



Fytoremediering på Kvarnby upplagsområde

Ett ekonomiskt och ekologiskt alternativ

Axel Marnung

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Landskapsingenjörsprogrammet
Alnarp 2024



Fytoremediering på Kvarnby upplagsområde. Ett ekonomiskt och ekologiskt alternativ.

Phytoremediation on Kvarnby storage area. An economic and ecological alternative.

Axel Marnung

Handledare:	Frida Andreasson, SLU Alnarp, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Examinator:	Åsa Bensch, SLU Alnarp, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Omfattning:	15 HP
Nivå och fördjupning:	Grundnivå
Kurstitel:	Självständigt arbete i Landskapsarkitektur
Kurskod:	EX0841 Vt 2024
Program/utbildning:	Landskapsingenjörsprogrammet
Kursansvarig inst.:	Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Utgivningsort:	Alnarp
Utgivningsår:	2024
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Nyckelord:	fyto­remediering, Kvarnby, bils­krot, <i>Salix viminalis</i> , organiska föroreningar, oorganiska föroreningar.

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Sammanfattning

Ökad industrialisering, intensivt jordbruk, och urbanisering har lett till allvarliga föroreningar av mark, vatten och luft. Denna mänskliga aktivitet har resulterat i en spridning av organiska- och oorganiska föroreningar och andra farliga ämnen som hotar både människors hälsa och miljön. I denna kontext har fytoremediering uppmärksammats som en lovande och hållbar metod för att sanera förorenade områden och återställa miljön till ett hälsosamt tillstånd. Genom att utnyttja växternas naturliga förmåga att absorbera, bryta ner och avlägsna föroreningar från sin omgivning erbjuder fytoremediering en unik lösning på våra miljöutmaningar. Kvarnby (tidigare Husie) upplagsområde ligger i och ägs av Malmö kommun. Tomten har under nästan 50 års tid använts av företag som har ägnat sig åt bildemolering, återvinning av skrot och delar av området har använts som upplag för byggmaterial. Detta har lett till att marken är kraftigt förorenad av metaller, olika oljor, skrotfragment och PAH (polycykliska aromatiska kolväten). Fastighets- och gatukontoret i Malmö vill nu utreda om det finns möjlighet att rena tomten från föroreningar med hjälp av fytoremediering. Resultatet visar att genom litteraturstudier, platsbesök och samtal med sakkunniga går det att dra slutsatsen att fytoremediering är ett möjligt och ekonomiskt alternativ för remediering av marken på Kvarnby upplagsområde och att lämpligt växtval för processen är *Salix viminalis*.

Nyckelord: fytoremediering, Kvarnby, bilskrot, *Salix viminalis*, organiska föroreningar, oorganiska föroreningar.

Abstract

*Increased industrialization, intensive agriculture, and urbanization have resulted in serious pollution of soil, water, and air. This human activity has led to the spread of organic and inorganic pollutants, and other hazardous substances that threaten both human health and the environment. In this context, phytoremediation has been recognized as a promising and sustainable method for cleaning up contaminated areas and restoring the environment to a healthy state. By harnessing plants' natural ability to absorb, break down, and remove pollutants from their surroundings, phytoremediation offers a unique solution to our environmental challenges. Kvarnby (formerly Husie) storage area is located in and owned by the municipality of Malmö. The site has been used by companies engaged in car dismantling, scrap recycling, and parts of the area for storage of building materials for nearly 50 years. This has resulted in significant contamination of the soil with metals, various oils, scrap fragments, and PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons). The Property and Street Department in Malmö now wants to investigate the possibility of remedying the contamination on the Kvarnby storage area using phytoremediation. The results show that through literature reviews, site visits, and consultations with experts, it can be concluded that phytoremediation is a viable and cost-effective alternative for remediating the soil at Kvarnby storage area and that the suitable plant selection for the process is *Salix viminalis*.*

Keywords: phytoremediation, Kvarnby, scrap yard, *Salix viminalis*, organic pollutants, non-organic pollutants.

Innehållsförteckning

Ordlista och förkortningar	6
1. Inledning	7
1.1 Syfte och frågeställning.....	8
1.2 Avgränsning	9
2. Metod och material	10
3. Kvarnby upplagsområde	12
3.1 Området	12
3.2 Historik Kvarnby upplagsområde	13
3.3 Framtiden	15
3.4 Tidigare provtagningsresultat.....	16
3.5 Föroreningar på platsen.....	17
3.6 Platsbesök.....	20
3.7 Marksanering	23
4. Fytoremediering	25
4.1 Definition och historik	25
4.2 Tekniker	27
4.3 Utförande, kostnader och växtval	30
5. Fytoremediering på Kvarnby upplagsområde	32
6. Diskussion	38
7. Slutsats	41
Referenser	42
Tack	47

Ordlista och förkortningar

FRM	Förkortning för fyto Remediering
PAH	Polycykliska aromatiska kolväten
FGK	Fastighets- och gatukontoret (Malmö stad)
TPH	Total petroleum hydrocarbons, en samlingsbeteckning för alla kolväteföreningar som finns i petroleumprodukter.
Organiska föroreningar	Ämnen som innehåller kolatomer och kan vara potentiellt skadliga för människors hälsa och miljön.
Oorganiska föroreningar	Oorganiska föroreningar är kemikalier utan kolatomer eller med en mindre andel kolatomer i sina molekyler, och inkluderar metaller, tungmetaller, salter och icke-metalliska föreningar.
AMF	Arbuskulär mykorrhiza, svampar som ökar näringsupptaget hos växter.
Fytotoxisk	Dödligt för växtlighet
Bioaugmentering	Process som introducerar eller förstärker specifika mikroorganismer eller biologiska processer i en miljö i syfte att förbättra eller påskynda naturliga biologiska nedbrytningsprocesser.
Kelateringsmedel	Ämne som bildar eller löser upp kelater, det vill säga en förening mellan ett organiskt ämne och ett oorganiskt ämne.
Xenobiotika	Kemikalier eller substanser som är främmande för en levande organism och vanligtvis inte finns naturligt i den.

1. Inledning

Människans ekonomiska och materiella framgångar efter den industriella revolutionen och uppfinnandet av förbränningsmotorn har påverkat miljön och planeten på ett sätt som dåtidens människor inte kunde förstå. Överallt i världen syns områden som förgiftats som ett resultat av människans oförmåga att förstå eller likgiltighet inför konsekvenserna av vårt handlande. Gamla krigszoner, olycksplatser, avfallsanläggningar och miljöfarliga industrier har lämnat ett dödligt spår i form av farligt avfall, krigsmateriel och föroreningar i sin omgivning som är ett hot mot både människan och naturen. I urbana miljöer är framväxten av ”brownfields”, dvs förfallna, förorenade eller potentiellt förorenade platser som kräver remediering för att återanvändas, ett växande problem (Drenning et al, 2022). En av de största utmaningarna med brownfields är att hantera risker kopplade till markföroreningar som uppstått på grund av tidigare verksamheter för att göra dessa områden lämpliga för framtida markanvändning. Framför allt är risken för exponering för föroreningar som kan orsaka skadliga effekter på levande organismer. Människor kan utsättas för föroreningar genom olika vägar, varav de mest framträdande är konsumtion av växter som växer på förorenad jord eller har vattnats med förorenat vatten, inandning av ångor eller damm och hudkontakt med förorenat material (Drenning et al, 2022). Bland de främsta och mest hälsovådliga miljörelaterade oorganiska föroreningarna finns giftiga metaller (”tungmetaller” och radionuklider) och bland de organiska föroreningarna xenobiotika såsom alifatiska och policykliska aromatiska kolväten (PAH), läkemedel, bekämpningsmedel och färger (Tonelli, Bhat & Hakeem, 2022).

Enligt Sveriges geologiska undersökning (SGU) finns det totalt omkring 80 000 förorenade områden i landet. Av dessa är 9500 inom riskklass 1 och 2 och utgör därför en allvarlig risk för människors hälsa och miljön (Naturvårdsverket, 2023). En stor andel av områdena är varken inventerade eller undersökta (Kemikalieinspektionen, 2022). Naturvårdsverket (2009) har fastställt generella riktvärden för förorenad mark för att underlätta riskbedömningar av olika områden. Dessa riktvärden används ofta som mål för åtgärder, beroende på planerad framtida markanvändning. Åtgärdsmålen specificerar de maximala nivåer av förorening som får förekomma för att uppfylla de önskade standarderna för ett specifikt område. En del av bedömningen är att identifiera områden som klassificeras som känslig mark (KM) och mindre känslig mark (MKM). Känslig mark hänvisar till områden där föroreningar kan ha en betydande inverkan på människors hälsa eller miljön, medan mindre känslig mark har en lägre risknivå eftersom risken för exponering är lägre och konsekvenserna är inte lika allvarliga som på känslig mark. Dessa klassificeringar används för att vägleda beslut om vilka åtgärder som är mest

lämpliga för att hantera föroreningar och minimera riskerna för exponering (Naturvårdsverket, 2009a).

Bilskrotar är ofta en källa till förorening genom petroleumkolväten från motorolja och metaller (Marchand et al, 2017). Påverkan av petroleumkolväten i marken har fått betydande uppmärksamhet på grund av deras ihållande natur och deras skadliga effekter. De har negativ inverkan på människors hälsa eftersom flera av dem är cancerogena och är även skadliga för växters genom att hämma deras tillväxt. Många saneringsmetoder har använts för att rena förorenad mark och kan enkelt delas in i fysikaliska, kemiska och biologiska metoder. (Usman et al, 2018). Dock är fysikalisk-kemiska saneringsmetoder kostsamma och inte särskilt miljövänliga. En alternativ metod är fytoremediering (FRM); användningen av växter tillsammans med mikroorganismer, jordförbättringsmedel och agronomiska tekniker för att rena miljön från föroreningar. Tekniken är relativt ny men har använts med gott utfall runt om i världen och det görs ständigt nya upptäckter av växter och metoder för att förbättra tekniken (Tonelli et al, 2022).

Sveriges riksdag sammanställde 1999 ”Sveriges miljömål” som består av 16 mål som Sverige ska uppnå till 2030 (Naturvårdsverket, 2023). Dessa är anknutna till FN:s ”Sustainable Development Goals”, även känt som ”Agenda 2030”. Sveriges miljökvalitetsmål nummer fyra, ”Giftfri miljö”, lyder:

”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.” (Miljökvalitetsmålet Giftfri miljö, 2023:6)

Detta delmål innehåller en precisering, ”Förorenade områden”, som innebär att *”förorenade områden är åtgärdade i så stor utsträckning att de inte utgör något hot mot människors hälsa eller miljön”* (Miljökvalitetsmålet Giftfri miljö, 2023:6). Enligt Kemikalieinspektionens rapport 3 (2022) bedömer de att trots att framsteg har gjorts så har inte tillräckliga åtgärder satts in för att detta mål ska kunna uppnås till 2030 (Kemikalieinspektionen, 2022).

1.1 Syfte och frågeställning

- **Hur kan man med fytoremediering rena marken på Kvarnby upplagsområde?**

Syftet med det här arbetet är att undersöka möjligheten att rena Kvarnby upplagsområde med hjälp av fytoremediering med målet att få området helt remedierat eller ner på en acceptabel nivå gällande föroreningar. Fördelar och nackdelar med fytoremediering kontra andra metoder övervägs för att undersöka

om det är ett ekonomiskt försvarbart alternativ. För att förstå hur de förorenande ämnen som finns på Kvarnby upplagsområde kan påverka växter, människor och djur behandlas dessa ämnen närmare. Vilka metoder som kan användas, vilka växter som är lämpliga och kortare förslag på utförande presenteras i resultatdelen. Detta arbete syftar till att fungera som ett underlag vid övervägande om fytoremediering är aktuellt för remediering av området i framtiden.

1.2 Avgränsning

Studien begränsas till Kvarnby upplagsområde och den problematik som finns där. Andra platser med liknande problematik som den i Kvarnby tas upp för jämförelse och exempel på lyckad applicering av fytoremediering i Sverige. För att få en bättre och klarare bild av vilka mängder föroreningar som finns i marken och göra ytterligare prognoser gällande remedieringsprocessen skulle det behövas mark- och trädanalyser.

2. Metod och material

Information har samlats in genom kunskapsinhämtande samtal/semistrukturerade kvalitativa intervjuer med anställda på Malmö stad och Erik Palmqvist från PQ Geoteknik & Miljö. Arbetet började med inledande samtal med Fastighets- och gatukontoret (FGK) som rekommenderade vidare kontakt med Stefan Mattsson och Per Hansen, anställda på FGK, och Jan Johansson från Exploateringsavdelningen. Möte hölls på Malmö stadshus där de berättade om sina erfarenheter och kunskap om Kvarnby upplagsområde. Samtliga tre har varit involverade i olika projekt kring området. Frågeställningen var inledande vad som var planen för områdets framtid och hur det såg ut där idag vilket ledde till en längre diskussion om områdets historia och planer om platsbesök. Svaren jämfördes sedan med de stora mängder pappersmaterial som Hansen och Mattsson sparar. Det materialet bestod till stor del av mötesprotokoll från samordningsmöten mellan myndigheter, möten om områdets framtid, nyhetsartiklar med mera. Information kring områdets framtid och vilka problem som funnits samlades in.

Samtal hölls över telefon med Erik Palmqvist, som ledde de markundersökningar som genomfördes 2007–2010. Frågeställningen var hur föroreningsprofilen kan ha förändrats genom erosion eller tillförsel av föroreningar sedan 2007 och diskussioner om nya provtagningar vore aktuella. Efter samtalet tillhandahöll Palmqvist de tidigare utförda provtagningarna och rapporterna gällande Kvarnby som han utfört. Det har även varit korrespondens med Mauritz Ramstedt från BioRemed AB gällande dennes arbete med sanering av en tidigare deponi i Älvkarleby kommun. Diskussionen rörde arbetet med deponin och möjligheterna för *Salix* att ta upp föroreningar.

Litteraturstudierna har bestått av insamlande av relevanta artiklar som behandlar fyto Remediering. Mycket information har hämtats från material som samtliga intervjuade har bidragit med. Detta har främst bestått av markanalysrapporter, kartor och mötesprotokoll från samverkansmöte mellan olika parter gällande områdets framtid.

Vetenskapliga artiklar har samlats in från databaser och jämförts, framför allt från Science Direct. Mycket grundläggande information kring fyto Remediering har hämtats från amerikanska Environmental Protection Agency's "Introduction to Phytoremediation" från år 2000 som ofta citeras och används för att förklara teknikerna och metoderna bakom fyto Remediering.

Det har även utförts platsbesök till Kvarnby upplagsområde ([WGS84: 55°34'52.1"N 13°5'51.5"E](https://www.google.com/maps/place/55%34'52.1\)) för att få en bild av hur området ser ut och dokumentera växtlighet och markförhållande. Detta var relevant för att ta reda på om det var möjligt för växter att överleva där och vilka markförhållanden som råder på platsen. En förutsättning för att fyto Remediering ska fungera är att de växter som används

klaras av de fytotoxiska förhållanden som råder i marken. Därför var det av intresse att ta reda på vilka växter som klarar av att växa där nu och sedan undersöka om någon av dessa har de egenskaper som är önskvärda vid fyto Remediering.

3. Kvarnby upplagsområde

3.1 Området

Kvarnby upplagsområde ligger längs Kvarnbyvägen i östra Malmö, öster om Husie kyrka, Risebergabäcken och Husie mosse i delområde Kvarnby ([SWEREF 99: N 6160983, E 380259](#)) (se bild 1). Till öster ca 300 meter bort löper väg E6 / E22. Området har en yta på 9,6 hektar uppdelat på 80 tomter (se bild 3) och är placerad mellan Kvarnbyvägen och Kvarnby golfbana som omger i stort sett hela området. Marken är terrasserad i omgångar och har ett fall på sex meter från +28 i sydost till +22 i nordväst, ca 1,3% lutning (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2007).

Området består främst av hårdgjorda ytor av betong, asfalt och grus. Det vilar på ett jordlager av sandig, siltig och lerig morän som i sin tur vilar på kalkstensberget. I ytlagret finns rester av metall och annat skrot, speciellt inom de tomter där det bedrivits bilskrotning (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2007). Platsen är omgärdad av ett ca två meter högt staket som saknar plank styckvis och därför är området tillgängligt för obehöriga.



Bild 1. Kvarnby upplagsområde i Malmö stad inom röd markering (Lantmäteriet, 2024)

3.2 Historik Kvarnby upplagsområde

Före 1960 var det endast åkermark inom området. Marken började terrasseras av Malmö stad runt 1959. Under 60-talet användes tomten främst som byggupplag, men efter 1970 fram tills stängning 2006 var det främst bilskrötning som var den dominerande branschen. 1968 beviljades bygglov för området och arrendatorerna tilläts uppföra mindre byggnader: det enda kravet som ställdes var att arrendatorer lämnade in ”enklare ritningar”. I början av 80-talet byggdes området ut till den storlek det har idag (se bild 2). På området har det även funnits företag som sysslat med andra typer av återvinning och skrotning t ex av däck, vitvaror och elektronik. Det fanns även privatpersoner som hyrde tomter för förvaring av veteranbilar samt en kiosk (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2007).

Det förekom mycket kriminell verksamhet på området: häleri, skottlossning och olagliga export. Polisen var medvetna om situationen men hade svårigheter att stoppa den; i mötesprotokoll framgår det att de ansåg det fördelaktigt att sådan aktivitet var koncentrerade till en viss plats (Fastighetskontoret, 2002). Värt att nämna är att det förekom försäljning av miljöfarligt material till Afrika, till exempel elektronik som kylskåp innehållandes freon (ibid.). Kommunens anställda blev utsatta för hot och trakasserier när de utförde sitt arbete på platsen. Verksamheter bytte ägare men under tveksamma omständigheter medan hyreskontrakt till olika tomter stod kvar på tidigare ägare vilket ledde till att ansvaret för oförrätter ofta lades på någon annan. Det hände också att verksamheter bytte huvudsaklig



Bild 2. Kvarnby upplagsområde 2001 (Malmö stadsatlas, 2024)

inriktning på verksamheten till aktiviteter de inte hade tillstånd till, exempelvis billackering, vilket medförde användandet av andra ämnen och kemikalier än vad som var tillåtet och lämpligt på platsen (Fastighetskontoret, 2002).



Bild 3. Verksamhetsfördelning ca 2006 (PQ Geoteknik & Miljö, 2007)

Redan år 2000 fanns planer på att använda området till bostäder och 2004 tog Malmö stad beslut om att området skulle göras tillgängligt för exploatering. Årsskiftet 06–07 skulle området vara avvecklat men ett antal verksamheter stannade kvar fram tills 2010 (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2011). Malmö stad ställde kravet att marken skulle vara återställd när arrendatorerna lämnade området, dvs eventuell hårdgjord yta skulle vara borttagen och tomten rensad på skrot, vilket ofta ignorerades med motiveringen att det inte var nuvarande ägare som anlagt ytorna eller samlat kvarvarande skrot (Fastighetskontoret, 2002).

Idag används bara delar av området (se bild 4): bland annat till upplag av byggnadsmaterial men även som förvaringsplats för skrot och däck som dumpats på området. FGK flisar organiskt material från andra platser runt Malmö på området och har även viss förvaring här, framför allt av material som används inom verksamheten (Hansen, 2024).

3.3 Framtiden

2010 fanns det planer på att området skulle bebyggas med bostäder i väst längs med Kvarnbyvägen (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2011). Den östra delen skulle säljas till intilliggande golfanläggning. Förslaget var då att marken i det området som skulle bli bostäder skulle grävas upp och föras till deponi och östra delen skulle täckas med ett mellan 0,5–1 meter tjockt lager bestående av lerjord och ovanpå det ett 0,2 m topplager bestående av mull, bunkersand och gräs. Mellan den förorenade jorden och övriga lager skulle det placeras avskiljande material för att förhindra vatten att infiltrera den förorenade jorden och förhindra att föroreningar rörde sig mellan lagren. On-site remediering i formen av jordtvätt bedöms vara svårt i o m den komplicerade föroreningsprofilen som finns med oljor och kolväten blandade med metaller och skrotfragment (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2011).



Bild 4. Karta över området idag. (Lantmäteriet, 2024)

3.4 Tidigare provtagningsresultat

Provtagning på mark och vatten i och runt området utfördes 2006 och 2007 av företaget PQ Geoteknik. Prover har tagits från nio tomter inom området. Borrprov till 20 meters djup gjordes på en utvald tomt och på två andra tomter. Det togs även prover från två brunnar i området för vattenanalys (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2007). Över lag kan föroreningsprofilen karaktäriseras av att halterna av föroreningar är störst i ytlagret mellan 0 – 30 cm djup medan underliggande jord ner till ca 1 meter enbart är mildt kontaminerat. De första provtagningsarna visade att föroreningarna främst är begränsade till jordprofilens översta centimetrar och därför togs kompletterande prover hösten 2007 på 0–10 cm djup (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2011). Undersökningar visar att de främsta föroreningarna som förekommer i området är metallerna bly (Pb), koppar (Cu) och zink (Zn), men även olika polyaromatiska kolväten (PAH), skrotfragment och oljor. Genomsnittliga värden uppmättes för bly till 3331 mg/kg torrsvikt, koppar 946 mg/kg torrsvikt och zink 1270 mg/kg torrsvikt. Miljöanalyser av grundvatten inom området visar att det förekommer förhöjda halter PAH och alifater C16 – C35 (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2007).

Innan ytorna inom området hårdgjordes bedrevs verksamhet direkt ovanpå den öppna, tidigare åkermarken (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2007) och det går inte att utesluta att det kan vara kraftiga föroreningar under den nu hårdgjorda ytan. Per Hansen (2024) berättar att de ”värsta synderna begicks på 70-talet” och att det då det inte var ovanligt att arrendatorer grävde ner skrot och oljor. Det går därför inte att utesluta att det på området kan förekomma platser med väldigt höga halter av föroreningar, så kallade ”hot spots” som ej har uppmätts.

De tomter där övrig skrot- och återvinningsverksamhet har förekommit uppvisar liknande föroreningsprofil som bilskotarna men något mindre allvarliga. På de tomter som främst använts som byggupplag är föroreningarna mindre kraftiga. På dessa förekommer inte någon olja och det skrot som finns i ytlagret är mer ”harmlös” än den på skrotupplagen (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2007).

Länsstyrelsen i Skåne län klassar området numera i riskklass två på Naturvårdsverkets fyrgradiga skala för förorenade områden, ”Stor risk för människa och miljö” (Länsstyrelsen Skåne, 2024). Innan 2010 var riskklassen för området 1, ”Mycket stor risk.” (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2007). I samtal med Erik Palmqvist (2024) som utförde markmiljöundersökningarna 2006 tror han att en trolig förklaring till omklassningen beror på att det fanns misstanke om att det skulle förekomma läckage av trikloreten ut i grundvattnet från området men att det inte har uppmätts och bl a därför har området omklassats till mindre farligt.

Värt att notera är att det fortfarande förekommer dumpning av skräp och hälsofarligt material på platsen (Hansen, 2024). Innan men även efter området avspärrades under 2010-talet har den använts som olaglig dumpningsplats. Regelbundet kastas använda bildäck över stängslet till området. Per Hansson (2024)

berättar att det ska ha varit allmän uppfattning bland tidigare arrendatorer på Kvarnby upplagsområde att det var möjligt och lätt att dumpa miljöfarliga ämnen på området och att det har spridits till allmänheten.

Erik Palmqvist (2024) menar att det är troligt att anta att föroreningshalterna i stort sett bör vara oförändrade sedan 2006 eftersom inga insatser för sanering har gjorts och påverkan genom erosion och urlakning är marginell. Den spridning som sker av föroreningar är liten och består då av olja som följer med dagvattnet ut från anläggningen men för att motverka detta berättar Per Hansen (2024) att FGK har stängt samtliga brunnar utom tre på området där FGK installerat oljefilter som regelbundet byts ut.

3.5 Föroreningar på platsen

PAH

Polycykliskt organiskt material (POM) är en bred klass av föreningar som innehåller tre eller fler förenade aromatiska ringar med grundämnena kol, väte, syre, kväve och svavel (Choi et al, 2010). Även om teoretiskt sett miljontals POM-föreningar skulle kunna bildas har endast ca 100 typer identifierats och studerats. Den vanligaste underklassen av POM är polycykliska aromatiska kolväten (PAH) som enbart innehåller kol och väte. PAH är organiska föreningar med två eller flera förenade aromatiska ringar, där lågmolekylära PAH (två och tre ringar) huvudsakligen finns i ångfasen i atmosfären, medan flerrings PAH (fem ringar eller fler) är bundna till partiklar. Medelhöga PAH (fyra ringar) fördelas mellan ång- och partikelfaserna, beroende på temperatur. Partikelförbundna PAH anses vara mycket farliga för människors hälsa. När de adsorberas i jord har PAH låg rörlighet och är därför relativt vanliga föroreningar i marken (Choi et al 2010).

PAH bildas oavsiktligt vid förbränning och uppvärmning av organiska ämnen (Naturvårdsverket, 2017). Det bildas naturligt vid skogsbränder och vulkanisk aktivitet men den primära källan till utsläpp är mänsklig aktivitet, primärt som konsekvens av användandet av fossila bränslen. Även vedeldning och cigaretttrök bidrar till utsläppen i luften. Inom industrin står behandling av metaller, papper och trä samt energisektorn för mycket av bildandet av PAH-föroreningar. Spill av fossila bränslen samt däckslitage och återvinning av bildäck bidrar också till dess förekomst i mark och vatten. Städer har högre koncentrationer av PAH än skogs- och jordbruksområden på grund av de många källorna till förbränning av fossila bränslen. De flesta stadsmarks-koncentrationerna ligger i intervallet 600–3000 µg/kg (Choi et al 2010). Högre värden nära områden med tung transport och industrialisering ligger i intervallet 8 till 336 mg/kg. Värden på ordningen 1000–3000 µg/kg betraktas som höga (Choi et al 2010).

Choi et al (2010) skriver att flera PAH-föroreningar har visat sig vara cancerframkallande i djurstudier medan andra föreningar har en mindre eller

obefintlig cancerframkallande effekt. PAH kan också ha generella toxiska effekter som nedsatt immunförsvar, påverkan på reproduktion och fosterskador.

I atmosfären kan PAH vara föremål för direkt fotolys, dvs nedbrytning av solen, även om adsorption till partiklar kan fördröja denna process (Choi et al, 2010). PAH kan också brytas ner av vissa svampar och mikroorganismer i marken och kan metaboliseras av en bred variation av landlevande och akvatiska organismer, även om de förväntas bioackumuleras i organismer (akvatiska och terrestra) som inte kan metabolisera dem (Choi et al 2010).

Alifater

Alifater är kolväten som bildar enkla, linjära eller förgrenade kedjor utan några aromatiska ringstrukturer (SGF, 2023). Dessa kan delas in i alkaner, alkener, alkyner och cykliska alkaner. Alifatiska kolväten förekommer i organiskt material och bland annat i petroleumprodukter. Därav förekommer alifatiska kolväten ofta på platser där petroleumprodukter har hanterats, förvarats eller använts exempelvis drivmedelsanläggningar, biltvättar, bilskrotar och verkstäder. Dessa kolväten har vanligtvis låg akut toxicitet, men långvarig exponering kan orsaka negativa hälsoeffekter. Alifatiska kolväten klassificeras vanligtvis baserat på längden på kolkedjan. De lättflyktiga alifatiska fraktionerna, som har färre kolatomer, kan vara toxiska vid inandning och misstänks kunna orsaka nervskador och påverka reproduktionsförmågan (SGF, 2023).

Kolväten med kortare kolkedjor löser sig lättare i vatten och kan därför sprida sig längre från föroreningskällan (SGF, 2023). Alifatiska kolväten med kortare kolkedjor tas lättare upp av mikroorganismer och har därför en större påverkan medan de tyngre alifatiska kolvätefraktionerna inte lika lätt tas upp eftersom de är mindre lösliga. Ändå kan de tyngre fraktionerna påverka mikroorganismerna genom att förorena deras ytor eller genom att ha en negativ inverkan på jordens struktur.

Klug och Markovetz (1971) beskriver att många mikroorganismer som bakterier utnyttjar enbart de långa kolvätena eftersom de korta är toxiska p.g.a. deras löslighet och därmed högre koncentration. Även jäst och trådsvampar utnyttjar långa kolväten snarare än korta kolväten.

Metaller (Cu, Pb och Zn)

Bly (Pb) är ett mjukt metalliskt grundämne med god ledningsförmåga (Naturvårdsverket, 2017). Det är ett ämne som har använts av människan i tusentals år, i vattenledningar, hudvårdsprodukter, målarfärg, osv. Idag används bly framför allt till batterier inom fordonsindustrin men även i ackumulatorer, glas, kablar och i mindre utsträckning i rostskyddsfärger. Bly finns naturligt i miljön i små mängder men framför allt är det människans flitiga användning av produkten som är orsaken till dess förekomst i naturen. Sverige står för ca 32% av den bly som bryts inom EU (Naturvårdsverket, 2017).

Angrand et al (2022) beskriver hur användandet av tillsatser av bly i bilbränsle, från 1920-talet framåt skapat en global pandemi av blyförgiftning; Algeriet var det sista landet som förbjöd tillsats av bly 2021. Författarna skriver att blyförgiftning leder till neurobetendemässiga störningar, högt blodtryck, njursjukdomar, hjärt-kärlsjukdomar, stroke och förtida död hos vuxna. Blyförgiftning hos barn leder till neurologiska utvecklingsstörningar och studier visar på att det är bidragande orsak till socialt avvikande beteende i senare ålder. Användandet av blytillsatser i bränsle var som störst under 1970- och 1980-talen och i Sverige förbjöds det 1995 (Naturvårdsverket, 2017).

Koppar (Cu) har använts under en mycket lång tid inom en rad olika ämnesområden (Naturvårdsverket, 2017). Idag används koppar både som värmeledare och elektronik på grund av dess mycket goda ledningsförmåga. Ämnet används även i dricksvattenledningar, som legeringsmedel och färger. Koppar ingår även i bekämpningsmedel inom jordbruket och i träskyddsmedel. I Sverige är transportsektorn den enskilt största källan till kopparutsläpp i luft där en stor mängd av dessa utsläpp kommer från bilarnas bromsbelägg (Naturvårdsverket, 2017).

Koppar finns naturligt i miljön och är ett nödvändigt spårämne som behövs i små mängder hos både människor och djur för metabolism (Naturvårdsverket, 2017). För höga koncentrationer kan dock vara skadliga och effekterna varierar mellan olika organismgrupper. Riskerna för skador beror på koppars form och tillgänglighet i miljön. Akvatiska växter, bakterier och markens mikroorganismer är särskilt känsliga för koppar. Människor exponeras främst genom mat och vatten, och höga kopparintag kan ge magrelaterade besvär som illamående, kräkningar och diarré och i extrema fall leverskador (Naturvårdsverket, 2017).

Apori et al (2018) beskriver att förorening av koppar i marken leder till fytotoxicitet och den orsakar skadliga effekter på markens mikrobiella funktion och bördighet. Författarna pekar på studier som visar att höga halter koppar hämmade hastigheten för kvävefixering av bakterien rhizobium. Metallen har även en farlig inverkan på dagmaskar.

Zink (Zn) används för att skydda metaller mot korrosion och förlänga deras livslängd (Naturvårdsverket, 2017). Detta görs genom galvanisering, dvs att metallföremål täcks av zink, vilket skyddar den underliggande metallen från att oxideras och rosta, vilket är vanligt i bl a bilindustrin. Zink används också i tillverknings- och metallindustrin. Zink finns naturligt i miljön i olika mineraler och halter. Kina är den största producenten av ämnet och även Sverige har en betydande produktion. Förbränning av biomassa är den största källan till zinkutsläpp till luften i Sverige följt av däckslitage. Även zink är ett viktigt spårämne för växter och djur och det påverkar flera enzymprocesser och är det näst vanligaste spårämnet i kroppen efter järn (Naturvårdsverket, 2017).

Plum et al (2010) beskriver att zinkförgiftning är relativt ovanligt och att zink har jämförelsevis låg toxicitet för människor. Om ämnet inhaleras kan det leda till

akut förgiftning medan längre exponering i form av intag genom kost kan leda till nedsatt förmåga hos kroppen att ta upp koppar vilket i sin tur kan leda till svårare konsekvenser för hälsan. För stora mängder zink kan även påverka biologiska processer i cellerna inklusive de som är kopplade till överlevnad och celldöd, särskilt i samband med skador på hjärnan. Guarino et al (2020) menar att zinkföroreningar främst påverkar jorden genom att ämnet i för höga mängder är fytotoxiskt och även farligt för mikroorganismer och svampar. Ämnet påverkar även i viss grad markens pH och har en försurande effekt (Plum et al, 2010).

3.6 Platsbesök



Bild 5. Infarten till Kvarnby upplagsområde (Axel Marnung, 2024).

Första platsbesöket utfördes 1/2 2024 tillsammans med Per Hansen från FGK. Innanför grinden (bild 5) till området låg ca 20 bildäck inkastade. Precis vid entrén och vid ett par platser inom området förekom dofter av bensin och olja. E6 ligger inom synhåll och ljudet från vägen är väldigt högt över hela området. Området är bestrött med allehanda sopor; stor andel av detta är gamla förpackningar med olika oljor, från matolja till specialolja för fordon som hydraulolja och motorolja. Det förekommer även mycket gamla öl- och läskburkar och tomma lustgasbehållare. Marken är till stor del täckt av olika hårdgjorda ytor som krossad sten, asfaltsbeläggning eller betongplattor (se bild 6). Tjockleken och kvaliteten är väldigt olika på ytorna och på flera håll har vegetation trängt upp genom sprickor i det hårdgjorda.



Bild 6. Tomt där det tidigare varit bilsprot och hårdgjorda ytan ligger kvar (Axel Marnung, 2024).

Ytterligare två besök gjordes för inventering av vegetation, 16/2 respektive 25/2. Samtliga besök har utförts under februari månad och därför har identifieringen av växtligheten varit svår emellanåt då den bara har kunnat genomföras utifrån växternas vinterhabitus.

Trädskiktet domineras främst av pil, björk och lönn i varierande storlekar. Några av de största träden på området är individer av *Salix caprea* lokaliserade i sydvästra delen av området. Dessa är tydligt urskiljningsbara på flygbilder från 1998 och växer på en tomt där det tidigare varit skrotupplag (tomtbeteckning E 17, se bild 3). Den största trädindividen som uppmättes är *Prunus avium* med en diameter på ca 51 cm. I närheten av denna på samma tomt står en *Betula pendula* med en diameter på 50 cm och även dessa är möjligtvis synliga på ovan nämnda flygfoto. Även en individ av *Sorbus intermedia* med en diameter på 46 cm är möjligtvis synlig redan 1998. Under besöken har enbart en individ av barrträd hittats, *Pinus sylvestris*.



Bild 7. Pilar och björkar på området (Axel Marnung, 2024).

Träd som förekommer på området:

- *Salix spp* (*Salix caprea*, men kan även vara ytterligare arter då *Salix* kan vara svår att artbestämma)
- *Betula pendula*
- *Acer platanoides*
- *Alnus incana*
- *Prunus avium* (största 51 cm ø)
- *Populus tremula*
- *Sorbus intermedia* (största 46 cm ø)
- *Pinus sylvestris* (enbart en individ)
- *Fraxinus excelsior* (mindre individer, fåtal)
- *Quercus robur* (mindre individer, fåtal)
- *Populus ssp* (troligtvis *Populus nigra*, fåtal)

Buskskiktet domineras av pil och det är flera olika arter på området, mest nämnvärt *Salix viminalis* (bild 7). Det förekommer även mycket *Crataegus monogyna* och *Prunus spinosa*. Anmärkningsvärt bland buskarna är *Rhus typhina* som växer i sydvästra delen av området; möjligtvis tillkommit genom rotskott från intilliggande bostad.



Buskar:

- *Salix viminalis*
- *Hippophae rhamnoides* (bild 8)
- *Rosa canina*
- *Rosa rugosa* (en individ)
- *Crataegus monogyna*
- *Prunus spinosa*
- *Ligustrum vulgare* (troligtvis självsådd)
- *Rubus rubus*
- *Lonicera xylosteum*
- *Corylus avellana*
- *Mahonia aquifolium*
- *Rhus typhina*

Bild 8. Havtornsbuske som tränger igenom asfalt på Kvarnby upplagsområde (Axel Marnung, 2024).

Eftersom området till stor del består av hårdgjorda ytor och som en trolig konsekvens av föroreningar och kompaktering av marken består det mesta av den icke-hårdgjorda ytan av barmark. Fältskiktet består av olika arter gräs bla a *Calamagrostis epigeios*. På flera ställen återfinns även smultron och den invasiva *Solidago canadensis*.

Slutsatser av platsbesök är att *Salix* dominerar både träd- och buskskiktet. Flera andra träd återfinns på området som har en hög ålder men är fåtaliga. *Betula pendula* har helt klart också stor representation och är, precis som *Salix viminalis*, en tidig pionjärart vid naturlig revegetation. Resultatet visar på att *Salix* är en familj som klarar av de föroreningar som finns i marken på Kvarnby upplagsområde och tyder på att de skulle vara lämpliga kandidater för fyto Remediering på området.

3.7 Marksanering

De tre metoder som finns vid hantering av förorenad mark är enligt Trojanowska (2023) ersättning av förorenad jord genom att blanda den med en stor mängd ren jord ("utspädning"), borttagning av förorenad jord för att ersättas med ren jord ("gräv-och-dumpa") samt isolering och remediering. Behandlingen av den förorenade jorden kan ske ex situ eller in situ. Ex-situ-metoden kräver utgrävning, detoxifiering och avlägsnande av föroreningar kemiskt eller fysiskt. Den förorenade jorden grävs upp för behandling utanför platsen, behandlas och tas sedan tillbaka

eller tas till förvaring på deponier. Nackdelar generellt med ex situ-metoden är att de anses väldigt dyra, utgör risker vid transport och hantering av förorenad jord och anses inte vara en hållbar lösning. In situ-metoder anses mindre kostsamma och har mindre påverkan på ekosystemet. Drenning et al (2021) menar att i Sverige är sanering genom markutgrävning och deponering den vanligaste metoden eftersom den är snabb och effektiv. Det finns ett erkänt behov av innovation och utveckling där 78% av saneringsentreprenörerna i Sverige anger ett stort behov av alternativa saneringsmetoder för att förhindra översanering och överanvändning av ”gräv-och-dumpa”-metoden. Drenning et al (2022) menar att utgrävning är mycket energikrävande, kostsamt och ofta glöms den oåterkalleliga skada som borttagning av stora mängder jord kan orsaka för miljön och kan vara mer skadligt än föroreningarna själva.

Usman et al (2018) delar in de ”traditionella” reningsmetoderna som antingen biologiska, fysiska eller kemiska. Fysiska metoder innefattar exempelvis termisk rengöring där jorden hettas upp så olika kolväten förångas eller jordtvätt där de olika fraktionerna i marken fördelas och skrubbas maskinellt. Kemiska metoder involverar att spruta ner ämnen in sito eller ex sito i marken för att lösa upp föroreningarna i marken. Framför allt menar Usman et al (2018) på att både fysiska och kemiska metoder har en rad nackdelar, främst de höga ekonomiska kostnaderna och arbetsintensiteten. Kemiska metoder producerar även giftigt slam som behöver hanteras och de fysiska är väldigt energikrävande så dessa metoder anses ej vara hållbara. Trojanowska (2023) nämner tre biologiska metoder: mikrobiell remediering, zooremediering (maskar och larver) samt fyto remediering.

4. Fytoremediering

4.1 Definition och historik

Ordet fytoremediering ("phytoremediation"; amalgamord fr grekiska "phyto" = växt och latinska "remedio" = skapa balans) myntades av Rufus Chaney 1983 som ett samlat namn för de tekniker som växter använder för att ta upp föroreningar och oönskade ämnen i sin omgivning (Chaney, 1983). Ordet används även inom andra discipliner såsom naturläkemedels- och narkotikaindustrierna vilket kan leda till förvirring.

Vetskapen om att växter har möjlighet att påverka sin omgivning har funnits sedan människan urminnes tider (Tonelli, Bhat & Hakeem, 2022). Efter första världskriget görs bland de första upptäckterna inom området när det noteras att det finns växter som frodas på de gamla förgiftade slagfälten. På 1930-talet beskriver forskare växters förmåga att ta upp stora mängder selen ur jorden (Tonelli, Bhat & Hakeem, 2022). På 1970-talet omskrivs "hyperackumulatörer" för första gången, dvs växter som har en förmåga att växa i och uppta större mängd av (för andra växter) fytotoxiska ämnen i sin biomassa (Chaney, 1983). En förklaring till varför växterna utvecklat denna förmåga är att det ger ett skydd mot växtätare (Rascio & Navari-Izzo, 2011).

FRM är en biologisk in situ-metod och används med bästa utfall på områden med låga eller medelhöga halter av föroreningar (EPA, 2000). Det anses vara ett kostnadseffektivt och hållbart alternativ till andra metoder (EPA, 2000; Trojanowska, 2023). Kostnaderna som uppstår begränsas till inköp av växter, skötsel, gödsling och eventuellt avverkning och bortforsling av biomassa från området. Detta ställs ofta mot den betydligt mer invasiva metoden att gräva upp den förorenade jorden och forsla den till deponi. FRM gynnar även den biologiska mångfalden till skillnad från konventionella metoder. Graden av detta varierar beroende på växtval. Ibland kan ett FRM-system vara tillräckligt billigt för att det ska kunna installeras under överväganden och debatt om en permanent lösning och tas bort när en slutlig åtgärd genomförs. De tillfälliga ekosystemförändringarna, tillsammans med förbättrad estetik, stabilisering av jorden och nedbrytning av föroreningar gör att även tillfällig vegetation är värdefull (EPA, 2000). En annan fördel är att FRM kan fungera utan att ytterligare "störa" platsen, vilket anses vara av stor vikt för dess allmänna acceptans (Vangronsveld et al, 2009). Flera växter har även en god förmåga att ta upp och rena vatten från läkemedel (Kafle et al, 2022) kanske viktigast antibiotika och östrogen, en process som annars är både kostsam och komplicerad att uppnå med konventionella metoder.

Beroende på växtval och vilka föroreningar växterna har tagit upp är det fullt möjligt att använda den skördade biomassan under och efter

remedieringsprocessen; flera studier framhäver värdet av *Salix ssp.* som energigröda och att det med rätt teknik går att använda skördad biomassa från fytoremedieringsprojekt som exempelvis energigröda (Mleczek et al, 2010; Greger & Landberg, 2022). Vangronsveld et al (2009) tar upp möjligheten att använda aromatiska växter såsom *Lavandula angustifolia* och *Mentha piperita* då föroreningar inte förs över till oljan som går att utvinna från dessa örtväxter och dessa arter har en viss förmåga att rena föroreningar i marken. Danh et al (2009) beskriver hur *Vetiveria zizanioides*, en växt som globalt ofta används för FRM och stabilisering av jordar, kan användas som potentiell energigröda och för att utvinna eteriska oljor från biomassan.

Nackdelar med FRM är att det är en tidskrävande process (EPA, 2000; Tonelli et al, 2022; Vangronsveld et al, 2009). Det tar flera år för att nå resultat beroende på planta och föroreningar i marken, eller flera skördar för metoder vid användande av örtartade växter. Det går att påverka den här processen (Vangronsveld et al, 2009) med hjälp av ytterligare hjälpmedel som tillförs marken eller växterna, men jämfört med exempelvis ”gräv-och-dumpa” metoden rör det sig fortfarande om ett par år jämfört med möjligtvis ett par timmar. I Greger och Landbergs (2022) studie användes *Salix viminalis* för att rena ett tidigare skrotupplag; studien genomfördes över ett spann av 10 år under vilka det gick att se en minskning av upp till 73 % av mängden PAH i jorden, men redan efter första året gick det att påvisa påtagliga minskningar av nästan samtliga föroreningar.

En annan nackdel är att denna teknik inte är kapabel till fullständig avkontaminering eftersom den är begränsad till den växttillgängliga fraktionen av spårelementen. Detta är förmodligen inte en mycket stark begränsning eftersom förorenad jord måste rengöras till viss grad: för jordbruksjordar bör det vara till nivåer under tröskelvärdet och för industriella eller icke-bostadsjordar till lagstiftningsmässiga rengöringskriterier. Om syftet med remedieringen är att bara ta bort de spårelementfraktioner som är lättillgängliga för växter minskas också den tid som krävs för att göra marken brukbar betydligt från årtionden till endast några års tidsspann (Vangronsveld et al, 2009).

Många föroreningar är fytotoxiska även i små mängder och därför begränsas växtvalet till de växter som överlever även större halter av dessa föroreningar (EPA, 2000). Växtvalet begränsas även av ståndort och lagstiftning gällande invasiva växter och att särskild hänsyn måste tas till att inte använda potentiellt invasiva arter. I en studie (Misbahuddin & Fariduddin, 2002) beskriver författarna att *Pontederia crassipes* har en väldigt god förmåga att rena vatten från bla a arsenik på kort tid; *Pontederia crassipes* anses dock vara extremt invasiv och problematisk i de länder utanför tropiska Sydamerika den spridit sig till.

Beroende på vilka föroreningar som växterna tagit upp är det möjligt att det organiska materialet är för kontaminerat och behöver deponeras. *Helianthus annuus* har en väldigt god förmåga att ta upp cesium och uranium (EPA, 2000) och har

annat använts för FRM efter Tjernobyl-olyckan (Nakamura et al, 2021). Efter Fukushima-olyckan 2011 planterades därför stora mängder *Helianthus annuus* i strålningsskadade områden i Japan. Detta var i stor utsträckning på initiativ av privatpersoner. När resultaten sedan jämfördes visade det sig att i Japan hade det använts solrosarter som saknade förmågan att ta upp radioaktiva ämnen. Detta exempel belyser ytterligare två problem med FRM. Den mesta forskningen har gjorts och görs fortfarande till stor del in vitro och i vatten (EPA, 2000; Vangronsveld et al, 2009) i stället för in vivo och på förorenad mark. Detta gör att resultaten kan skilja sig signifikant gällande växters faktiska förmåga att ta upp föroreningar. Många studier på *Helianthus annuus* förmåga att ta upp radioaktiva ämnen är utförda i vatten och den har betydligt sämre förmåga att ta upp samma ämnen från marken (Nakamura et al, 2021). Det andra problemet som illustreras är att det kan skilja väldigt mycket mellan olika arter och t.o.m sorter i samma art i deras förmåga att ta upp föroreningar (EPA, 2000).

4.2 Tekniker

Fytoextraktion (eller fytoackumulering) innebär nyttjandet av växters naturliga förmåga att extrahera och ackumulera föroreningar ur marken in i växtens biomassa (EPA, 2000). Den här tekniken används med fördel på mark som är förorenad av oorganiska ämnen. Föroreningarna lagras i växtens blad, bark eller skott som sedan kan skördas eller samlas in för vidare hantering. Effektiviteten av denna teknik beror på biotillgängligheten av föroreningarna i rhizosfären, hur väl växten kan hantera den abiotiska stress som uppstår p.g.a ökande koncentration av föroreningar i växten, växtens förmåga att lagra stora mängder föroreningar, hastigheten genom vilken rötterna kan ta upp föroreningen och transportkapaciteten inom växtens biomassa (Tonelli et al, 2022). Vanligtvis används så kallade **hyperackumulatorer**, dvs växter som har en förmåga att ta upp och lagra höga halter av ämnen som annars är fytotoxiska, vid fytoextraktion, vanligtvis minst 1000 mikrogram per gram torrsvikt av växten (Rascio & Navari-Izzo, 2011; EPA, 2000). Som exempel kan nämnas *Calandula officinalis*, som har en förmåga att lagra halter av koppar över 4675 µg per g torrsvikt i sina blad (100–200 µg per g anses generellt potentiellt fytotoxiskt) (Tonelli et al, 2022). Bland de växter som anses som mest lämpade till FRM är dock flera av dem inte hyperackumulatorer utan är snarare användbara för att de har förmågan att bilda väldigt mycket biomassa på kort tid (EPA, 2000). Vangronsveld et al (2009) påpekar även att möjligheten till återvinning av spårelement genom fytoextraktion ger FRM ytterligare en fördel och ekonomiskt incitament då askan från vissa hyperackumulatorer består av betydande mängder spårelement (t ex 20–40% Zn för *Thlaspi caerulescens*).

Fytostabilisering innebär antingen att föroreningarna binds till marken, gör dem icke-bio-tillgängliga eller immobiliserar dem genom att växten tar upp och håller förorenat vatten. Vanligt är att växter som används till denna teknik lagrar stora mängder metaller i sitt rotsystem, exempelvis många träd. Även om dessa metaller ej går att avlägsna och växten inte kan skördas så förhindrar växtligheten att ämnena kommer i kontakt med andra livsformer (EPA, 2000).

Fytodegradering eller fytotransformation innebär att växten tar upp och omvandlar organiska föroreningar (till exempel PAH, kolväten, oljor, etc) till mindre farliga ämnen. Dessa ämnen används sedan av växten för tillväxt och andra metaboliska aktiviteter eller släpps ut ur biomassan. Växtens förmåga att ta upp ämnen påverkas av vilken växt det är, föroreningshalten i jorden och föroreningarnas vattenavstötande förmåga (Tonelli et al, 2022). Fytodegradering kan även ske som ett resultat av att växten utsöndrar ämnen (t ex enzymer) som bryter ner föroreningar i sin omgivning (EPA, 2000). Detta är fördelaktigt i jordar som helt eller delvis saknar mikroorganismer som annars hade varit nödvändiga i processen. Fytodegradering är mest lämplig för stora områden av jord som har ytlig förorening. EPA (2000) noterar att det undantagsvis finns risk för att andra, mer farliga ämnen bildas men att detta tillhör extremfallen.

En snarlik teknik som inkluderar användandet av mikroorganismer kallas **rhizodegradering**. Mikroorganismer i växters rhizosfär har en vital roll i kvävetets kretslopp redan, men det finns flertalet sorter som kan bryta ner och omvandla föroreningar till mer ofarliga ämnen. Dessa ämnen kan i sin tur stimulera tillväxt i biomassan på värdväxten eller på annat sätt optimera omvandlingen av föroreningar på annat sätt (Tonelli et al, 2022). Mikroorganismerna kan vara naturligt förekommande eller inokuleras i rhizosfären på växten. Denna teknik kallas även "växtassisterad bioremediering" då den kan användas som ett komplement till bioremediering och kan då användas in situ (EPA, 2000). Även den här tekniken kan leda till att andra oönskade ämnen bildas och mikroorganismerna kan även påverka marken på annat sätt, t ex påverka pH. I en studie (Cheng et al., 2019) såg författarna att *Hylotelephium spectabile* kunde förbättra sin förmåga att bryta ned petroleumprodukter upp till 14 gånger när mikroorganismerna *Alcanivorax* och *Bacteroidetes* var närvarande i rhizosfären. Detta berodde på att växten ökade antalet gener som behövs för att bryta ned dessa ämnen vilket gjorde processen mer effektiv.

Fytovolatilisering definieras av EPA (2000) som upptaget och transpirationen av föroreningar av en växt, med frisättning av föroreningarna eller en modifierad form av dessa till atmosfären från växtens biomassa genom föroreningens upptag, växtmetabolism och växttranspiration. Ämnen som släpps ut i atmosfären kan sedan brytas ner genom naturliga och mer effektiva metoder såsom fotodegradering (nedbrytning genom solljus). Beroende på förorening och växtval kan dessa ämnen vara mindre eller istället mer farliga än tidigare och därför anses den här tekniken

mer kontroversiell (Tonelli et al, 2022). Flyktiga organiska föreningar (VOC) har i flera studier (Zhou et al, 2023) visat sig orsaka ekologisk skada och vara bidragande faktor till flera livsstilsrelaterade sjukdomar hos människor. Viktigt är att påpeka att långt ifrån alla VOC är hälsofarliga och att de även är naturligt förekommande.

Inokulering av **arbuskulär mykorrhiza (AMF)** med växter har visat sig påskynda FRM-processen genom att förbättra växters förmåga att bilda biomassa och deras potential att ackumulera metaller samtidigt som markens fysikalisk-kemiska och biologiska egenskaper förbättras (Ying et al, 2022). AMF kan öka värdväxternas tillgång till viktiga näringsämnen, inklusive kväve, fosfor och andra mineraler vilket bidrar till växtens överlevnad och tillväxt i förorenade jordar där näringsämnen annars kan vara bristfälliga. Genom att bilda symbiotiska relationer med växtrötter kan AMF bidra till att öka växtens rotmassa och öka dess absorberande yta. Detta resulterar i ökad växttillväxt och biomassa, vilket i sin tur kan öka FRM-kapaciteten genom ökad upptagning och ackumulering av föreningar. De kan också bidra till att förbättra markstrukturen genom att bilda stabila aggregat och öka markens vattenhållande förmåga. Detta kan gynna växters tillväxt och överlevnad samtidigt som det minskar erosion. Ying et al (2022) pekar på studier som visar att växter som är koloniserade av AMF kan visa ökad tolerans mot föreningar. AMF-symbiosen kan hjälpa till att minska toxiska effekter av föreningar och förstärka fytodegraderings- och fytoackumuleringsprocesserna. Li et al (2023a) undersökte hur användningen av AMF påverkar förmågan hos *Salix viminalis* att remediera mark förorenad med PAH. Resultaten visade att AMF-inokulering bidrog till nedbrytningen av vissa PAH genom att organiska syror i växtens rotsystem ökade i närvaro av AMF och bidrog väsentligt till nedbrytningen av föreningarna i marken.

Det är vanligt med användande av olika hjälpmedel i remedieringen genom s.k bioaugmentering. På detta vis går det inte bara att skydda växterna från de potentiella effekterna av föroreningsstressen utan också öka effektiviteten av växtens FRM-potential (Vangronsveld et al, 2009). Kafle et al (2022) nämner jordförbättringsmedel som biokol, gödsling eller användandet av kelateringsmedel som etylendiamintetraättiksyra (EDTA). De främjar processen antingen genom att minska föroreningarnas toxicitet, öka biotillgängligheten av föroreningarna i marken eller främja växternas tillväxt. Användandet av kelateringsmedel är dock vanskligt; Vangronsveld et al (2009) varnar för att ämnen som just EDTA kan vara fytotoxiska och är ofta svåra ämnen för växter att bryta ner och kan därmed bli ytterligare ett förorenande ämne i marken. Biokol är en relativt ny produkt och används ofta till jordförbättring (Kafle et al, 2022) och har förmågan att ta upp och adsorbera förorenande ämnen. Dock gör det att de förorenande ämnena blir otillgängliga för växter att ta upp och omvandla och Kafle et al (2022) hänvisar till

studier som pekar på att det finns risk att biokol kan läcka ut föroreningar i marken under vissa förhållanden.

4.3 Utförande, kostnader och växtval

EPA (2000) beskriver de överväganden som de anser måste tas innan beslut om användande av fytoremediering: 1. Avgör om det finns evidens för att FRM skulle vara en effektiv metod utifrån markens föroreningsprofil. 2. Beräkna skötseln och vilka skyddsåtgärder som behövs under den tid det tar för växterna att etablera sig på platsen till en punkt där de innehåller/bryter ned de föroreningar som är av intresse. 3. Överväg om FRM sannolikt kommer att rena platsen inom en godtagbar tidsram. Det krävs en fullständig markanalys för att veta vilka föroreningar som finns i marken och vilka halter det rör sig om för att kunna bestämma vilka växter som kan vara lämpliga. När växter har valts är det viktigt att analyser av vilka risker som finns för människor och miljö genomförs och utvärderas.

Fördelarna med att använda FRM jämfört med övriga metoder är främst att det är ett betydligt mer ekonomiskt alternativ. Kostnaderna i FRM är främst kring anläggning- och planteringsfasen i utförandet och kostnaderna här styrs av växtval (EPA, 2000). Även själva skörden medför en del kostnader, men detta måste ställas mot eventuella fördelar detta medför: produktionen av värdefull biomassa kan bli en lönsam och självfinansierande markförvaltningsregim (Drenning et al, 2022). Detta måste ställas mot tiden som det tar att rena marken till önskad nivå. Vangronsveld et al (2009) menar att ett FRM-arbete inte bör pågå längre än 10 år för att kunna anses vara ekonomiskt lönsamt jämfört med andra remedieringsmetoder. Detta är dock baserat på uträkningar gällande mark i urbana miljöer där marken antas stiga i värde.

Kostnaderna måste också ställas mot vad marken kommer att användas till efter remedieringen, hur pass attraktiv marken är och framför allt hur attraktiv den kommer att bli efter. FRM kan med fördel integreras i stadsplanering och landskapsdesign eftersom revegetationsprocessen av en förorenad plats kan ge öppna grönområden med många användningsområden och ekosystemtjänster speciellt i urbana miljöer (Drenning et al, 2022).

Ytterligare fördel med FRM är att markstrukturen bevaras (EPA, 2000). Till skillnad från traditionella metoder förblir strukturen i stort sett intakt under FRM-processen. Genom att låta växterna naturligt bearbeta och rena marken behålls dess naturliga struktur och sammansättning i högre grad. Detta är viktigt för att bevara jordens bördighet och för att minimera störningar av ekosystemet i det omgivande området. Vid lyckad applicering av FRM kan dessutom markstrukturen förbättras och få bättre bördighet (Kafle et al, 2022).

Tonelli et al (2022) menar att växter som anses vara bra kandidater för att utföra FRM generellt sett har egenskaper såsom djupa rötter, snabb tillväxt och hög

produktion av biomassa för att kunna koncentrera föroreningarna i. De är kapabla att lagra ett brett spektrum av föroreningar som metaller i biomassan ovan jord och erbjuder ett rotsystem som interagerar med levande organismer för att öka utsöndringen i rhizosfären för nedbrytning av föroreningar. Vangronsveld et al (2009) beskriver den idealiska växten för FRM bör ha följande egenskaper: tolerans mot de ackumulerade koncentrationerna av föroreningar, snabb tillväxt och högeffektiv ackumulering av spårelement i biomassa (fordelaktigt ovan jord), ett djupt rotsystem och ska vara enkel att skörda. Kafle et al (2022) utvecklar detta vidare med att växten bör vara ”robust”, vara lättodlad med okomplicerad förökning och inte vara attraktiv för herbivorer. Fördelen med att använda växter som ackumulerar metaller ovan jord i stället för i rotsystemet är att dessa är enklare att skörda/avverka och därmed mer lättskötta.

Området är i dagsläget inhägnat men det finns flera stora hål där djur och människor kan ta sig in på området. Om detta åtgärdades skulle det gå att använda växtlighet som annars löper risk för att attrahera ex rådjur. Beroende på växtval kan dessa vara mer eller mindre skötselkrävande; åreuller och perenner behöver vattnas och gödslas regelbundet för att ha god tillväxt för att sedan skördas mot hösten och forslas från platsen, möjligtvis skulle biomassan kunna användas som exempelvis biobränsle. Lignoser behöver även dem skötsel och möjligtvis bevattning men detta begränsas troligtvis till mer intensiv skötsel och möjligtvis återplantering i början till att sedan krävas vid ett par tillfällen per år. Skörd och avverkning sker beroende på växtval efter ett par år eller fler och biomassan tas bort från området. Vid användning av åreuller behöver det årligen eller tills önskad effekt uppnås köpas in nya fröer för nästa skörd.

5. Fytoremediering på Kvarnby upplagsområde

Perenner har en livscykel som sträcker sig över flera år. Annueller har en kortare livscykel och behöver planteras om årligen. Lignoser är vedartade växter som inkluderar träd och buskar och de har en livscykel som sträcker sig över många år. Valet av växttyp bör baseras på den förväntade tidslinjen för FRM-projektet. Annueller tenderar att ha en snabbare tillväxt och etablering jämfört med perenner och lignoser. För kortare projekt kan annueller vara ett bättre alternativ (EPA, 2000). Å andra sidan kan perenner och lignoser ta längre tid att etablera sig men kan vara mer hållbara på lång sikt (Vangronsveld et al, 2009). Vid val av växttyp är det också viktigt att beakta växtens tolerans mot markförhållanden som jordtyp, pH-nivåer, fuktighet och exponering för solljus. Vissa perenner, annueller och lignoser kan vara mer lämpade för vissa miljöförhållanden och marktyper.

Som tidigare nämnts är jordar med blandade föroreningar (metaller, skrot och oljor) svåra att remediera oavsett vald metod då oljeföroreningar kan bilda komplexa kemiska föreningar med metallföroreningar, vilket kan göra dem svårare att avlägsna eller bryta ned separat. Dessa interaktioner kan också försvåra effektiviteten av de reningstekniker som används (EPA, 2000). Zink och koppar har i sig själva en stark toxisk effekt på växlighet och mikroorganismer och därför bör växtvalet falla på plantor som klarar höga värden av dessa ämnen. Eftersom nästan samtliga föroreningarna befinner sig i de översta 0 – 100 cm och att det inte finns alltför stor oro för urlakning eller att föroreningarna ska röra på sig är det rimligt att använda växter som kan extrahera de förorenande mineralerna och omvandla de olika kolvätena till mindre miljö- och hälsofarliga ämnen.

Nedan följer ett antal annueller (se tabell 1.1) och perenner (se tabell 1.2) som skulle kunna vara intressanta för FRM av Kvarnby upplagsområde. Växtförslagen är hämtade från litteraturen och behandlas närmare i kommande delar. De flesta växter som används inom FRM av xenobiotika är grödor eller ogräs som valts ut genom agronomiska metoder (Vangronsveld et al, 2009) vilket förklarar den stora andelen klassiska jordbruksväxter.

Tabell 1 Annueller föreslagna att använda vid FRM

<i>Vetenskapligt namn och trivialnamn</i>	<i>Föroreningar växten tar upp</i>
<i>Brassica juncea</i> (sareptasenap)	Pb, Cd, Cu, Se, Mn, Zn
<i>Brassica napus</i> (raps)	Cd, Cu, Mn, Se, Pb, Cr, Cu, Zn
<i>Hordeum vulgare</i> (korn) & <i>Hordeum murinum</i> (vildkorn)	TPH (Total petroleum hydrocarbons)
<i>Glycine max</i> (sojaböna)	TPH (Total petroleum hydrocarbons)

<i>Linum usitatissimum</i> (lin)	TPH (Total petroleum hydrocarbons)
<i>Sorghum bicolor</i> (durra)	Zn, CD, Pb, Cr, TPH (Total petroleum hydrocarbons)
<i>Zea mays</i> (majs)	Kolväten, bensin, Pb, Zn

Tabell 2 Perenner föreslagna att använda vid FRM

<i>Vetenskapligt namn och trivialnamn</i>	<i>Föroreningar växten tar upp</i>
<i>Carex hirta</i> (grusstarr)	Pb, Cd, Mn, Cu, Zn
<i>Chrysopogon zizanioides</i> (vetivergräs)	Al, B, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb, S, Se, Tl, V, Zn
<i>Helianthus tuberosus</i> (jordärtskocka)	Oljeförorenad jord, TPH (Total petroleum hydrocarbons)
<i>Lolium perenne</i> (engelskt rajgräs)	TPH (Total petroleum hydrocarbons)
<i>Miscanthus x giganteus</i> (elefantmiskantus)	Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn
<i>Panicum virgatum</i> (jungfruhirs)	Pb, Cd, Cu, Zn, Co, Hg, Ni

Ett nytt forskningsområde med lovande möjligheter är att kombinera FRM med fotovoltaisk energiproduktion: i samtal med Hansen (2024) framkommer det att det finns eventuella planer att göra om området till solcellspark. ”Jordbruksvoltaik” innebär användningen av solpaneler ovanför grödor på åkermark för att generera elektricitet samtidigt som jordbruksgrödor växer under (Li et al, 2023b). Solpanelerna minskar intensiteten av solstrålning som når marken vilket leder till lägre temperaturer samt minskade avdunstnings- och transpirationshastigheter, något som ger större fördelar när tekniken appliceras i varmare klimat. Li et al (2023b) undersökte i en treårig fältstudie om det var möjligt att använda hyperackumulatören *Sedum plumbizincicola* i en solcellspark. Växtens förmåga att ta upp zink och kadmium uppmättes och trots att skuggning från solcellspanelerna minskade den årliga solstrålningen med 58,4% visade detta ingen hämmande effekt på tillväxt eller metallupptag på växtligheten. Jordanalys visade på minskningar i halterna av kadmium på 60,5% och zink 30,6% efter tre säsonger. Forskarna drog slutsatsen att kombinera FRM med solceller kan generera goda ekonomiska resultat och producera betydande miljöfördelar.

Lignoser

Mest lovande resultat för lyckad FRM visar ändå lignoser på eftersom de besitter flera av de egenskaper som tidigare har lagts fram som önskvärda. Lignoser, särskilt träd, har vanligtvis djupa och omfattande rotsystem som möjliggör effektiv absorption av föroreningar från marken även på djupet. Träd och buskar tenderar att producera större mängder biomassa jämfört med mindre växter som perenner och annueller. Detta innebär att de kan ackumulera och lagra en större mängd



föroreningar i sina vävnader. Lignoser har längre livscykel vilket gör dem lämpliga för FRM i marker med blandade föroreningar där det kan ta lång tid att uppnå önskad renhetsnivå och där det finns tid avsatt till det. Lignoser bidrar även i högre grad till att stabilisera marken och minska erosion än många perenner, vilket är viktigt för att bevara markens struktur och förhindra spridning av föroreningar till omgivande områden (EPA, 2000).

En lignos som verkligen sticker ut i litteraturen är just *Salix spp*, pilsläktet. *Salix spp*. består av ca 450 arter (Wani et al, 2020) och förekommer naturligt över hela världen utom Antarktis och Australien men främst på norra halvklotet. Greger och Landberg, (2022) skriver att de växter som används inom FRM bör vara inhemska för att säkerställa att de trivs i det aktuella klimatet och för att undvika introduktion av främmande potentiellt invasiva arter och bara i Sverige finns det 36 arter *Salix*. Mleczek et al (2010) menar att ca 20% av alla *Salix*-arter har egenskaper som är användbara för FRM. De främsta egenskaperna inkluderar hög produktion av biomassa, enkel anpassning till nya miljöförhållanden, relativt hög motståndskraft mot föroreningar i jorden samt selektiv ackumulering av föroreningar mellan olika arter och sorter. Den ökande globala efterfrågan på energigrödor gör också pil mer intressant än andra, mer långsamväxande lignoser (bild 9). Flera *Salix*-arter har visat sig vara effektiva på att ta upp både organiska och oorganiska föroreningar, till och med explosiva ämnen som TNT (EPA, 2000). Det finns en stor variation mellan olika *Salix*-kloner i deras metallackumulering beroende på och mängden metaller som är tillgängliga i jorden. Både in vitro- och in vivo-studier visar på att *Salix* är mycket användbart till FRM. Även om *Salix* inte är en hyperackumulatorväxt kan många kloner växa snabbt även i kraftigt förorenade jordar. Effektiviteten av FRM med *Salix* i förorenade områden beror bland annat på art eller sort, jordförhållanden och växtens ålder (Mleczek et al, 2010; Greger & Landberg, 2022).



Bild 9. *Salix viminalis* från en energiskog (Adobe Stock, användare larauhyn, 2024).

Greger och Landberg (2022) undersökte i en studie *Salix viminalis* förmåga att minska nivåerna av föroreningar i marken på en tidigare verkstadsplats. Området planterades med 20 cm långa sticklingar från två olika kloner 2003 och jordprover samlades in årligen från 2005 till 2015. Resultaten visade att efter 10 år hade 61 - 63% av all Cu, Pb och Zn samt upp till 73% PAH avlägsnats ur jorden, men redan efter ett år observerades en betydande minskning av de flesta föroreningarna i jorden. Minskningen av föroreningar var inledningsvis linjär men bromsade upp efter några år. Det minskade upptaget kan bero på minskning av mängden mikrobiota i marken, föroreningarna når en utarmningszon för borttagning eller att tillväxten av biomassa avtar på grund av brist på näringsämnen. Slutsatsen var att *Salix viminalis* hade god förmåga att rena mark från föroreningar av både organisk och oorganisk natur förutsatt att det gavs tillräckligt tid. Värt att notera är att inget av det organiska materialet skördades under tiden studien utfördes och det inte heller användes några andra bioaugmentationer såsom inympad mykorrhiza.

Mleczek et al (2010) undersökte utvalda *Salix*-kloners kapacitet för biomassaproduktion och ackumulering av förorenande metaller. Åtta *Salix viminalis*-kultivarer och en *Salix alba*-kultivar analyserades och jämfördes. Störst biomassaproduktion var *S. alba* var. *Chermesina* och *S. viminalis* '1056' (respektive 6,8 och 4,3 kg färsk massa per buske per år). Resultaten visade betydande skillnader mellan kloner och arter. De kloner som var mest effektiva på att ackumulera metaller var *Salix viminalis* '1154' och '1054'. Studien pekar på att *Salix* är väl lämpat för FRM av metallföroreningar men att det skiljer åt mellan kloner inom

samma art vad gäller upptagningsförmåga och att det därför är viktigt att välja arter och kloner utifrån markens föroreningsprofil.

Företaget Bioremed AB driver ett projekt tillsammans med Älvkarleby kommun för att rena en gammal deponi på 3,6 ha, från föroreningar med hjälp av *Salix viminalis* (Ramstedt, 2024). Arbetet finansieras delvis genom EU:s Life-program. 25 000 salixplantor planterades i juni 2019 på och i anslutning till deponin och bevattnas med lakvatten som tas upp från deponin med hjälp av ett pumpsystem. Lakvatten från deponier med blandat innehåll är ett stort problem för reningsverk och mycket av fokus på arbetet ligger på *Salix viminalis* förmåga att ta upp PFAS, en organisk förorening. Framför allt menar Ramstedt (2024) att fördelarna med användning av salix till FRM är att den har en hög vattenkonsumtion vilket gör att plantan har lätt att ta upp vattenlösliga föroreningar, den har hög tolerans för föroreningar och att salix interagerar väl med mikroorganismer i marken. Det beräknade upptaget av metaller i marken i gram per hektar och år är för bly 48, koppar 83 och zink 1840. 2021 skördades för första gången biomassa och flisades på platsen för vidare transport till värmeverk för förbränning. Rökgaserna renas från föroreningar genom elektriska filter. De flesta organiska föroreningarna förbränns och askan som blir kvar tas om hand. Kommande skördar beräknas ske med intervall på tre år (Bioremed AB, 2021)

Flera saker pekar på att *Salix* skulle vara lämpligt växtval för Kvarnby upplagsområde:

- Den förekommer redan på hela området naturligt vilket visar på dess härdighet. Det finns flera pilar på området som har vuxit där en längre tid, kanske upp till 25 år eller längre och har god vitalitet.
- Flera *Salix*-arter är naturligt förekommande i Sverige alltså används inte någon potentiellt invasiv växt (Greger & Landberg, 2022).
- Den har i flera studier visat ha god förmåga att ta upp föroreningar ur marken (Greger & Landberg, 2022; Mleczek et al, 2010).
- Den har väldigt god livskraft och tillväxt av biomassa som efter skörd kan användas som energigröda exempelvis. (Mleczek et al, 2010; Ramstedt, 2024).
- *Salix* är billig att etablera, det räcker med att gräva ner en kort stickling i marken under rätt förutsättningar så kommer det en ny, genetisk kopia av ursprungsplantan. Pilar är även relativt skötsel fria. (Greger & Landberg, 2022).
- Pilen har ett kulturhistoriskt värde och lång användningstradition i Skåne (Axelsson Linkowski & Svensson, 2009).

Nackdelarna är att pilträd är kända för att ha ett förhållandevis högt vattenbehov och tenderar att trivas i fuktig mark. Kvarnby upplagsområdes lutning tillsammans med att marken har låg genomsläpplighet punktvis och är kompakterad gör att avrinningen troligtvis är hög. Under etableringsfasen kommer det troligtvis att

behövas regelbunden bevattning av träden utöver ogräsrensning och annan skötsel. Detta skulle kunna avhjälpas om t ex en fördröjningsdamm anlades: dagvatten skulle tas om hand på området för att kunna användas till bevattning. Eventuella läckage och urlakning av föroreningar skulle begränsas till området och dammen skulle även den kunna innehålla renande växter, såsom *Typha angustifolia* som är flitigt använd vid rening av vatten (Kafle et al, 2022).

Poppel-träd är en vanligt förekommande lignos inom FRM (EPA, 2000). Dessa träd har en hög biomassaproduktion, omfattande rötter och enkel förökning (Guerra et al, 2011). Även *Populus spp.* används som energigröda eftersom den producerar mycket biomassa på kort tid. Träden har sitt ursprung på norra halvklotet och finns naturligt i Sverige. Kafle et al (2022) beskriver studier där *Populus spp* visat sig ha god förmåga att ta upp både organiska och oorganiska föroreningar, framför allt *Populus deltoides* och olika hybridaspår, exempelvis *Populus x canadensis*. Guerra et al (2011) beskriver hur *Populus spp* har en god förmåga att ta upp och lagra koppar och zink. EPA (2000) listar studier som har visat att poppelträd har en god förmåga att bryta ned olika sprängmedel och trikloreten. Förutom poppelträdens goda förmåga att ta upp koppar och zink samt dess höga produktion av biomassa har den dock inte fler önskvärda egenskaper som skulle göra den till en bättre kandidat för FRM än *Salix*, framför allt på grund av den har längre tillväxttid (Kafle et al, 2022).

6. Diskussion

Hur problemen kring Kvarnby upplagsområde uppstod är enkla att se. I områdets barndom fanns inte den miljömedvetenhet som finns idag och mark var något som det fanns gott om. Att olja gick att hålla rakt på marken var lika självklart som att hålla bly i bensinen. Efterhand som medvetenheten ökade ställdes större krav på branschen. Marken skulle vara hårdgjord och hälsofarliga ämnen behövde hanteras på annan plats. Bilbatterier och annat farligt material fick inte förvaras under öppen himmel och därför behövde arrendatorerna bygga på sina tomter. Detta gjorde att det gick att skymma verksamheten för utomstående och flera arrendatorer var inte medvetna om eller villiga att följa rådande lagstiftning. Avtal om hyror av tomter på området bytte oreglerat händer och det var oklart om vem som egentligen var ansvarig för en enskild tomt på området. Det gick inte att lägga skulden på en enskild individ för begångna brott och fel eftersom denne kunde skylla på någon annan. Området betraktades som allmänt laglöst och myndigheterna i Malmö fattade till slut beslut om att området skulle stängas (Hansen, 2024).

Området har klart en intressant historia, mycket av detta finns bevarat i pärmar på Fastighets- och gatukontoret på stadshuset i Malmö. Det vore av framför allt historiskt- och samhällsintresse att sammanställa den informationen som finns och de historier som finns att berätta från människor som var verksamma på området under dess ”glanstid”.

Mätningar på olika delar av Kvarnby upplagsområde uppvisar att det finns en stor skillnad i föroreningsprofilen mellan olika tomter på området beroende på vilken form av verksamhet som bedrivits på respektive plats (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2007). Framför allt finns de värsta föroreningarna på tomter som hyst bilskrotor och det finns troligtvis stora skillnader även mellan individuella tomter (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2011). Att området är uppdelat i olika tomter underlättar framtida provtagning och insatsåtgärder då det går att göra grova uppskattningar om var föroreningarna finns baserat på tidigare användning. Detta i sin tur gör att olika punktinsatser kan sättas in på olika tomter; mer tidskrävande insatser på områden där halterna är högre medan mer kortfristiga på mindre förorenade. Delar av området är möjligtvis också så pass ”rent” att det inte behövs göras större insatser (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2011) och delar av området skulle då kunna fortsätta att användas som uppställningsområde för FGK.

Förekomsten av *Salix* på området i dess nuvarande skick och studier kring växtens förmåga att ta upp föroreningar i marken visar på att det är ett passande växtval för området (Greger & Landberg, 2022; Mleczek et al, 2010). Släktet visar på stora skillnader i vilka föroreningar de kan ta upp och omvandla och därför går det även där att anpassa växtvalet utifrån föroreningarna på platsen. Framför allt borde den användas på de mest förorenade ytorna. Förslagsvis planteras fem till sex

sticklingar per kvadratmeter av lämpliga kloner av *Salix viminalis*. Eftersom pil har kraftig tillväxt räcker det med sticklingar på ca 20 cm som mer eller mindre bara behöver stickas ner i marken för hand. Bevattning och ogräsrensning bör göras de första två åren medans plantorna etablerar sig på platsen. Markprover bör tas med ca ett års mellanrum för att studera upptagningsförmågan de första åren. Skörd kan ske redan efter två år och biomassan kan användas som energigröda och därigenom generera inkomst. Vidare skulle det vara behjälpligt att använda lämpliga AMF-inokulationer som skulle kunna påskynda processen ytterligare (Kafle et al, 2022).

Bild 10 är ett väldigt förenklat förslag på hur området skulle kunna utformas. Förslaget förutsätter att befintliga hårdgjorda ytor avlägsnas. Befintliga vägar behålls för att underlätta skötsel och arbete på området. I väster anläggs en damm för att ta vara på regnvatten som kan användas till bevattning. I denna planteras växter för att öka föroreningsupptaget och rena vatten som lämnar området. En yta som kan användas för uppställning och förvaring åt FGK lämnas orörd, troligtvis är föroreningsnivåerna här mindre eftersom marken använts som uppställningsplats för byggmaterial tidigare. På resterande ytor planteras *Salix viminalis*.



Bild 10. Utformningsförslag (ursprungsbild från Lantmäteriet, 2024)

Senast det togs prover på området var 2007 och 2010 (PQ Geoteknik & Miljö AB, 2011). Erik Palmqvist (2024) menar på att dessa halter troligtvis inte har förändrats avsevärt sedan dess. Det skulle ändå vara intressant att jämföra nya markprover med de prover som tagits tidigare, särskilt på tidigare provplatser där det numera växer *Salix*. Detta skulle kunna jämföras med prover på själva växtligheten på

platsen för att kunna bedöma hur mycket växterna har tagit upp och då kunna sammanställa en prognos för hur lång tid det ungefärligt skulle ta att rena marken. Under mitten av perioden då arbetet sammanställdes erhöles ett erbjudande om kostnadsfri provtagning, dock fanns det inte tillräckligt med tid för att utnyttja detta erbjudande under arbetets genomförande. För att genomföra en sådan provtagning behövs planering och möjligheter att jämföra med träd och markytor som inte är förorenade men som har likvärdiga träd och liknande markstruktur och detta bedömdes som genomförbart under tidsspannet som fanns till att genomföra arbetet.

Området ligger ganska avsides i Malmö och värdet på marken är därför troligtvis inte högt jämfört med mer centralt belägna tomter. Det är troligtvis en av förklaringarna till varför marken inte har exploaterats tidigare. Förutsatt ett lyckat genomförande av fyto Remediering på området: vad kommer att ske på platsen i framtiden? Malmö stad har planerat att stycka av och bygga bostäder på en mindre del av området medan den största delen av området skulle säljas till närliggande golfklubb. Detta skulle göra att området med dess historia helt försvann, något som går att diskutera huruvida det är önskvärt eller ej.

En annan möjlighet som visar potential men kräver mer forskning är möjligheten att kombinera solceller med FRM. I Li et al studie (2023b) användes *Sedum plumbizincicola* för att ta upp kadmium och zink vilket gav lovande resultat. Framtida forskning som skulle vara intressant är om det finns möjligheter att kombinera solceller och mer lågväxande *Salix*-arter för FRM. Detta skulle öppna många möjligheter och göra FRM som ett ännu mer ekonomiskt och hållbart alternativ för Remediering av förorenade ytor.

Exemplet med odling av solrosor efter Fukushima-katastrofen (Nakamura et al, 2021) visar på att det finns stora skillnader även mellan olika sorter inom arter av samma växt. Populärvetenskapen har troligtvis haft påverkan i just det här fallet; en sökning på nätet säger att solrosor är utmärkta vid Remediering av strålningsskadad mark men de populärvetenskapliga artiklarna och bloggarna som dyker upp går inte in på detaljer kring växtvalet. Det kan finnas stora skillnader i kunskap om grundläggande botanik och eftersom fyto Remediering framhävs som ett billigt och enkelt sätt att rengöra mark är det även behjälpligt för privatpersoner.

I flera artiklar som använts i arbetet (Apori et al, 2018; Tonelli, Bhat & Hakeem, 2022; Kafle et al, 2022) nämns biokol ofta som ett bra bioaugmentationsverktyg. Biokol är ett relativt nytt ämne och det används flitigt som jordförbättringsmedel. Dess förmåga att absorbera farliga ämnen känns vanskelig då den gör markföroreningarna otillgängliga för växtupptag och att det finns risk för läckage. Det krävs att det finns medvetenhet om detta vid användning av biokol och att den används på ett korrekt sätt. Är syftet att stabilisera föroreningarna i marken eller är syftet att de ska tas upp/omvandlas av växter och mikroorganismer?

7. Slutsats

Den blandade föroreningsprofil som finns på Kvarnby upplagsområde innebär en utmaning för remedieringsprojekt. FRM är ett hållbart och ekonomiskt alternativ till andra remedieringsmetoder. Det är en tidskrävande metod som begränsas av växtval och markens föroreningsprofil men med bioaugmentering kan detta tidsspann kortas ner. Det går att anpassa växtval för olika platser beroende på vilka föroreningar som finns i marken och det finns även skillnader mellan olika sorter av samma art i deras upptagningsförmåga. Den stora mängden *Salix* som växer på Kvarnby upplagsområde i dagsläget (bild 10) talar för att det är ett lämpligt växtval för FRM av området. Fördelarna med att använda *Salix* är dess goda förmåga att ackumulera föroreningar och att den går att skörda för användning som energigröda.



Bild 10. Salix på Kvarnby (Axel Marnung, 2024).

Referenser

- Angrand, R.C., Collins, G., Landrigan, P.J., Valerie, T. (2022) Relation of blood lead levels and lead in gasoline: an updated systematic review. *Environ Health*. Vol 21. (<https://doi.org/10.1186/s12940-022-00936-x>).
- Apori, O., Hanyabui, E., Asiamah, J. (2018). Remediation Technology for Copper Contaminated Soil: A Review, *Asian Soil Research Journal* Vol 3, sid 1-7 (https://www.researchgate.net/publication/328803612_Remediation_Technology_for_copper_contaminated_soil_A_review).
- Axelsson Linkowski, W., Svensson, R. (2009). Träd och buskar i jordbrukslandskapet: värden och hot – en litteraturgenomgång. CBM:s skriftserie, Centrum för biologisk mångfald. Vol 24. (<https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/cbm/dokument/publikationer-cbm/cbm-skriftserie/skrift24.pdf>).
- Bioremed AB (2024) Presentation Fytosanering Inspirationsdagarna, skickat från Mauritz Ramstedt på Bioremed AB 2024-02-14. (www.bioremed.eu). I författarens ägo.
- Chaney, R.L. (1983) Plant Uptake of Inorganic Waste Constituents. In: Parr, J.F., Marsh, P.B. and Kla, J.M., Eds., *Land Treatment of Hazardous Wastes*, Noyes Data Corporation, Park Ridge, 50-76.
- Cheng, L., Zhou, Q., Yu, B., (2019). Responses and roles of roots, microbes, and degrading genes in rhizosphere during phytoremediation of petroleum hydrocarbons contaminated soil. *Int. J. Phytoremed.* Vol 21. (<https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1612841>).
- Choi, H., Harrison, R., Komulainen, H. (2010) Polycyclic aromatic hydrocarbons. WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. World Health Organization. Geneve. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138709/>)
- Danh, L., Truong, P., Mammucari, R., Tran, T., Foster, N. (2009) Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides*: A choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. *Int. J. Phytoremed.* Vol 11, sid 664-691. (<https://doi.org/10.1080/15226510902787302>).
- Drenning, P., Chowdhury, S., Volchko, Y., Rosén, L., Andersson-Sköld, Y., Norrman, J. (2022) A risk management framework for Gentle Remediation Options (GRO), *Science of The Total Environment*, Vol 802, art nmr 149880. (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149880>).

- Guerra, F., Gainza-Cortés, F., Pérez-Castro, R., Zamudio, F. (2011) Phytoremediation of heavy metals using poplars (*Populus* Spp.): A glimpse of the plant responses to Copper, Cadmium and Zinc stress. Handbook of Phytoremediation, Nova Science Publishers. Vol 1 kap 11.
(https://www.researchgate.net/publication/230059005_Phytoremediation_of_heavy_metals_using_poplars_Populus_Spp_A_glimpse_of_the_plant_responses_to_Copper_Cadmium_and_Zinc_stress)
- Guarino, F., Improta, G., Triassi, M., Ciatelli, A, Castiglione, S. (2020) Effects of Zinc Pollution and Compost Amendment on the Root Microbiome of a Metal Tolerant Poplar Clone, *Frontiers in Microbiology*, Vol 11.
(<https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2020.01677>).
- Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A., Aryal, N. (2022) Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents, *Environmental Advances*, Vol 8.
(<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100203>).
- Kemikalieinspektionen (2022) Miljökvalitetsmålet Gifrfri miljö - Fördjupad utvärdering av miljömålen 2023. Sundbyberg; Kemikalieinspektionen. Rapport 3/22.
(<https://www.kemi.se/publikationer/rapporter/2022/rapport-3-22-fordjupad-utvardering-av-miljokvalitetsmalet-gifrfri-miljo>).
- Klug, M., Markovetz, A. (1971) Utilization of Aliphatic Hydrocarbons by Microorganisms. *Advances in Microbial Physiology*, Academic Press, Vol 5, sid 1-43.
([https://doi.org/10.1016/S0065-2911\(08\)60404-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2911(08)60404-X)).
- Landberg, T., Greger, M. (2022) Phytoremediation Using Willow in Industrial Contaminated Soil. *Sustainability*. Vol 14, art nmr 8449.
(<https://doi.org/10.3390/su14148449>).
- Li, X., Kang, X., Zou, J., Yin, J., Wang, Y., Li, A., Ma, X. (2023a) Allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi promote *Salix viminalis* L.–mediated phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons characterized by increasing the release of organic acids and enzymes in soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol 249, art nmr 114461.
(<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114461>).
- Li, X., Sun, X., Zhou, J., Wu, L., Bi, D., Zhao, J., Zhu, R., Christie, P. (2023b) Sustainable phytoextraction of metal-polluted agricultural land used for commercial photovoltaic power generation, *Journal of Cleaner Production*, Vol 391, art nmr 136093. (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136093>).

- Länsstyrelsen Skåne (2024) EBH-kartan, objekt-ID 171040. Geoportalen. (<https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=ed0d3fde3cc9479f9688c2b2969fd38c>). [Hämtad: 2024-02-13].
- Malmö stad Fastighetskontoret (2002) Kvarnby upplag samverkansmöte nr. 3 2002-10-24. Kopia av original från Fastighets- och gatukontoret, Malmö stad. I författarens ägo.
- Marchand, C., Kaczala, F., Jani, Y., Hogland, W. (2017) Phytoremediation of petroleum hydrocarbons contaminated soils with alfalfa (*Medicago sativa*). *Linnaeus Eco-Tech.* (<https://doi.org/10.15626/Eco-Tech.2014.058>).
- Misbahuddin, M., Fariduddin, A. (2002) Water hyacinth removes arsenic from arsenic-contaminated drinking water. *Arch Environ Health.* Nov-Dec; Vol 6. (<https://doi.org/10.1080/00039890209602082>).
- Mleczek, M., Rutkowski, P., Rissmann, I., Kaczmarek, Z., Golinski, P., Szentner, K., Strażyńska, K., Stachowiak, A. (2010) Biomass productivity and phytoremediation potential of *Salix alba* and *Salix viminalis*. *Biomass & Bioenergy - BIOMASS BIOENERG.* Vol 34, sid 1410-1418. (<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.04.012>).
- Nakamura, T., Lloyd, S., Maruyama, A., Masuda, S. (2021) Public Reaction to Disaster Reconstruction Policy: Case Studies of the Fukushima and Chernobyl Nuclear Accidents. *J. Disaster Res.*, Vol 16 nmr.8 sid. 1207-1233. (<https://doi.org/10.20965/jdr.2021.p1207>).
- Naturvårdsverket (2009). Riktvärden för förorenad mark: Modellbeskrivning och vägledning. Rapport 5976. Stockholm. (<https://www.naturvardsverket.se/4ac260/globalassets/media/publikationer-pdf/5900/978-91-620-5976-7.pdf>).
- Naturvårdsverket (2017) Utsläpp i siffror – Metaller. Naturvårdsverket. (<https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/sv/Amnen/Tungmetaller/>) [Hämtad 2024-02-30].
- Naturvårdsverket (2023) Miljökvalitetsmålet Giftfri miljö. Sveriges miljömål. (<https://www.sverigesmiljomal.se/>) [Hämtad 2024-02-20].
- PQ Geoteknik & Miljö AB (2007). Rapport: Sammanfattning Markföroreningar inom Husie upplagsområde Kvarnbyvägen Malmö, Eslöv, PQ Geoteknik & Miljö AB och Golder Associates AB.

- PQ Geoteknik & Miljö AB (2011). PM Riskbaserad åtgärdsplan, miljöteknisk utredning: Malmö, Husie upplagsområde, f.d. Kvarnby bilskrot, Lomma, PQ Geoteknik & Miljö AB och Structor Miljö Göteborg AB.
- Plum, L M., Rink, L., Haase, H. (2010) The essential toxin: impact of zinc on human health. *Int J Environ Res Public Health*. Vol 7, kap 4. (<https://doi.org/10.3390/ijerph7041342>).
- Rascio, N., Navari-Izzo, F. (2011) Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting?. *Plant Science*, Vol 180 utgåva 2 sid 169-181. (<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>).
- SGF - Sverige geotekniska förening (2023) Åtgärdsportalen. Föreningar – Alifater. <https://atgardsportalen.se/foreningar/alifater> [Hämtad 2024-02-24].
- Tonelli, F., Bhat, R., Dar, G., Hakeem, K. (2022), *Phytoremediation: Biotechnological Strategies for Promoting Invigorating Environs*, Chapter 1 - The history of phytoremediation, Academic Press, sidor 1-18. (<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89874-4.00018-2>).
- Tonelli, F., Policarpo Tonelli, F., Lemos, M., Nunes, N. (2022), *Phytoremediation: Biotechnological Strategies for Promoting Invigorating Environs*, Chapter 3 - Mechanisms of phytoremediation, Academic Press, sidor 37-64. (<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89874-4.00023-6>).
- Trojanowska, M. (2023) Reclamation of polluted land in urban renewal projects. Literature review of suitable plants for phytoremediation, *Environmental Challenges*, Vol 13, art nmr 100749. (<https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100749>).
- Usman, K., Al-Ghouti, M A., Abu-Dieyeh, M H. (2018) Phytoremediation: Halophytes as Promising Heavy Metal Hyperaccumulators. *Heavy Metals InTech*. (<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73879>.)
- Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Ruttens, A., Thewys, T., Vassilev, A., Meers, E., Nehnevajova, E., Lelie, D., Mench, M. (2009) *Phytoremediation of Contaminated Soils and Groundwater: Lessons from the Field*. *Environmental science and pollution research international*, vol 16. (<https://doi.org/10.1007/s11356-009-0213-6>).
- Wani, J., Khursheed, W., Sofi, Z., Malik, J. (2020) *Phytoremediation of Heavy Metals Using Salix (Willows)*. *Bioremediation and Biotechnology*, Vol 2 sid 161–174. (https://doi.org/10.1007/978-3-030-40333-1_9).

Ying, M., Jaya, T., Kuldeep, B. (2022). Plant-Mycorrhizal Fungi Interactions in Phytoremediation of Geogenic Contaminated Soils, *Frontiers in Microbiology*, Vol 13. (<https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2022.843415>).

Zhou, X., Zhou, X., Wang, C., Zhou, H. (2023) Environmental and human health impacts of volatile organic compounds: A perspective review, *Chemosphere*, Vol 313, art nmr 137489. (<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137489>).

Muntliga källor

Samtal med Per Hansen, anställd på FGK Malmö stad. 2024. Intervju den 31 januari.

Samtal med Erik Palmqvist från PQ Geoteknik & Miljö. 2024. Intervju den 1 februari.

Tack

Tack till Stefan Mattsson, Per Hansen och Jan Johansson på Malmö stad och Erik Palmqvist på PQ Geoteknik för otroligt mycket hjälp och snabba svar. Tack till min handledare Frida Andreasson för all hjälp och att du tagit ner mig på jorden. Tack till vänner och kamrater som hjälpt till med korrekturläsning och stått ut med mitt konstanta snackande om markkemi medan arbetet pågick. Tack till min far Torsten Marnung för att du ändå fick in lite kemi i din samhällsvetare till sons skalle; jag hoppas du är stolt.

Publicering och arkivering

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

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

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

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