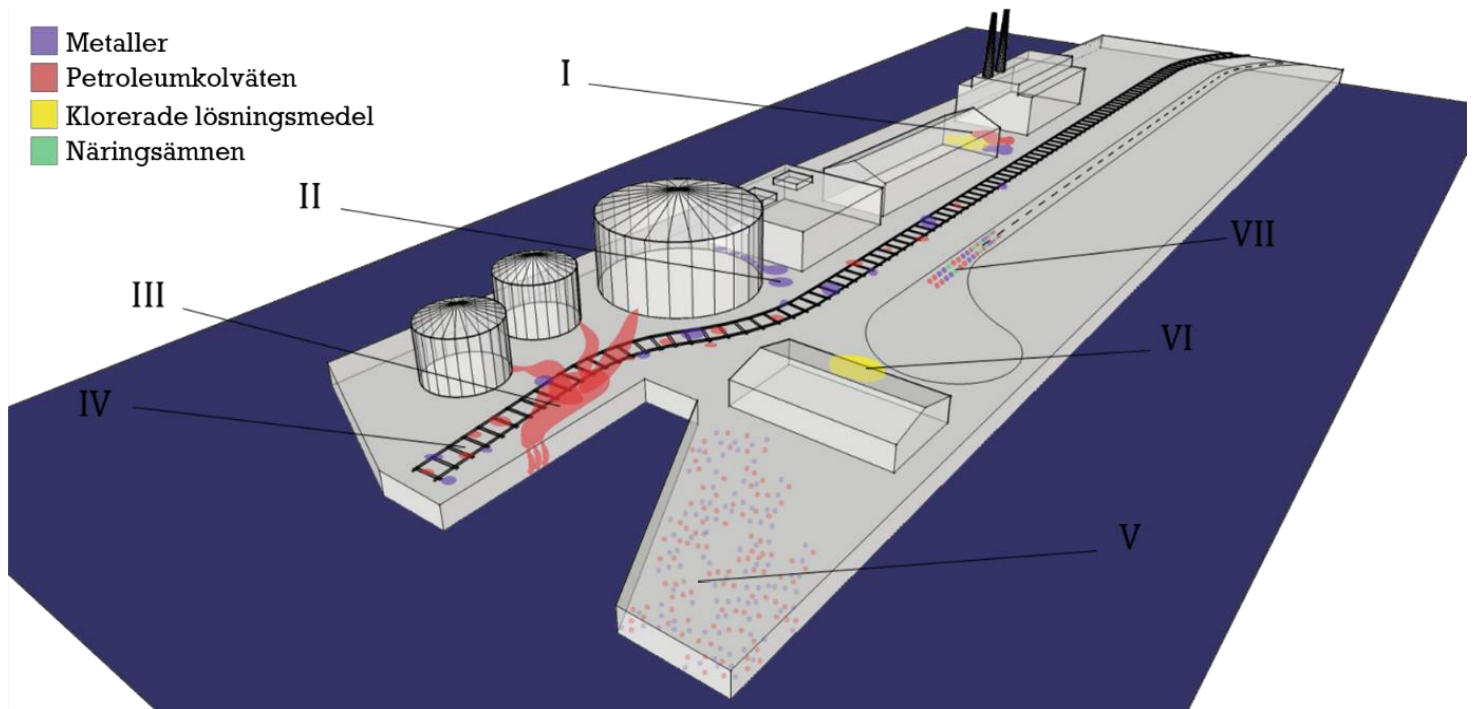
Tabell 6. Växtlista över arter som inte har lika goda förutsättningar, men ändå har potential att klara ståndorten, samt deras eventuella fyto Remedieringsegenskaper

Artnamn	Zon	Kända fyto Remedieringskvalitéer	Avsaknad tålighet	Kommentar
Lignoser				
<i>Acer campestre</i>	4		Luftsalt	
<i>Crataegus spp.</i>	Varierar		Marksalt	
<i>Gleditsia triacanthos</i>	3	Lätta fraktioner av petroleumkolväten	Vind	
<i>Robinia pseudoacacia</i>	3	Lätta och tunga fraktioner av petroleumkolväten	Vind	
<i>Ribes alpinum</i>	8		Luftsalt	
<i>Rosa canina</i>	6		Marksalt	
<i>Sorbus spp.</i>	Varierar		Marksalt	
Örtartade växter				
<i>Achillea filipendulina</i>				
<i>Achillea millefolium</i>				
<i>Armeria maritima</i>				
<i>Artemisia maritima</i>				
<i>Artemisia stelleriana</i>				
<i>Crambe maritima</i>				
<i>Eryngium maritimum</i>				
<i>Heliotrichon sempervirens</i>		Lätta och tunga fraktioner av petroleumkolväten, radionuklider		Familjen <i>Poaceae</i> beskrivs som fyto Remedierande i litteratur
<i>Leymus arenarius</i>		Lätta och tunga fraktioner av petroleumkolväten, radionuklider		Familjen <i>Poaceae</i> beskrivs som fyto Remedierande i litteratur
<i>Silene maritima</i>				

Exempel

För att de en uppfattning om hur den ovan redovisade fakta skulle kunna appliceras har exempelillustrationer gjorts. Inspiration och faktaunderlag för illustrationerna har hämtats från Kennen och Kirkwoods *Phyto* (2015). Den första illustration redogör för föroreningsbilden i ett hypotetiskt scenario i en gammal industrihamn medan den andra visar de fyto Remedieringstekniker som skulle kunna tillämpas och vad detta skulle ge för uttryck. Illustrationerna har hållits schematiska för att kunna förbli överskådliga. Ett verkligt scenario skulle med största sannolikhet vara betydligt komplexare, vilket bör hållas i åtanke.

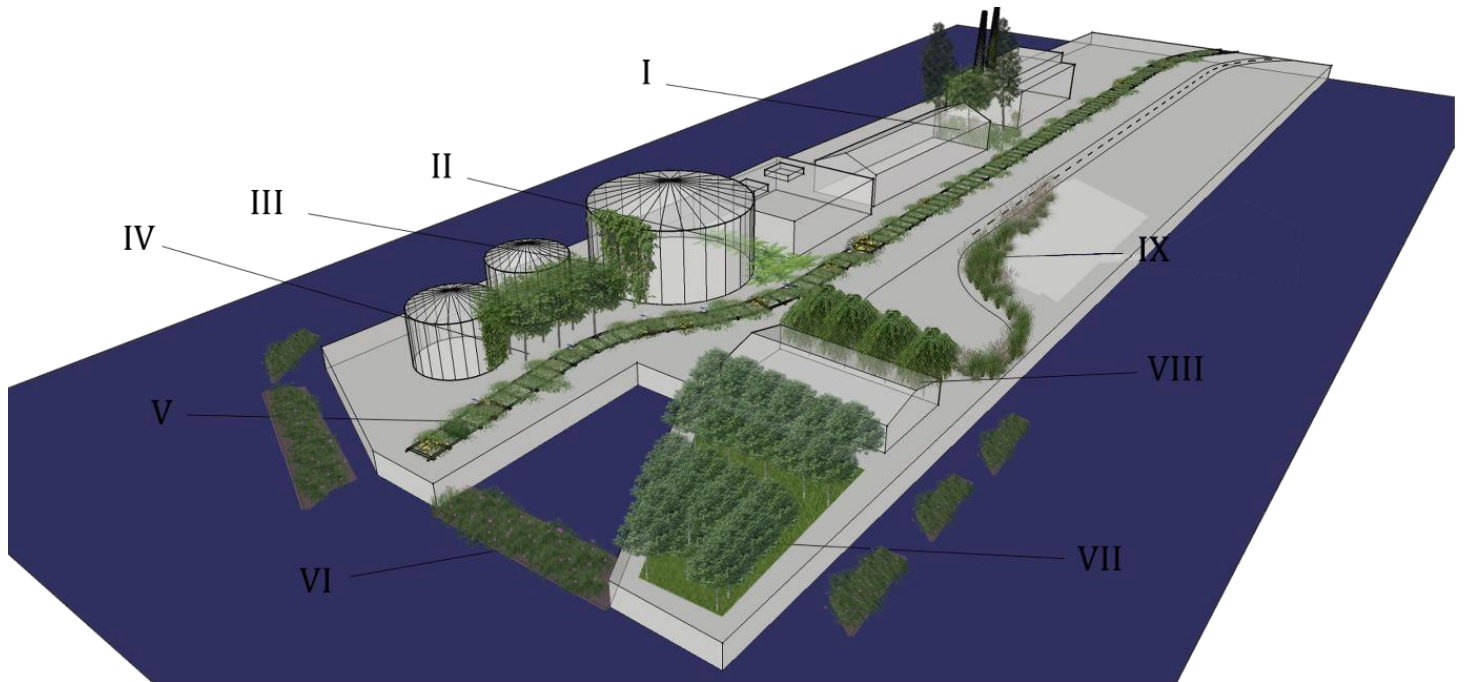
Figur 5. Föroreningsbilden i ett hamnområde (Illustration: Baloo Peinkofer 2017-04-26)



Tabell 7. Förklaringar till Figur 1.

Nummer	Orsak till förorening	Förklaring	Typer av föroreningar
I	Tippningar och/eller spill av slaggprodukter	Kan vara orsakat av olyckshändelser eller vara medvetet utfört	Kan innehålla det mesta, men främst petroleumkolväten, klorerade lösningsmedel och metaller
II	Stålproduktion	Genom industriell verksamhet kan det uppstå <i>hot spots</i> , platser där föroreningshalten speciellt hög	Kan innefatta det mesta. I det här fallet utgås från metaller som kan extraheras
III	Lakvatten	Äldre konstruktioner av oljecisterner kan tillsammans med regn- eller grundvatten skapa lakvatten	Petroleumkolväten
IV	Impregnerat trä, tågdrift	Impregneringen av järnvägssliparna görs med kresot. Äldre tåg kan ha lett förekomster av PAH och metaller	Petroleumkolväten (kresot och PAH) och metaller
V	Fyllnadsmassor	Massorna kan bestå av tidigare förorenad jord och sediment och återvunnet material	Petroleumkolväten (kresot och PAH), metaller
VI	Maskinanvändning	Maskiner kan läcka bränsle, kylvätskor och lösningsmedel	I det här fallet främst lösningsmedel
VII	Bil- och lastbilstrafik	Då bildäcken slits kan förhöjda förekomster av näringsämnen förekomma. Vidare bidrar bilarna till förekomst av metaller och kolväten	Näringsämnen, metaller, petroleumkolväten

Figur 6. Applikation av fytoremediering i hamnområdet från Figur 1. (Illustration: Baloo Peinkofer 2017-04-26)



Tabell 8. Förklaringar till Figur 2.

Nummer	Förklaring	Åtgärdade föroreningar	Fytomekanism
I	En plantering med blandad vegetation kan bidra med det största antalet av fytoremedieringstekniker samtidigt. Detta är väl lämpat på en plats med komplex föroreningsbild. Tanken är att ytan ska skötseintensiv och göra så mycket nytta som möjligt till låg kostnad	Alla som går att, åtminstone fytostabilisera	Fytostabilisering, fytodegradering, rhizodegradering, fitoavdunstning, hydraulisk kontroll
II	Växter med hög biomassa kan användas för att extrahera oorganiska föroreningar. Skörd av växterna krävs.	Metaller: arsenik, selen, nickel. I viss mån även kadmium och zink	Fytoextraktion
III	Klättrväxter kan bidra med gröna väggar som renar luften från partiklar och samtidigt skulle kunna genomföra fytomekanismer med hjälp av sina rotsystem	Luftpartiklar. Eventuellt metaller och petroleumkolväten	Fytostabilisering

IV	Djuprotade lignoser kan utgöra trädrader som bryter ned och binder organiska föroreningar	Petroleumkolväten, klorerade lösningsmedel,	Rhizodegradering, fytodegradering, fytostabilisering, fytoavdunstning,
V	Blandad lågväxande örtarad vegetation kan planteras kring och mellan järnvägssliprarna. Vegetation bör kunna degradera kolvätena och stabilisera och i viss mån extrahera metallerna. Årlig klippning och borttagning av gräsklipp bör genomföras	Petroleumkolväten Metaller	Fytoextraktion, fytoedegradering, fytostabilisering, fytoavdunstning
VI	Flytande våtmarker som utgörs av pluggplantor planterade i en flytande växtbädd kan, strategiskt placerade, förhindra att föroreningar sprids vidare via vattenvägen	Petroleumkolväten, klorerade lösningsmedel och bekämpningsmedel kan brytas ned. Metaller och långlivade organiska föroreningar stabiliseras	Rhizofiltrering, fytostabilisering
VII	En matta av lågväxande gräsarter kan stabilisera föroreningar och förhindra att de sprids via vind eller regnvatten. På så sätt förebyggs att människor exponeras Djuprotade träd kan bryta ned de organiska föroreningar som finns på platsen.	Petroleumkolväten, klorerade lösningsmedel och bekämpningsmedel kan brytas ned. Metaller och långlivade organiska föroreningar stabiliseras	Fytostabilisering, rhizodegradering, fytodegradering, fytoavdunstning
VIII	Träd med djupa rötter och hög transpiration kan förhindra att föroreningar sprids med grundvattnet. Beroende på art bör organiska föroreningar även kunna brytas ned	Främst klorerade lösningsmedel då de snabbt migrerar till grundvattnet, men även kolväten och näringsämnen	Hydraulisk kontroll. Eventuellt fytodegradering, rhizodegradering
IX	Rader av buskar kan definiera avgränsa ett område och samtidigt bryta ned organiska föroreningar. Tillsammans med djuprotade gräs kan även oorganiska föroreningar bindas.	Petroleumkolväten, klorerade lösningsmedel, näringsämnen bryts ned. Metaller stabiliseras	Fytodegradering, rhizodegradering, fytoavdunstning, fytostabilisering

Diskussion

Är fyto Remediering ett gångbart alternativ för sanering i ett postindustriellt hamnområde?

Att använda fyto Remediering i ett postindustriellt hamnområde är potentiellt det billigaste och mest miljövänliga alternativet, framförallt om det jämförs med schaktning och bortfraktning av förorenade massor. Användandet kan dock visa sig vara tveeggat om förutsättningarna kräver åtgärder för att vegetation ska få en god etablering. Skötselåtgärder som bevattning, odjursbekämpning och gödsling innebär en högre kostnad och i vissa fall en lägre grad av ekologisk hållbarhet. Om fitoextraktion sker på platsen tillkommer även skörd och bortförsl av växter som ackumulerat föroreningen i sina vävnader. Detta är förvisso mycket enklare och billigare än att frakta bort förorenade massor, men skörden måste också upprepas årligen. Även detta innebär en kostnad och förtar graden av hållbarhet i viss mån. Om det skördade växtmaterialet kan användas som biobränsle eller foder, eller extraherade metaller kan återvinnas, kompenserar detta ofta kostnaden för skördeprocessen till viss del. I vissa fall, som vid extrahering av nickel, kan återvinningen till och med ha potential att vara högst lukrativ.

En annan aspekt förutom pris som talar för fyto Remediering är att fyto Remediering har potential att ge upphov till en rad andra positiva effekter. Träd och växter renar exempelvis även luften från föroreningar samt binder koldioxid och bidrar därigenom till ett bättre klimat i staden. Därtill avlastar vegetationen stadens dagvattenhantering och har en bullerdämpande verkan. Ytterligare en aspekt är att planteringar kan tjäna som habitat för diverse djur och insekter. Även om inte alla ekosystemtjänsters effekter kan kvantifieras, kan de ändå bidra som argument för valet av fyto Remediering som saneringsåtgärd.

Om fyto Remediering övervägs som åtgärds metod måste tidsaspekten tas i akt då en långsam saneringsprocess kan utgöra en av fyto Remedieringens mest komplicerande följder. Att saneringen kan behöva pågå under flera generationers tid, som är fallet med vissa typer av föroreningar, är inte alltid ett alternativ. Även de föroreningar som är enklare att åtgärda kräver i många fall ett par år. Detta försvårar således användandet av fyto Remediering avsevärt. Till följd av detta krävs god planering och framförhållning. Projektet De Ceuvel är ett bra exempel där markägaren, i det här fallet staden Amsterdam, fastställt ett tidsfönster på tio år för sanering. Genom att ange en längre tidsperiod för sanering genom sådana bestämmelser kan fyto Remediering komma att användas betydligt oftare än när planeringen och exploateringen sker kortsiktigt.

Då fyto Remediering grundar sig i växter kommer platsen som ska saneras och växtzonen den befinner sig i spela en stor roll för huruvida metoden kan utgöra en lämplig saneringsåtgärd. Enkelt uttryckt, innebär en längre vegetationsperiod också en längre period under vilken fyto Remediering kan ske effektivt. Att använda sig av växter för att rena mark är bäst lämpat i södra Sverige och blir progressivt mindre effektivt desto längre norrut föroreningen är lokaliserad. Till vilken grad vegetationens fyto Remedieringsförmåga inskränks av kortare vegetationsperioder är dock inte fullt dokumenterat. Det finns ändå anledning att hävda att en förorening är desto värre ju nordligare i landet den sker, då kostnaden för sanering sannolikt kommer vara högre och miljöpåverkan av efterbehandlingsåtgärden större.

En annan aspekt som berör växtmaterialet är ståndorten som platsen där föroreningarna befinner sig utgör. Om fyto Remediering ska ske effektivt måste växterna kunna etablera sig och få en god utveckling. Förorenings bilden kan då utgöra en försvårande faktor och i vissa fall till och med orsaka växtens död. Utöver föroreningarna tillkommer även de förutsättningar som existerar på platsen

naturligt. Ett hamnområde utgör en speciellt svår växtplats då faktorer som salt, vind och torka utgör begränsningar. Det finns dock vegetation som växer vilt på liknande platser och borde visa sig vara lämpliga. Framförallt gruppen av salttåliga växter, halofyter, tycks ha god potential.

Med allt detta i åtanke är det svårt att svara med ett rakt Ja eller Nej på frågeställningen. Det handlar snarare om en gråzon där flera av de kriterier som avhandlats ovan måste uppfyllas för att det ska vara möjligt. Givet att förutsättningarna tillåter vegetation och inte förväntningarna är att föreningen ska åtgärdas ögonblickligen, borde fyto Remediering vara ett bra alternativ och med rätt växtval bör fyto Remediering även kunna tillämpas i ett postindustriellt hamnområde på ett effektivt sätt.

Är det möjligt att, i en postindustriell hamnmiljö, skapa stimulerande miljöer för rekreation med växtmaterial som samtidigt hjälper fyto Remedieringsprocessen?

Denna frågeställning är tätt knuten till föregående då förutsättningarna för vegetationen är avgörande. Desto mer begränsande förutsättningarna är på växtvalet, ju färre blir även designmöjligheterna. Att besvara frågan försvåras även av att det idag finns väldigt få reella referensobjekt. Sannolikt eftersom ämnet fortfarande är ganska nytt för landskapsarkitekter som yrkesgrupp.

De få exempel som finns, däribland Landschaftspark Duisburg-Nord och framförallt De Ceudel, indikerar att det mycket väl är möjligt att skapa stimulerande miljöer i ett postindustriellt sammanhang med fyto Remediering som en central komponent. Dessa exempel använder sig dock inte i någon större utsträckning av växtkompositoriska möjligheter, eller redovisar det i varje fall inte. Istället använder de sig främst av industriella kvarlevor som får utgöra grunden i deras design. Den fyto Remedierande vegetationen kompletterar dessa kvarlevor rent estetiskt.

Framträdande med de förutnämnda exemplens utformning är att de båda separerar människa och förorening där den senare utgör en fara för den tidigare. De förorenade delarna kan ses, men inte röras. I båda fallen åstadkoms detta med hjälp av upphöjda gångvägar vilka tillåter utsikt utöver de platserna där fyto Remediering sker. Därigenom kan en referens till platsens tidigare användning skapas. En påminnelse om människans påverkan på sin omgivning och vad utvecklingen av det samhälle vi lever i idag haft för konsekvenser. Om sanering istället sker genom schaktning och borttransportering av jordmassorna och det därefter uppförs moderna byggnader, som saknar koppling till platsens tidigare användning, och dessa byggnader omges av ett landskap som döljer snarare än belyser det som tidigare funnits, riskerar denna påminnelse att gå förlorad.

För att svara på frågeställningen kan sägas att så länge fyto Remediering kan tillämpas borde även miljön som de fyto Remedierande planteringarna och deras omnejd kunna utgöra attraktiva miljöer för människor. Det kanske inte är just vegetationen som kommer vara platsens mest framträdande element, men den kommer i varje fall att stärka platsens karaktär och tjäna som påminnelse om konsekvenserna av vårt industriella arv, förutsatt att den valts ut med omsorg och placerats strategiskt med tanke på estetiska kvalitéer.

Vidare forskning

På temat om vidare forskning förs tankarna direkt till hur bristfälligt underlaget är då växter ska väljas för fyto Remediering. Här behövs betydligt fler studier i vilka arter som är lämpliga. Detta avser framförallt fyto Remediering av de ämnen som idag är svåra att behandla med metoden, såsom diverse metaller, radionuklider och långlivade organiska föroreningar. I *Phyto* (Kennedy & Kirkwood 2015) har författarna belyst hur flera föroreningar idag inte kan fyto Remedieras på ett effektivt sätt. De är dock alltid försiktigt positiva till framtiden och betonar att detta kan komma att ändras då forskningen kan generera nya rön.

Utöver studier i vilka arter som är lämpliga för fyto Remediering bör genmodifiering av växter för fyto Remediering undersökas. Självfallet skulle detta behöva göras varsamt för att inte skapa växter som blir disruptiva för ekosystemet.

Forskning om hur fyto Remedierande växter påverkar resten av ekosystemen är också nödvändiga. Exempelvis behövs det dokumenteras om växters blomning och frukt har en påverkan på pollinerare och djur som äter växterna, ifall växterna står i förorenad mark. Blomning och frukt är viktiga komponenter i växtkompositionen och följaktligen kan svar på dessa frågor begränsa eller utöka urvalet av möjliga växter.

Kopplat till föregående stycken, kommer det att behövas fler meta-analyser av forskningen som produceras. Detta förenklar växtvalet avsevärt för de som inte är fullt insatta i den senaste forskningen, vilket borde stämma in på de flesta landskapsarkitekter eller andra yrkesgrupper som kan tänkas ansvara för design i en fyto Remedieringskontext. Ännu bättre än meta-analyser skulle vara en fullständig sammanställning eller databas över fyto Remedierande arter. Ifall arter skulle kunna filtreras efter förutsättningar, såsom växtzon, tållighet, ljusförhållanden etc., förenklas processen med att avgöra vilka arter som kan vara lämpliga på vederbörande plats. Det finns idag ett par försök till sådana databaser, men dessa är ytterst inkompleta, oftast väldigt geografiskt specifika vad gäller arterna och baserade på litteratur som är sällan är tillgänglig och på sätt gör det svårt att kontrollera och verifiera påståendena.

På liknande vis, skulle det vara värdefullt med en systematisk sammanställning av stadsförnyelseprojekt som använder sig av fyto Remediering i processen. Detta skulle kunna visa sig speciellt användbart vid de tillfällen då fyto Remediering ska tillämpas i en förorenad hamnmiljö då detta är en av de vanligaste typerna av område som idag väljs ut för stadsförnyelseprojekt. För att utgöra ett gediget underlag skulle en sådan sammanställning behöva innefatta uppgifter som vilka arter som använts och hur dessa ska bidra i fyto Remedieringsprocessen (e.g. vilken fyto mekanism används och vilka föroreningar som åtgärdas). Det skulle även vara viktigt att vara tydlig med vilka kvalitéer som planterats, ifall planteringen innefattar lignoser, och hur trädödligheten sett ut. Självklart skulle en sådan sammanställning även behöva innehålla uppgifter om föroreningarna som ska adresseras. Även vilka åtgärder som utförts utöver planteringen av fyto Remedierande vegetation bör vara dokumenterade. Detta skulle kunna innefatta aspekter såsom, huruvida vegetationen fått hjälp i etableringen, om kelater tillsats för att göra föroreningarna mer tillgängliga eller om andra saneringsåtgärder behövt brukas för att komplettera fyto Remedieringen. Självfallet bör detta följas av en redogörelse för vilken effekt åtgärderna haft på platsens föroreningsproblematik. Utöver detta skulle uppgifter om platsens design och estetiska kvalitéer samt hur projektet mottagits av allmänheten, vara värdefullt.

Det område där fyto Remediering och design överlappar är fortfarande väldigt outforskat och erbjuder en mängd aspekter som kan och bör undersökas. I vilket sammanhang detta ska göra kan kanske förefalla något oklart då detta inte lämpar sig för faciliteter som konventionellt används inom naturvetenskapen. Landskapslaboratoriet på Alnarp skulle kunna tjäna som förebild för detta. Här undersöks hur vegetationens estetiska kvalitéer kan nyttjas och framhävas till fullo genom riktade skötselinsatser och innovativa försök med olika växtsammansättningar. Ett liknande projekt som utöver det estetiska faktoriserar in fyto Remedieringens parametrar skulle inte vara otänkbart.

Ett sådant undertagande kräver självfallet en större areal förorenad mark, och det finns det, som konstaterats tidigare, gott om i världen. Här skulle frågeställningar som huruvida träd och buskar som växer i förorenad mark kan beskäras, kunna undersökas. Om så är fallet, genererar det följdfrågor; hur mycket kan de beskäras? Vilka arter gäller det för? Under vilka föroreningsförhållanden gäller det? Att kunna prydnadsbeskära vegetationen erbjuder avsevärt mycket mer spelrum när det kommer till att skapa stimulerande platser och således skulle svar på sådana frågeställningar vara viktiga.

En annan aspekt som skulle behöva undersökas i ett sådant "fyto Remedierings-landskapslaboratorium" är huruvida det finns någon skillnad i fyto Remedieringsförmågan mellan olika sorter av en viss art. Exempelvis är *Betula pendula* bevisligen en art som kan användas för fyto Remediering, men hur är det med sorterna *B. pendula* 'Tristis' och *B. pendula* 'Youngii'? Om dessa sorter är likvärdiga vad gäller fyto Remediering så skulle det utöka paletten som landskapsarkitekter har att arbeta med.

Växtsammansättningar är ett annat ämne som ett sådant landskapslaboratorium skulle kunna tjäna som experimentyta för. Konkreta svar på vilken typ av växtsammansättning som är effektivast för fyto Remediering är sällsynta i dagens litteratur och läsare ges ofta tvetydiga intryck. Exempelvis tycks Kennen och Kirkwood (2015) själva förespråka en blandning av olika arter av örtartade växter och lignoser i de flesta fallen, men de exempel på lyckad Remediering i fält som författarna själva redovisar i sitt arbete använder sig i princip av som mest tre olika arter. På ett teoretiskt plan kan det tyckas ganska logiskt att, givet att en viss förorening på en plats ska åtgärdas så snabbt som möjligt, så mycket av den art som visat sig vara lämpligast för Remediering, av vederbörande förorening, är det bästa valet. Då uteblir dock oftast de potentiella estetiska och ekologiska fördelarna. Dessutom är föroreningsbilden oftast mer komplex än endast en förorening och i sådana fall kan kanske fler arter åtgärda fler föroreningar på ett effektivare sätt. Detta är dock ett oklart område och skulle behöva undersökas närmare.

Övriga reflektioner kring ämnet och arbetet

Att närma sig fytoremediering som landskapsarkitekt innebär att ge sig ut på relativt outforskad mark. Litteraturen är i första hand naturvetenskapligt lagd med fokus på beskrivningar av växters biofysiska och – kemiska mekanismer, något som landskapsarkitekten sällan kommer i kontakt med under sin utbildning. Ett spirande intresse tycks dock kunna skönjas inom yrkesgruppen. Flera examensarbeten som skrivits under 2010-talet har fytoremediering som fokus. Kanske kan även litteratur som Kennen och Kirkwood *Phyto* inspirera till fler verk av den sort som kombinerar de fytoremedieringens tekniska och estetiska aspekter.

Att föreslå fytoremediering som saneringsmetod för en plats innebär en hög grad av komplexitet och kräver en bred kunskapsbas. Detta är något som noterats i skrivandet av det föreliggande arbetet. Fördjupning har krävts inom allt från växtfysiologi till historisk stadsutveckling till kemi kopplad till föroreningar. Följaktligen kan konstateras att, dels ett arbete som detta kanske gör sig bättre som masteruppsats där mer tid och utrymme för djup finns, men framförallt att det krävs en bredd av kompetenser om fytoremediering ska omsättas i praktiken. Exempelvis besitter få landskapsarkitekter den förståelse för naturvetenskapen och dess forskningsmetoder som krävs för att kunna bedöma vilka växtarter som är lämpliga val för en plats. Inte heller verkar det sannolikt att landskapsarkitekten ensam kan göra bedömningar om vilka förutsättningar föroreningarna på en plats utgör, eller vilka effekter en applicerad fytoremedieringsteknik skulle ha på föroreningsbilden eller hur saneringen skulle påverka omliggande ekosystem. Således kan konstateras att landskapsarkitekten troligtvis inte är lämpad att ensam ta sig an ett fytoremedieringsprojekt. Ett sådant projekt bör istället tas an av en grupp med flera olika yrkeskompetenser, naturvetenskapliga, juridiska och designkopplade. I en sådan grupp kan landskapsarkitekten utgöra ”spindeln i nätet” som förbinder olika professioners kunskaper genom att kunna lite om mycket.

Källförteckning

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2017). *ATSDR Toxic Substances Portal*. Tillgänglig: <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp> [Hämtad 2017-05-17]

Blixt, E. (2007). *Växter anpassade för ett vindpinat läge*. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: http://ex-epsilon.slu.se/3316/1/blixt_e_090629.pdf [Hämtad 2017-05-02]

Boverket. (2004). *Hållbara städer och tätorter i Sverige: förslag till strategi*. Karlskrona: Boverket. Tillgänglig: http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2004/hallbara_stader_och_tatorter

Boverket. (2016). *Rätt tätt- En idéskrift om förtätning av städer och orter*. Karlskrona: Boverket. Tillgänglig: <http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2016/ratt-tatt-en-ideskraft-om-fortatning-av-stader-orter.pdf> [Hämtad 2017-04-12]

Boverket & Naturvårdsverket. (2000). *Planera med miljömål! En vägvisare*. Karlskrona: Boverket.

Boverket & Naturvårdsverket. (2006). *Förorenade områden och fysisk planering Samarbetsprojekt mellan Naturvårdsverket och Boverket*. Karlskrona: Boverket. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5608-5.pdf> [Hämtad 2017-04-12]

Chaney, R. L., Angle, J. S., Broadhurst, C. L. Peters, C. A., Tappero, R. V., & Sparks, D. L. (2007). Improved understanding of hyperaccumulation yields commercial phytoextraction and phytomining technologies. *Journal of Environmental Quality* 36, 1429-1443. DOI: 10.2134/jeq2006.0514

Cundy, A.B., Bardos, R.P., Puschenreiter, M., Mench, M., Bert, V., Friesl-Hanl, W., Müller, I., Li, X.N., Weyens, N., Witters, N., Vangronsveld, J. (2016). Brownfields to green fields: Realising wider benefits from practical contaminant phytomanagement strategies. *Journal of Environmental Management*. 184, 67-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.028>

CABERNET. (2006). *Sustainable Brownfield Regeneration: CABERNET Network Report*. Nottingham: University of Nottingham.

Davis, T. (2002). *Brownfields: A Comprehensive Guide to Redeveloping Contaminated Property*. Chicago: American Bar Association.

De Ceutel. (2017). *What is De Ceutel?*. Tillgänglig: <http://deceutel.nl/en/about/general-information/> [Hämtad 2017-05-17]

Dickinson, N. M., Baker, A. J., Doronila, A., Laidlaw, S., Reeves, R. (2009) Phytoremediation of Inorganics: Realism and Synergies. *International Journal of Phytoremediation*, 11:2, 97-114, DOI: 10.1080/15226510802378368

Dixon, T. (2007). *Sustainable Brownfield Regeneration: Liveable Places from Problem Spaces*. Oxford: Blackwell Publishing

Dutton, M. & Humphreys, P. (2005) Assessing the Potential of Short Rotation Coppice (Src) for Cleanup of Radionuclidecontaminated Sites. *International Journal of Phytoremediation*, 7:4, 279-293, DOI: 10.1080/16226510500327137

Falk, M. & Ronnheden, J. (2010). *Succession: Landskapsarkitekten & fytoemedieringen*. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: http://stud.epsilon.slu.se/1926/1/falk_m_etal_101018.pdf [Hämtad 2017-04-02]

Förenta Nationerna. (2015). *2014 Revision of World Urbanization Prospects*. New York: Förenta Nationerna. Tillgänglig: <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.Pdf> [Hämtad 2017-04-27]

Göteborgs stad (2017). *Älvstaden*. Tillgänglig: <http://alvstaden.goteborg.se/> [Hämtad 2017-04-25]

Göteborgs hamn AB. (2017). *Hamnens historia*. Tillgänglig: <https://www.goteborgshamn.se/om-hamnen/hamnenshistoria/> [Hämtad 2017-04-25]

Helsingborgs stad. (2016). *Om H+*. Tillgänglig: <https://hplus.helsingborg.se/om-h/> [Hämtad 2017-04-25]

Jansson, T. (2013). *Trädgård med havet som granne*. Gävle: Högskolan i Gävle. Tillgänglig: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:678835/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad 2017-05-02]

Jones, A. (2016). Regenerating urban waterfronts—creating better futures—from commercial and leisure market places to cultural quarters and innovation districts. *Planning Practice and Research* DOI: 10.1080/02697459.2016.1222146

Kemikalieinspektionen (2011). *Användning av bly i Sverige*. Tillgänglig: <http://www3.kemi.se/sv/Innehall/Statistik/Kortstatistik/Kortstatistik-over-amnen-och-amnesgrupper/Anvandning-av-bly-i-Sverige/> [Hämtad 2017-04-22]

Kemikalieinspektionen (2012). *CFC, HCFC och HFC (freoner)*. Tillgänglig: <http://www3.kemi.se/sv/Innehall/Statistik/Kortstatistik/Kortstatistik-over-amnen-och-amnesgrupper/CFC-HCFC-och-HFC-freoner/>. [Hämtad 2017-05-18]

Kemikalieinspektionen (2016a). *Träskydd med kreosot*. Tillgänglig: <http://www.kemi.se/hitta-direkt/bekämpningsmedel/biocidprodukter/vanliga-typer-av-biocidprodukter/traskydd-med-kreosot>. [Hämtad 2017-05-18]

Kemikalieinspektionen (2016b). *Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)*. Tillgänglig: <http://www.kemi.se/prio-start/kemikalier-i-praktiken/kemikaliegrupper/polycykliska-aromatiska-kolvaten-pah>. [Hämtad 2017-05-18]

Kennen, K. & Kirkwood, N. (2015). *Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design*. Abingdon: Routledge.

Kirkwood, N. (2001). Defining Manufactured Sites: integrating technology and design in reclaimed landscapes. I: Kirkwood, N. (red), *Manufactured Sites: Rethinking the Post-Industrial Landscape*. London: Spon Press, ss. 3-11.

Krinke, R., Winterbottom, D. (2001). *Response: Terra Toxic*. I: Kirkwood, N. (red), *Manufactured Sites: Rethinking the Post-Industrial Landscape*. London: Spon Press, ss. 162-166.

Kuppusamy, S., Palanisami, T., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., Naidu, R. (2016). Ex-Situ Remediation Technologies for Environmental Pollutants: A Critical Perspective. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume*. 236, 117-192. DOI 10.1007/978-3-319-20013-2_2

Latz, P. (2001). Landscape Park Duisburg-Nord: the metamorphosis of an industrial site. I: Kirkwood, N. (red), *Manufactured Sites: Rethinking the Post-Industrial Landscape*. London: Spon Press, ss. 150-162.

Lilja, E. (2000). Periferi och identitet – den moderna förortens paradox. I: Dansk Byplanlaboratorium., *Byplan 02/00*. Köpenhamn, ss. 46-54. Tillgänglig: http://www.su.se/polopoly_fs/1.231794.1428575981!/menu/standard/file/artikel%20Periferi%20och%20identitet.pdf [Hämtad 2017-04-22]

Lomma kommun. (2017). *Lomma hamn och centrum*. Tillgänglig: <https://lomma.se/bygga-bo-och-miljo/byggprojekt/lomma-hamn-och-centrum.html>. [Hämtad 2017-04-25]

Malmö stad. (2010). *Så förtätar vi Malmö: Dialog-pm 2010:2*. Malmö: Malmö stadsbyggnadskontor. Tillgänglig: <http://malmo.se/download/18.1c002f7b12a6486c372800012053/Fortatning-Dialog+PM.pdf> [Hämtad 2017-04-22]

Malmö stad. (2016). *Uppstart Nyhamnen*. Tillgänglig: <http://malmo.se/Stadsplanering--trafik/Stadsplanering--visioner/Oversiktsplanering--strategier/Pagaende-oversiktsplanering/Oversiktsplan-for-Nyhamnen/Uppstart-Nyhamnen.html>. [Hämtad 2017-04-25]

Manousaki, E. & Kalogerakis, N. (2011). Halophytes – an Emerging Trend in Phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*. 13:10, 959-969. DOI: <http://tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1080/15226514.2010.532241>

Nationalencyklopedin (2017a). *Bioackumulation*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/bioackumulation>. [Hämtad 2017-05-18]

Nationalencyklopedin (2017b). *Halveringstid* Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/halveringstid>. [Hämtad 2017-05-18]

Nationalencyklopedin (2017c). *Immobilisering*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/immobilisering>. [Hämtad 2017-05-18]

Nationalencyklopedin (2017d). *Permeabilitet*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/permeabilitet>. [Hämtad 2017-05-18]

Naturvårdsverket. (2003). *Reparation pågår – om sanering av förorenad miljö*. Uppsala: Ord&Form. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-8091-1.pdf?pid=3881> [Hämtad 2017-05-01]

Naturvårdsverket. (2007). *Klorerade lösningsmedel – identifiering och val av efterbehandlingsmetod*. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5663-8Del1.pdf> [Hämtad 2017-05-10]

Naturvårdsverket (2009a). *Att välja efterbehandlingsåtgärd: en vägledning från övergripande till mätbara åtgärds mål*. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5978-1.pdf?pid=3576> [Hämtad 2017-05-10]

Naturvårdsverket (2009b). *Riskbedömning av förorenade områden En vägledning från förenklad till fördjupad riskbedömning*. Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5977-4.pdf> [Hämtad 2017-05-10]

- Naturvårdsverket (2009c). *Riktvärden för förorenad mark – modellbeskrivning och vägledning*. Stockholm: Naturvårdsverket.
Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-5976-7.pdf>
[Hämtad 2017-05-10]
- Naturvårdsverket (2014). *PCB i miljön*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Organiska-miljogifter/PCB/>. [Hämtad 2017-05-18]
- Naturvårdsverket (2016). *Stockholmskonventionen – om långlivade organiska föreningar*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/EU-och-internationellt/Internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/Langlivade-organiska-foreningar/>. [Hämtad 2017-05-05]
- Naturvårdsverket (2017a). *Giftfri miljö*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Giftfri-miljo/> [Hämtad 2017-05-19]
- Naturvårdsverket (2017b). *Bidrag för sanering av förorenade områden för att bygga bostäder*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/efterbehandling-infor-bostadsbebyggelse/> [Hämtad 2017-05-19]
- Olofsson, C. (2015) *Sveriges bostadsbyggande ökar kraftigt*. Stockholm: Statistiska centralbyrån (SCB-indikatorer, 2015: 141). Tillgänglig: <http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Artiklar/Bostadsbyggandet-okar-kraftigt/> [Hämtad 2017-04-05]
- Olsson, S. (2010). *Anpassat växtmaterial för skärgårdsmiljö – Tjörn*. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: http://stud.epsilon.slu.se/1988/1/olsson_s_101105.pdf [Hämtad 2017-05-02]
- Olsson, K. (2011). *Markläkande växter: Växters kapacitet att med fyto Remediering rena förorenad mark med exempel och förslag för Ockelbo järnvägsstation*. Gävle: Högskolan i Gävle. Tillgänglig: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:471141/FULLTEXT01.pdf> [Hämtad 2017-05-07]
- Pekin Timur, U. (2013). Urban Waterfront Regenerations. I: Özyavus, M. (red), *Advances in Landscape Architecture*. Rijeka: InTech. DOI: 10.5772/55759
- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*. 55, 15-39. DOI: 10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214
- Schnoor, J. L. (2007). EPA's Research Budget. *Environmental Science and Technology*. 41:7, 2071-2072. Tillgänglig: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es072498b> [Hämtad 2017-04-16]
- Schwarz, A. (2001). Von der Altlast zum Monument der Industriekultur: Stillgelegte Industrieanlagen im Ruhrgebiet zwischen Imagewerbung und Identitätsstiftung. *Geschichte im Westen*. 16:2, 242-249.
- Stockholms stad. (2017). *Hammarby Sjöstad*. Tillgänglig: <http://bygg.stockholm.se/Alla-projekt/hammarby-sjostad/?acceptcookies=true>. [Hämtad 2017-04-25]
- Theuws, P. & Wilschut, M. (2009). *Healing Urban Landscapes: phytoremediation in post-industrial urban design*. Wageningen: Wageningen University. Tillgänglig: <http://edepot.wur.nl/165481> [Hämtad 2017-05-10]
- Trelleborgs kommun (2017). *Kuststad 2025*. Tillgänglig: <http://www.trelleborg.se/sv/bygga-bo-miljo/kommunens-planarbete/stadsbyggnadsprojekt/pagaende-projekt/kuststad-2025/>. [Hämtad 2017-04-25]

Ulam, A. (2012). Phyto your life: phytoremediation provides a sustainable approach to building landscapes on brownfields. *Landscape Architecture Magazine*, mars. Tillgänglig: <http://www.alexulam.com/wp-content/uploads/2012/07/phytoremediation1.pdf> [Hämtad 2017-04-18]

Van der Ent, A., Baker, A., Reeves, R., Pollard, A., Schat, H. (2013). Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction. *Plant and Soil*. 362, 319-334. DOI: 10.1007/s11104-012-1287-3

Westlin, A. (2004). *Dagvatten från parkeringsytor*. Stockholm: Kungliga tekniska högskolan. Tillgänglig: http://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdf1/rapporter/dagvatten/dagvatten_parkeringsplatser.pdf [Hämtad 2017-05-08]

Wilkomirski, B., Sudnik-Wójcikowska, B., Galera, H., Wierzbicka, M., Malawska, M. (2011). Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution. *Water, Air and Soil Pollution*, 218 (1-4) 333-345. DOI: [10.1007/s11270-010-0645-0](https://doi.org/10.1007/s11270-010-0645-0)

Willey N. (red) (2007). *Phytoremediation: Methods and Review*. Totowa, New Jersey: Humana Press.

World Landscape Architecture. (2017). *Purifying Park de Ceuvel | Amsterdam Netherlands | Delva Landscape Architects*. Tillgänglig: <http://worldlandscapearchitect.com/purifying-park-de-ceuvel-amsterdam-netherlands-delva-landscape-architects/#.WRN2SoiLRPY> [Hämtad 2017-05-03]

World Wildlife Fund (2017). *Ecological Footprint*. Tillgänglig: http://wwf.panda.org/about_our_earth/teacher_resources/webfieldtrips/ecological_balance/eco_footprint/. [Hämtad 2017-05-18]

Ystads kommun (2016). *Staden Ystad 2030: Fördjupning av översiktsplan för Ystads kommun*. Ystads: Ystads kommun. Tillgänglig: http://www.ystad.se/globalassets/dokument/sam/planavdelningen/fop-ystad/fop-ystad-antagen-av-kf-20160615-94_mindre-fil.pdf [Hämtad 2017-04-18]

Svenska Geotekniska Föreningen (2015). *Dioxiner och furaner*. Tillgänglig: <http://www.atgardsportalen.se/foreoreningar/dioxiner-och-furaner>. [Hämtad 2017-05-18]