



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap

Fytoremediering

– Växter som metod för att sanera schaktmassor från föroreningar vid järnväg i Sverige

Phytoremediation

- Plants as a remediation method for decontaminated soils along railways
in Sweden

Carl Jonas Holmberg

Självständigt arbete • 15 hp
Landskapsarkitektprogrammet
Alnarp 2020

Fytoremediering – Växter som metod för att sanera schaktmassor från föroreningar vid järnväg i Sverige

Phytoremediation - Plants as a remediation method for decontaminated soils along railways in Sweden

Carl Jonas Holmberg

Handledare: Linn Osvalder, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, Alnarp

Examinator: Anders Kristoffersson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, Alnarp

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt Arbeta i Landskapsarkitektur

Kursansvarig inst.: Institutionen för Landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Kurskod: EX0845

Ämne: Landskapsarkitektur

Program: Landskapsarkitektprogrammet

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2020

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

Nyckelord: fytoremediering, sanering, markföroreningar, järnväg, tungmetaller, PAH, ROW, växtlistor

SAMMANDRAG

Bakgrund: Transport av schaktmassor till och från byggprojekt i Sverige är en kostsam del av byggprocessen och bidrar till de globala växthusgasutsläppen och förorenar vår närmiljö. Flera projekt och samarbeten arbetar med att försöka minska de transporter som är knutna till schaktmassor i Sverige. De schaktmassor som är förorenade faller enkelt utanför dessa projekt då de först måste saneras innan användning. Denna sanering innebär i regel en transport av massorna till ett saneringsverk och är ofta kostsam och använder energikällor som även de bidrar till växthusgasutsläpp. Fytoremediering är en saneringsmetod som sker med hjälp av växter på platsen av föroreningen och drivs av direkt solenergi.

Mål: Målet med denna uppsats är att ta reda på vilka de vanligaste föroreningarna vid järnväg är och sammanställa växtlistor som kan vara användbara vid sanering av schaktmassor i järnvägsprojekt.

Metod: Det här arbetet grundar sig i metoden litteraturstudier. För att besvara frågeställningen om vilka föroreningarna är genomfördes en systematisk sökning på databasen PubMed. Totalt hittades och lästes 576 stycken sammandrag, där 530 exkluderades och lämnade 46 stycken artiklar. De vidarestudierades i sin helhet och baserat på inkluderingskriterier var 8 stycken artiklar publicerade mellan åren 2009-2018 relevanta. För att besvara vilka växter som kan användas studerades boken PHYTO – Principles and resources for site and landscape design av Kate Kennen och Niall Kirkwood. Där söktes svaret på fråga ett upp mot växter i boken som sammanställt växter med förmåga att fytoremediera från studier utförda mellan åren 1983-2014. Sedan kontrollerades dessa för hårdighet i Sverige och sammanställdes i växtlistor efter förorening och växt.

Resultat: Baserat på de åtta originalstudierna fastslogs det att metallerna kadmium, bly, zink, koppar och PAH-ämnen både förekom i halter som var förorenande och att de var direkt knutna till användandet av järnväg. Från metoden för fråga två skapades sju växtlistor.

Slutsats: Användandet av järnvägar bidrar med markföroreningar. Flera växter finns studerade att på olika sätt oskadliggöra dessa föroreningar i marken. Fytoremediering är en tidskrävande saneringsmetod som kräver mycket planering, samarbete och kunskap för att implementeras fungerande. De halter och djup som föroreningarna fanns på är inom det som bevisas vara möjligt för flertalet växter att kunna sanera. Minskandet av transporter för förorenade schaktmassor skulle vara ett resultat av användandet, men också ett kontinuerligt sanerande av den pågående förorening som tågtrafiken innebär.

ABSTRACT

Background: Transport of excavated materials to and from construction projects in Sweden is a costly part of the construction process and contributes to global greenhouse gas emissions as well as pollutes our local environment. Several projects are working towards reducing the transport of excavated materials in Sweden. The excavated materials that are contaminated easily fall outside these projects as they must first be decontaminated. This usually involves transporting the materials to a decontamination plant, which is often costly and uses energy sources that also contribute to greenhouse gas emissions. Phytoremediation is a remediation method that uses plants at the site of the pollution and is powered by solar energy.

Aim: The aim of this thesis is to find out what the most common pollutants in railways are and to compile plant lists that can be useful in remediating excavation masses in railway projects.

Method: This work is based on the method of literature studies. To answer the question about what the pollutants are, a systematic search was carried out on the online database PubMed. A total of 576 abstracts were found and read, of which 530 were excluded, leaving a total of 46 articles. They were further studied and, based on inclusion criteria, there were eight full articles included in this review. To answer which plants can be used, the book *PHYTO – Principles and Resources for Site and Landscape Design* by Kate Kennen and Niall Kirkwood was studied. The answer to question one was sought for plants in the book that has compiled plants with the ability to phytoremediate based on studies conducted during 1983-2014. These were controlled for hardiness in Sweden and compiled into plant lists designating pollution and type of plant.

Results: Based on the eight original studies, it was determined that the metals cadmium, zinc, copper and PAH substances were all present in levels that were polluting and directly linked to railway use. Seven plant lists were created from the method of question two.

Conclusion: The use of railways contributes to soil pollution. There are several studies concerning plants and their ability to remediate these soil pollutants. Phytoremediation is a time-consuming remediation method that requires a great deal of planning, collaboration and knowledge to be implemented successfully. The levels and depths at which the pollutants exist determine the plants potential to decontaminate. The reduction in transport for contaminated excavation masses would be a result of its use, but also continuous remediation of the ongoing pollution that train traffic entails.

Begreppsordlista

ROW – *Right of Way* kan likställas med den juridiska rätt staten, en kommun eller enskild har till tvångsförvärv av mark för samhällsnyttiga projekt. ROW i den här uppsatsen tar upp skötselfrågorna och forskning för stora infrastruktur projekt.

Banvall - En banvall är en anlagd vall för järnvägsspår, tunnelbanelinjer eller spårväg. Banvallen delas in i banunderbyggnad ("bankropp") och banöverbyggnad (ballast, befästning, räl, rälsvandringshinder, skarvar, sliprar och spårväxlar).

Masshanteringsplan - beskriver hur massorna ska hanteras under byggskedet. Schaktmassor får normalt användas inom det område som är avsatt enligt väg- eller järnvägsplanen. I vissa fall kan det behövas en anmälan eller tillstånd enligt miljöbalken för att hantera och lägga upp massor. Det gäller till exempel om det finns risk att massorna är förorenade eller om naturmiljön riskerar att förändras väsentligt (Trafikverket 2013).

Metabolit - En metabolit är en ämnesomsättningsprodukt, det vill säga ett ämne som uppstår genom en kemisk process i cellerna hos olika organismer (Genetiknämnden 2016).

Organiska föroreningar – är föreningar som vanligt består av kol, kväve och syre och är skapade av människan genom olika industriella processer (Kennen K. & N. Kirkwood 2015).

PAH – Polycykliska aromatiska kolväten; tillhör en grupp ämnen där många har skadliga egenskaper. De flesta organismer kan omvandla PAH ämnen. I djurförsök har de bevisats brytas ner i metaboliter som till exempel är cancerframkallande och orsaka skador på arvsmassan (Kemikalieinspektionen 2016). Växter har bevisats bryta ner de i symbios med mikrobiotiskt liv till metaboliter som anses vara ofarliga (Ma & Burken 2003).

PCB - Polyklorerade bifenyler är 209 olika giftiga och svårnedbrytbara ämnen (Linda Linderholm 2019).

TPH - *Total Petroleum Hydrocarbon* - Oljekolväten är ett samlingsnamn för de olika blandningarna av kolväten som råolja består av (Oskar Henriksson 2016).

BTEX – är det samlingsnamn för bensen, toluen, etylbensen och xylener (Svenska Geotekniska Föreningen 2018).

Oorganiska föroreningar – är naturligt förekommande element inom det periodiska systemet. Vid de mänskliga aktiviteterna som att bryta dessa, pumpa upp de, förbränna de

eller använda de i olika industriella processer så släpps de ut i nivåer och på platser som blir förorenande. De är element och kan inte förstöras. Men de existerar i flera olika former.

Anjoner (negativt laddad jon), katjoner (positivt laddad jon), oxiderade, fasta, flytande eller gas. Formen som den oorganiska föreningen är i påverkar biotillgängligheten i jorden där den förorenar (Kennen K. & N. Kirkwood 2015).

Innehållsförteckning

SAMMANDRAG.....	2
ABSTRACT	3
Begreppsordlista.....	4
Innehållsförteckning.....	6
1. BAKGRUND	9
1.1 Lagstiftning och miljömål angående sanering av förorenad jord och vatten i Sverige och inom svenska järnvägar	9
1.1.1 Miljömål ”Giftfri miljö”	9
1.1.2 Miljöbalken.....	9
1.1.3 Miljömål Begränsad klimatpåverkan.....	10
1.1.4 Expropriationslagen – Lagen om byggande av järnväg - Right of Way (ROW).....	11
1.1.5 Vegetationsreglering vid järnväg.....	11
1.2 Schaktmassor.....	12
1.2.1 Definition av schaktmassor inom anläggning.....	12
1.2.2 Total volym och transport av schaktmassor i Sverige	12
1.2.3 Trafikverkets arbete med schaktmassor	13
1.2.4 Hantering av förorenade schaktmassor	13
1.3 Definition av Fytoremediering.....	14
1.3.1 Mekanismerna bakom Fytoremediering.....	14
1.4 Frågeställningar	19
1.5 Mål & Syfte	19
2. METOD.....	20
2.1 Sökstrategi för fråga 1	20
2.1.1 Inkluderingskriterier	21
2.1.2 Exkluderingskriterier	22
2.2 Sökstrategi för fråga 2	22
2.3 Övriga	23
3. RESULTAT.....	25
3.1 Fråga 1: Föroreningar	25
3.1.1 Metaller	25
3.1.2 Totala Petroleum Kolväten (TPH), Petroleumpaket, alifater, aromater, BTEX	26
3.1.3 Polycykliska aromatiska kolväten (PAH).....	26
3.1.4 Polyklorerade bifenyler (PCB).....	27
3.1.5 pH.....	27

3.2 Fråga 2: Vilka växter kan vara aktuella för att in-situ sanera de vanligaste föroreningarna funna vid järnvägar i Sverige?.....	27
3.3 Växtlistor	29
3.3.1 Hyperackumulerande växter	29
3.3.2 Ackumulerande växter	30
3.3.3 Exkluderande växter	32
3.3.4 Rhizodegraderande växter för PAH-förorening.....	33
4. DISKUSSION	35
4.1 Korrelation mellan förorenande tungmetaller och järnvägsaktivitet	35
4.3 Korrelation mellan förorenande PAH-ämnen och järnvägsaktivitet.....	36
4.5 Kan växter användas för att sanera de vanligaste föroreningarna vid järnvägar i Sverige?	38
4.6 Design, skötsel i Right of Way	39
4.7 Styrkor	40
4.8 Svagheter.....	41
5. SLUTSATS	43
Källförteckning.....	44

INLEDNING

Diskussionen om schaktmassor från byggprojekt i alla storlekar och hanteringen av dem är idag ett aktuellt ämne i Sverige. Från ortsnivå upp till statliga organisationer, från användandet av resurser till transporten av dem och vart de överblivna schaktmassorna ska hamna.

En vidare diskussion om hanteringen och transporten av förorenade schaktmassor i Sverige kan ses som enklare i allmänhetens ögon då de i första hand måste saneras och inte riskera att skada djur, natur eller människor. Men frågorna hur de ska saneras och var, var och vem som har ansvaret för dem, var och hur de ska kunna återinföras i cirkulära masshanteringsstrategier är stora frågor i alla instanser. Deras ihopkoppling med miljömålet ”Giftfri miljö” och den potentiella konflikten med miljömålet ”Begränsad klimatpåverkan” är något som också bör belysas. Den här uppsatsen gör ett försök att undersöka potentialen i att sanera förorenade schaktmassor i anknytning till järnvägar och järnvägsprojekt i Sverige på ett sätt där båda dessa miljömål kan uppfyllas och inte stå i konflikt till varandra. Men även att med rätt design och förståelse för potentiella förorenande aktiviteter förebygga framtida förorening av mark genom hela landet.

1. BAKGRUND

1.1 Lagstiftning och miljömål angående sanering av förorenad jord och vatten i Sverige och inom svenska järnvägar

1.1.1 Miljömål ”Giftfri miljö”

År 1999 fattade Sveriges riksdag ett miljömål kallat ”Miljömål om giftfri miljö”. Det är ett av 16 stycken miljö kvalitetsmål som är en del av ett miljömålssystem som antogs 1991 (Naturvårdsverket 2019a).

”Miljömål för giftfri miljö” säger att *förekomsten av ämnen som har skapats i eller utvunnits av samhället inte ska hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden. Detta innebär att halter av naturfrämmande ämnen ska vara nära noll och att deras påverkan på människors hälsa och ekosystemet ska vara obetydlig. Halterna av naturligt förekommande ämnen ska vara nära bakgrundsnivåerna, vilket betyder att de inte utgör en hälsorisk för vare sig flora eller fauna* (Naturvårdsverket 2019b). ”Miljömål för giftfri miljö” är det miljömål som är styrande för efterbehandling av jordmassor efter verksamhet och syftar till att minska risken för förorenings spridning i mark och vatten.

1.1.2 Miljöbalken

Sverige har lagstiftat genom miljöbalken kapitel 10 om bestämmelser för förorenade områden och de gränsvärden som är tillåtna. Enligt lagen ska miljöbalken tillämpas så att:

1. Människors hälsa och miljön skyddas mot skador och olägenheter oavsett om dessa orsakas av föroreningar eller annan påverkan,
2. Värdefulla natur- och kulturmiljöer skyddas och vårdas,
3. Den biologiska mångfalden bevaras,
4. Mark, vatten och fysisk miljö i övrigt används så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas, och
5. Återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås.

Ansvar för efterbehandling av ett förorenat område är enligt huvudregeln i miljöbalken kapitel 10 (SFS 1998:808) att, den som har bedrivit eller bedriver verksamhet eller vidtagit en åtgärd som bidragit till föroreningen och då blivit s.k. verksamhetsutövare som är utrednings- och efterbehandlingsansvarig. Vid byggandet eller renovering av järnväg blir då trafikverket eller deras utförare direkt ansvarig för sanering av förorenade schaktmassor.

1.1.3 Miljömål Begränsad klimatpåverkan

Att vi människor förbränner fossila bränslen för att producera el- och värme, att driva våra industrier och våra transporter gör att vi producerar ett stort bidrag av koldioxid och andra växthusgaser i atmosfären. Detta bidrar till klimatförändringar i både Sverige och världen och genom en ökad växthuseffekt värmer vi upp det globala klimatet. För att begränsa detta så har Sveriges riksdag definierat miljömålet "Begränsad klimatpåverkan". Definitionen för klimatmålet från Sveriges riksdag är

"Halten av växthusgaser i atmosfären ska i enlighet med FN:s ramkonvention för klimatförändringar stabiliseras på en nivå som innebär att människans påverkan på klimatsystemet inte blir farlig. Målet ska uppnås på ett sådant sätt och i en sådan takt att den biologiska mångfalden bevaras, livsmedelsproduktionen säkerställs och andra mål för hållbar utveckling inte äventyras. Sverige har tillsammans med andra länder ett ansvar för att det globala målet kan uppnås"

(Sveriges Riksdag 1999, Sveriges miljömål)

Och regeringen har med propositionen 2001/2002:55 Sveriges klimatstrategi angett att Naturvårdsverket ska vara ansvarig myndighet för miljö kvalitetsmålet (Riksdagsförvaltningen 2001).

Sveriges riksdag har fastställt en precisering av varje miljömål som Sveriges riksdag har antagit. För miljömålet "Begränsad klimatpåverkan" är den preciseringen

"Den globala medeltemperaturökningen begränsas till långt under 2 grader Celsius över förindustriell nivå och ansträngningar görs för att hålla ökningen under 1,5 grader Celsius över förindustriell"

nivå. Sverige ska verka internationellt för att det globala arbetet inriktas mot detta mål.”

(Sveriges Riksdag 2018, Sveriges miljömål).

Detta betyder att Sverige står inför ett stort omställningsarbete på flera sektorer i samhället för att nå detta miljömål.

Av Sveriges totala växthusgasutsläpp så stod transportsektorn år 2017 för en tredjedel och den utsläppsfördelningen har varit likartad sedan 1990. 93 procent av transportsektorns utsläpp är från vägtrafiken inom Sverige och de tunga lastbilarna står för 21 procent. (Naturvårdsverket 2018).

1.1.4 Expropriationslagen – Lagen om byggande av järnväg - Right of Way (ROW)

Infrastrukturprojekt som vägar, järnvägar eller högspänningsledningar gör stora ingrepp på landskapen och genomförs genom processer som är dikterade i flera lagar som Väglagen, Lagen om byggande av järnväg, Ellagen med flera. De spänner ofta över väldigt stora ytor mark och om staten eller berörd part inte äger marken som projektet skall anläggas på och konflikt med markägaren uppstår så har man historiskt använt expropriationslagen (SFS 1972:719) för att tvångsvis få markåtkomsten. Lagen innebär att staten, kommunen eller enskild kan genom en ansökan till regeringen begära expropriation av marken. Med berättigat ändamål efter expropriationslagens expropriationsändamål kan det då göras ett tvångsförvärv av äganderätten vi har i Sverige. I praktiken idag används expropriationslagen mer sällan då Lagen om byggande av järnväg (SFS 1995:1649 t.o.m. SFS 2019:894) med flera lagar innehåller rättsliga bestämmelser om tvångsvis markåtkomst. En övergripande term för dessa projekt och de processer som varierar mellan lagar och krav kan summeras av svenskans ”förkörsrätt” eller engelskans ROW (Right of Way).

1.1.5 Vegetationsreglering vid järnväg

Trafikverket har tydliga riktlinjer för hur ytan som utgör de över 1000 milen järnväg som går genom Sverige ska skötas. Trafikverket arbetar med något de kallar för vegetationsreglering

som innebär att banvallarna och driftplatser hålls fria från vegetation med hjälp av kemisk och mekanisk ogräsbekämpning. Vid den kemiska ogräsbekämpningen används medlet RoundUp Ultra (Trafikverket 2020a). Utöver banvallen är 20 meter om varje sida en yta som ingår i vad som kallas för ”skötselgator”. Skötselgatorna skall hållas fria från träd som kan falla över järnvägen eller kontaktledningar och efter trädsäkring röjs vedartad vegetation inom dessa ytor. Detta sker genom avverkning och slyröjning (Trafikverket 2020b).

1.2 Schaktmassor

1.2.1 Definition av schaktmassor inom anläggning

Vid anläggning av väg- och järnvägsbyggen i Sverige produceras det stora mängder schaktmassor. Schaktmassor är den jord och material som finns på den aktuella byggplatsen och grävs upp under anläggningskedet. Inom anläggning klassificeras dessa massor i Fall A-massor och Fall B-massor. Fall A-massor är massor som får användas till fyllning och lämnas kvar på arbetsområdet. Fall B-massor är massor som inte får användas till fyllning för att de inte går att använda eller så är de förorenade och får inte användas. Fall B-massor innehåller också överskottsmassor, massor som det helt enkelt blev för mycket av (Svensk Byggtjänst 2017). Fall B-massor är alltså massor som transporteras till och från byggarbetsplatserna.

1.2.2 Total volym och transport av schaktmassor i Sverige

Under 2018 klassificerade Sveriges byggbransch 8 240 000 ton oförorenade jordmassor och 372 000 ton förorenade jordmassor som avfall (Naturvårdsverket 2020). För att sätta det i relation till transport så räknas här dessa jordmassor som rena grustransporter, där en lastbil utan släp transporterar ca 16 ton grus och lastbil med släp 30-35 ton grus (Sätertorps Grus 2020). Då motsvarar Sveriges byggbranschs schaktmassor under år 2018, 515 000 lastbilar utan släp och 235 429 lastbilar med släp för att transportera oförorenade massor och 23 250 lastbilar utan släp och 10 629 lastbilar med släp för att transportera förorenade massor.

Transporter av schaktmassor är en stor del av det totala godsflödet för hela landet (Vägverket 2002). I Region Stockholm är var fjärde lastbil upptagen med att transportera massor från och

till anläggningar (Lundberg, Frosth, Meurman, Johansson, Robinson, 2017). Trafikverkets arbetsplatser är stora infrastrukturprojekt och ligger över hela landet så även de har stora transportkostnader med material och schaktmassor.

1.2.3 Trafikverkets arbete med schaktmassor

Trafikverket strävar efter att uppnå massbalans i alla sina projekt. Detta betyder att användningen av jord- och bergmassor ska optimeras och enligt sina egna rutiner så ska det göras en översiktlig masshanteringsanalys under utredandet av väg- och järnvägsbyggen. Trafikverket ska då innan projektet startar veta vad de eller entreprenören kommer att kunna använda från platsen i anläggningen och vad som kommer att behöva transporteras bort, samt transporteras in. Dessutom hur stor volym A- respektive B-fallmassor de kommer att ha inom projektet. Trafikverket arbetar även med att skapa dialog mellan flera projekt för att kunna optimera massanvändningen mellan projekt. Detta går just nu under arbetsnamnet NÖT-tytor. Det står för Nära bebyggelse, Öppna för fler projekt och användas Tillfälligt (Lundberg et al. 2017). Bland dessa massor förekommer det markföroreningar och de faller utanför detta projekt fram till dess att de är sanerade och kan användas. I linje med Naturvårdsverkets regler ska dessa förorenade massor saneras till den grad att de inte längre klassas som förorenande och miljömålet ”Giftfri miljö” är uppfyllt.

1.2.4 Hantering av förorenade schaktmassor

Det finns två grundplatser att hantera saneringen av de förorenade massorna på. Den ena saneringen sker på plats och kallas för in-situ med ett flertal olika saneringsmetoder beroende på förorening, dess koncentration och kemiska sammansättning. Förhållanden så som djup, hur lång tid man har att sanera ytan på och vad platsen sen ska användas för (Svenska Geotekniska Föreningen 2020a). Den andra är en ex-situ sanering och innebär att den förorenade massan grävs eller pumpas upp för att transporteras bort för sanering (Svenska Geotekniska Föreningen 2020b).

Både in- situ och ex- situ har styrkor och svagheter. In-situ sanering tar bort behovet för att gräva eller pumpa och för transporten av massorna. Detta sänker de direkta kostnaderna för

saneringen, dessutom minskar risken för att föroreningen ska skada någon av de som arbetar med att gräva och transportera massorna. Med ex-situ sanering tar det generellt kortare tid för att uppnå önskad sanering, den är lättare att övervaka och ger ett stabilare resultat men är ekonomiskt och resursmässigt dyrare (Kuppusamy, Palanisami, Megharaj, Venkateswarlu, Naidu, 2016). Det de konventionella saneringsmetoderna har gemensamt, vare sig de utförs in- eller ex-situ är att de drivs med energi från elektricitet eller kemikaliska processer. Det finns även en saneringsmetod som endast drivs av direkt solenergi. Det kallas av Svenska Geotekniska Föreningen för fytosanering. Det är denna metod som kommer att behandlas i denna uppsats. Vidare kommer fytosanering att benämnas fyto Remediering.

1.3 Definition av Fyto Remediering

Fyto Remediering är ett samlingsnamn för att med olika tekniker använda växter, alger och svampar för att extrahera, bryta ner eller stabilisera föroreningar i jord och vatten (McCutcheon, & Schnoor 2003). Begreppet fyto Remediering myntades 1991 av Ilya Raskin (1994) och är en sammansättning av grekiskans "fyto" som betyder växt (NE 2020a) och det latinska ordet för botemedel, "remedium" (NE 2020b).

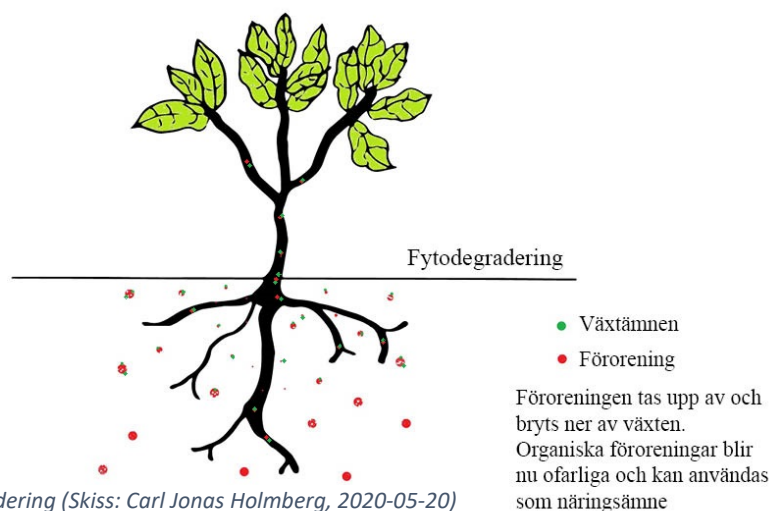
Att växter kan jordförbättra åkrar, förhindra erosion och att det i jorden finns ett utbyte av näringsämnen mellan växter är något människan har känt till och använt sig av länge. Hur växter även kan påverka markföroreningar har dock bara varit känt sedan mitten 1900-talet. De föroreningar som växter visats kunna sanera är radionuklider från kärnkraft och atomvapen, halvmetaller (metalloider) och tungmetaller, salter, näringsämnen, organiska föroreningar, avloppsvatten och luftföroreningar (McCutcheon, & Schnoor 2003). Som saneringsmetod är det en in-situ metod vilket innebär att den renar jord och vatten på platsen av föroreningen. Processen sker utifrån växternas fysiologiska, biologiska och kemiska förutsättningar och är soldriven, vilket gör den till en ekologisk och miljövänlig metod för sanering (Kuppusamy *et al.* 2016).

1.3.1 Mekanismerna bakom Fyto Remediering

Det finns flera olika fyto Remedierande processer eller mekanismer som växterna använder för att binda, bryta ner eller stabilisera föroreningar. De sker på grund av tre växtfunktioner som

drivs av fotosyntesen, när solljus träffar växtens blad och genererar biomassa. Den ena är förflyttning av energin skapad av fotosyntesen, runt 20-40% av den totala mängden som produceras av fotosyntesen i växter är sockerarter som transporteras ner till rotsystemet och läcker ut i jorden genom rötterna (Campbell & Greaves 1990). Den andra är den förflyttning av näringsämnen som från urlakningen av sockerarter från rotsystemet och rötternas uppluckring av jord skapar goda förhållanden för mikroorganismer att leva. Mellan 100-1000 gånger mer mikroorganismer lever i rotsystem av växter än i bar jord och mikroorganismerna i sin tur hjälper växten med omvandling av näringsämnen och upptag (Kennen & Kirkwood 2015). Förflyttning av vatten är den tredje och bygger på växternas behov för vatten inom fotosyntesen och näringstransport. Via upptag från rötterna och ut genom de övre växtdelarna omsätter växter enorma mängder vatten och blir som små hydrauliska vattenpumpar. Uppskattningar visar att endast 10 % av vattnet en växt tar upp används av växten. Resterande 90 % evaporeras ut i luften. Så mycket att 75 % av hela jordens vattenånga över land kommer från växters evaporation (von Caemmerer & Baker 2007). Dessa funktioner möjliggör fytoremedieringsprocesser. De relevanta metoder för den här uppsatsen som växter sanerar föroreningar på är;

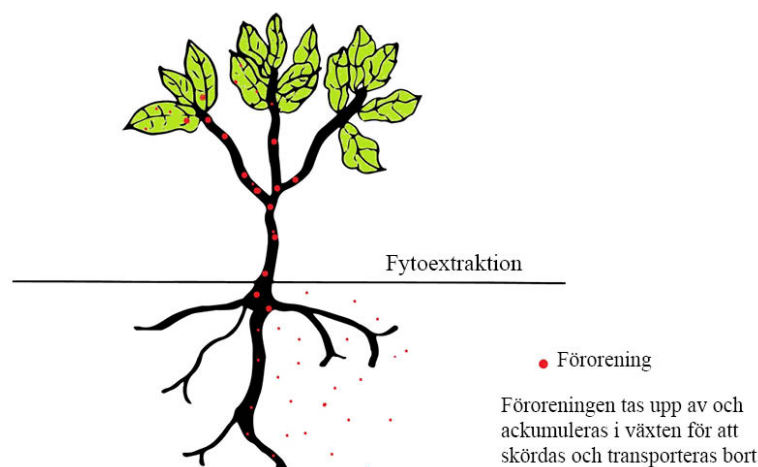
Fytodegradering – Växten tar upp föroreningen via rötterna och bryter ner de organiska föroreningarna. Detta kallas även för fytotransformering, då de små delarna av föroreningen nu är ofarliga och kan användas av växten som näring i sin tillväxt. Nedbrytningen sker genom fotosyntes eller utsöndrandet av enzymer och/eller mikroorganismer i symbios med växten (Kennen & Kirkwood 2015). En av de stora fördelarna med fytodegradering är att den fungerar utan närvaro av mikroorganismer i marken och har då stor potential att sanera steril mark eller mark med så höga föroreningsnivåer att mikroorganismer inte kan verka i den. Men mekanismen att bryta ner och förvara föroreningar i växtdelar kan leda till att löv och grenar blir giftiga och i sin tur förgifta växtätare (Environmental Protection Agency (EPA) 2000)



Figur 1 Fytodegradering (Skiss: Carl Jonas Holmberg, 2020-05-20)

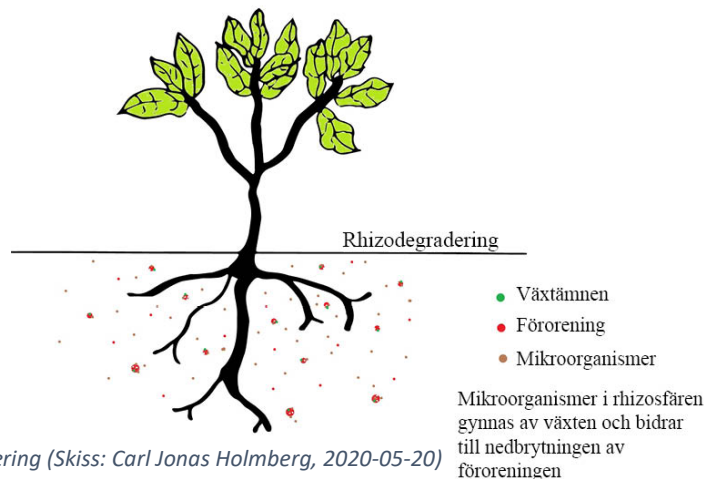
Fytoextraktion – Växten tar upp föroreningen och förvarar den i växtmassan. För extrahering av oorganiska föroreningar måste växten skördas och föras bort från platsen.

Fytoextraherandeväxter tillsammans med fytordegraderande-växter kan helt sanera organiska föroreningar från jordmassor (Kennen & Kirkwood 2015). Vid extraktion har föroreningarna koncentrerats i växterna och vid skörd är den biomassa som föroreningen är upptagen i mindre än när den låg i marken. Likadant är det vid förbränning av biomassan - mängden material som ska deponeras är mindre, dessutom kan värme och energi halstras (EPA 2000). Däremot kan metaller vara fytotoxiska, giftiga för växten och vid extraktion måste växterna skördas och metallerna tas till vara på eller transporteras till deponi.



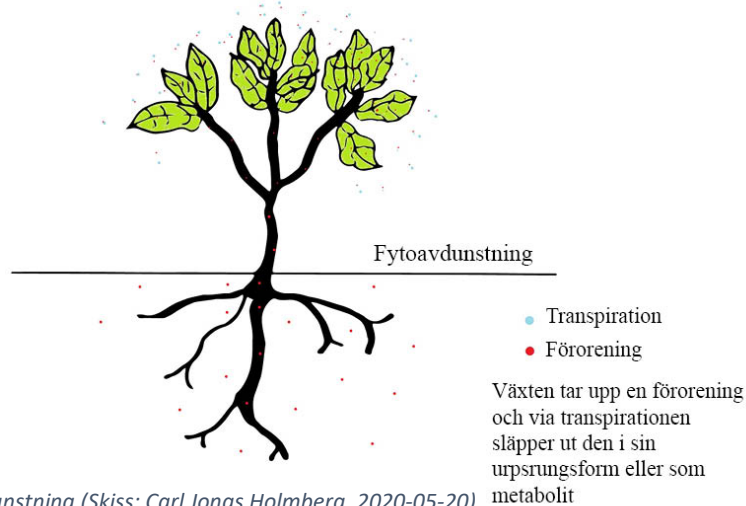
Figur 2 Fytoextraktion (Skiss: Carl Jonas Holmberg, 2020-05-20)

Rhizodegradering – Genom att växtens rötter luckrar upp, syresätter och utsöndrar fyto kemikalier och socker i jorden skapas ett gott klimat för mikroorganismer att leva i rhizosfären (rotzonen). Dessa mikroorganismer bryter ner föroreningar och använder de som näringskällor. Med rhizodegradering sker sanering av föroreningen på platsen och får föroreningen att stanna där. Detta innebär att ingen skörd eller deponi krävs och det gör metoden till en billig metod. Men processen bakom rhizodegradering är bunden till växtens rotdjup och rotstorlek, vilka båda är begränsande och tidskrävande (Kennen & Kirkwood 2015).



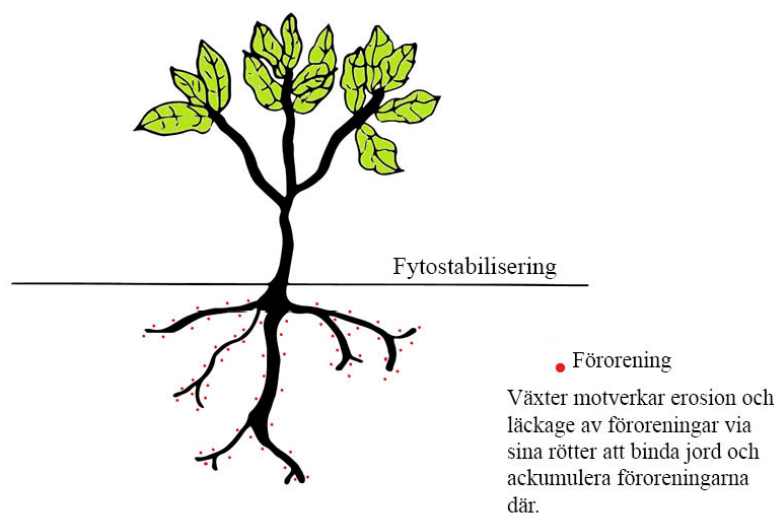
Figur 3 Rhizodegradering (Skiss: Carl Jonas Holmberg, 2020-05-20)

Fytoavdunstning – kan också kallas för fytoavdunstning och innebär att växten tar upp föroreningen och släpper ut den som gas antingen i sin ursprungsform eller som metabolit vid transpirationen. Då kommer de ut som mindre giftiga eller så kommer metaboliterna ut i atmosfären och utsätts för fotolys som för flera organiska ämnen är en effektivare nedbrytning. Föroreningen förekommer i flera former, som fastform, flytande eller gas och i fotoavdunstning så tar växten upp föroreningen i alla dessa former (Kennen & Kirkwood 2015)



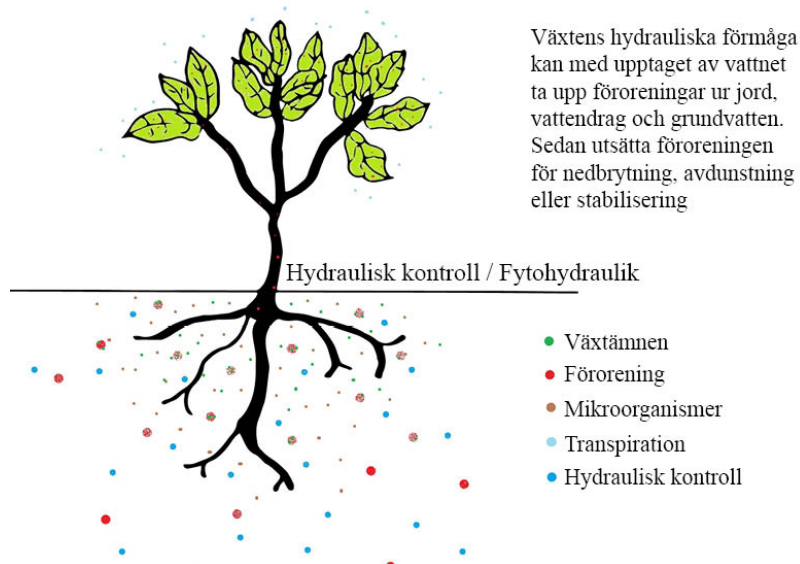
Figur 4 Fytoavdunstning (Skiss: Carl Jonas Holmberg, 2020-05-20)

Fytostabilisering - Växter kan användas för att täcka en förorenad yta och där hålla föroreningen på plats. Växter kan genom att binda jord motverka erosion och läckage från regn och vind och hålla den förorenade jorden på plats. Växters hydrauliska förmåga kan ändra grundvattnets riktning och sakta ner spridningen av en förorening via vattnet. Utsöndrandet av olika enzymer och kemikalier från växtens rotsystem kan ändra markkompositionen så att föroreningen inte längre är tillgänglig för läckage. Men också ta upp föroreningen eller ackumulera den vid växtens rötter (Kennen & Kirkwood 2015).



Figur 5 Fytostabilisering (Skiss: Carl Jonas Holmberg, 2020-05-20)

Hydraulisk kontroll / Fytohydraulik - Med växtens hydrauliska egenskaper att suga upp vatten kan föroreningar komma upp med vattnet och antingen utsättas för nedbrytning i rotzonen av enzymer och de mikroorganismer som lever där, stabiliseras i rotzonen eller tas upp av växten för att förvaras eller brytas ner. Växten kan använda någon annan fyto Remedierande metod för att bryta ner föroreningen som fyto degradering eller fyto avdunstning (Kennedy & Kirkwood 2015).



Figur 6 Fytohydraulik (Skiss: Carl Jonas Holmberg, 2020-05-20)

1.4 Frågeställningar

- 1: Vilka är de vanligaste föroreningarna bland schaktmassor vid järnväg?
- 2: Vilka växter kan vara aktuella för att in-situ sanera de vanligaste föroreningarna funna vid järnvägar i Sverige?

1.5 Mål & Syfte

Syftet med denna uppsats är att undersöka vilka de vanligaste föroreningarna i schaktmassor vid järnvägar i Sverige är. Vidare är syftet att få förståelse för växters förmåga att sanera dessa förorenade massor. Målet med denna uppsats är att sammanställa växtlistor med arter som kan vara användbara vid sanering av schaktmassor i järnvägsprojekt. Förhoppningen är att dessa växtlistor kan användas som ett hjälpmedel för Trafikverket, entreprenörer och andra aktörer som arbetar med förorenade massor i järnvägsprojekt. Vidare är målet att växtlistorna kan vara ett bidrag till arbetet med att uppnå massbalans och underlätta cirkulär masshantering i Sverige, för att uppfylla de nationella miljömålen ”Giftfri Miljö” och ”Begränsad Klimatpåverkan”.

2. METOD

2.1 Sökstrategi för fråga 1

Det här arbetet grundar sig i metoden litteraturstudier. För att förstå ämnet så gjordes breda sökningar på ämnet fytoremediering och flertalet sökningar på vad sanering, föroreningar och avfall betyder i den svenska kontexten. Detta gjordes inom SLU:s databaser Web of Science och Epsilon, och genom studerande av lagar, bestämmelser och rapporter från svenska myndigheter och organisationer kopplade till dem. Två examensarbeten och tre kandidatsuppsatser studerades tillsammans med deras referenser. Det ena examensarbetet var inom ekosystemteknik på tidigare Ekologiska institutionen vid Lunds universitet idag en del av Biologiska institutionen. Den andra inom landskapsarkitektur vid SLU.

Kandidatuppsatserna var två stycken inom Landskapsarkitektur vid SLU och en inom Biologi vid Uppsalas Universitet. Dessa fem arbeten med källor gav en bredd som ämnet kräver. Fytoremediering, inställningen till- och implementeringen av fytoremediering kan ses som tvärvetenskaplig och är bäst förstådd med den insikten.

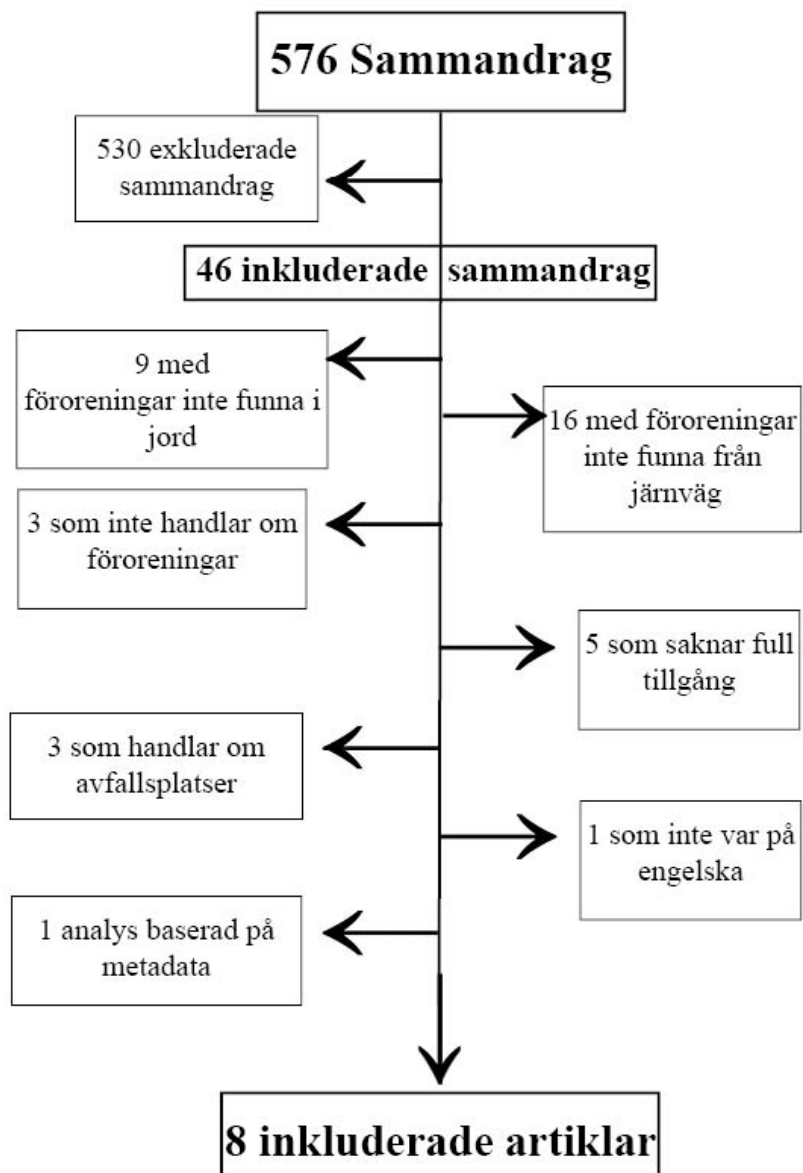
För att sedan besvara den första frågeställningen genomfördes en systematisk sökning på databasen PubMed med en relevant och specificerad sökterm och datum.

1: Vilken är den vanligaste föroreningen bland schaktmassor vid järnväg?

Första sökningen gjordes 27 april 2020 på databasen PubMed. Följande söktermer användes; "Soil pollution" AND "railway". Denna gjordes utan att år för publikation specificerades och inkluderade alla artiklar skrivna på engelska. Första sökningen gav 576 stycken artiklar och efter att ha gjort ett första urval från läsning av sammandragen fanns 46 stycken artiklar kvar. Artiklarna vidarestuderas efter inkluderings- och exkludering-kriterier, se figur 7, flödesschema på sida 21.

Av alla artiklar handlade nio stycken om föroreningar som inte var funna i jord utan andra element som luft och vatten eller material som spindelväv eller lavar, sexton stycken om föroreningar inte funna från järnväg, tre stycken handlade inte om föroreningar, hos fem stycken återfanns inte den fulla texten, tre stycken handlade om platser för avfall med material från järnväg, men var inte på platser av en aktuell eller tidigare järnväg, en var inte på engelska och en var baserad på metadata, det lämnade åtta stycken inkluderade artiklar.

Figur 7 Flödesschema över den systematiska litteraturstudiens process



2.1.1 Inkluderingskriterier

Artiklar inkluderades om de

1. Handlade om föroreningar kopplade till järnväg
2. Var på engelska
3. Var originalstudier

2.1.2 Exkluderingskriterier

Artiklar exkluderades om de

1. Inte var på engelska
2. Inte gick att finna i full text
3. Inte handlade om föroreningar i jord och vid järnväg
4. Var baserade på metadata

2.2 Sökstrategi för fråga 2

För att besvara fråga 2 togs svaret från fråga 1 där de fyra tungmetallerna Kadium (Cd), Bly (Pb), Zink (Zn) och Koppar (Cu) och Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) ämnen var funna att ha en koppling till järnvägar. Dessa fyra metaller och denna grupp av ämnen var sedan huvudfokus när boken *Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design*. 1 edition. Av författarna Kennen K. & N. Kirkwood som publicerades år 2015 på förlaget Routledge i New York, USA, studerades efter vetenskapligt studerade växter och dess förmåga att sanera dessa metaller och ämnen. *Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design* har sammanställt växter efter föroreningar och en enkel sökning genom att slå upp förorening mot växt gjordes. Dessa listor över exkluderande, ackumulerande och hyperackumulerande växter för tungmetaller är sammansatta efter studier på växterna från åren 1983-2014. Listorna över växter sanerandes PAH-ämnen är sammansatta från studier genomförda mellan åren 1990-2013. Sedan har dessa växter sammanställts efter förorening och kontrollerats efter hårdighet i Sverige efter Sveriges växtzoner genom att översätta det Amerikanska växtzonssystemet till det svenska växtzonssystemet. USDA växtzonssystem är indelat i 13 zoner med a & b inom varje zon. 1a är den kallaste zonen inom detta system och 13b den varmaste zonen. Sveriges zonsystem är uppdelat från 1-8 där 1 är den varmaste zonen och 8 den kallaste. Översättningen gjordes efter minimitemperatur i Celsius från mätdata mellan åren 1991-2005 i Sverige med hjälp av *Odla exotiskt i din trädgård* av författaren Ludvig Johansson som publicerades ut år 2007 på förlaget Prisma i Stockholm, Sverige. Alla växter kontrollerades sedan i SLU:s artdatabank Artfakta.se. Den virtuella floran från Naturhistoriska riksmuseet och The species 2000 & ITIS Catalogue of Life.

2.3 Övriga

I tillägg till dessa tre huvudmetoder för att förstå ämnet och besvara de två frågorna så har en kontakt med en person som är nationellsamordnare för riktade åtgärder vid förorenade områden vid Trafikverket inletts och pågått via mejl mellan 20 mars 2020 och 21 april 2020 men inte kunnat genomföras till den grad att uppsatsen har fått en större påverkan från någon information. En tabell över ett paket med analyser som de oftast använder vid provtagning efter föroreningar i järnvägsprojekt har delats den 21 april 2020.

Figur 8 Tabell över analyspaket som trafikverket använder vid provtagning

		OLJAOlja+BTEX, fraktionerad enligt NV
MARK02	Järnväg 2, våtuppslutning av metallerna. Ingen torkning och siktning innan analys.	Metaller (As, Cd, Cr, Cu, Co, Fe, Hg, Ni, Pb, Zn)
		PAH L, M och H
		Olja paket (alifater, aromater, BTEX)
		Glödförlust/glödrest
		pH
		Alifater >C5-C8
		Alifater >C8-C10
		Alifater >C10-C12
		Alifater >C12-C16
		Alifater >C5-C16
		Alifater >C16-C35
		Aromater >C8-C10
		Aromater >C10-C16
		Aromater >C16-C35
		Bensen
		Toluen
Etylbensen		
Xylen		

Fler svar och tillgång till dokument samt intern data har inte kunnat få godkännandet av berörda chefer att lämnas ut.

Även ett samtal med Björn Wiström Forskare vid Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning vid SLU genomfördes den 23 april och med anledning av Björn Wiströms doktorsavhandling från 2015 "Forest Edge Development – Management and design of forest edges in infrastructure and urban environments". Studerandet av avhandlingen och samtalet om planterandet av skogsbryn längs järnvägssträckan Malmö – Stockholm gav en

stor insikt om komplexiteten detta ämne kommer att beröra. Regler & lagar kring infrastrukturprojekt och den biologiska mångfalden som kommer från hur man planterar och sköter om områden vid.

3. RESULTAT

Den här studien har använt 2 sökstrategier för att besvara de två frågorna i studien och delar upp resultaten här i kapitel 3 under 3.1 och 3.2.

Resultaten av denna första sökstrategi visade sig inte helt kunna besvara fråga 1 i sin helhet. Sökstrategin besvarade huvudsakligen frågan om vilka föroreningar som är förknippade med användandet av järnväg. I förlängningen har den därmed också besvarat frågan om kommande föroreningar i de schaktmassor som kommer från en plats där tågdrift har bedrivits.

Sökstrategin med dessa söktermer visade sig inte kunna besvara frågan om vilka de vanligaste markföroreningarna bland schaktmassor vid nybyggnad av järnväg är i dagsläget. Med de använda sökorden dras därför slutsatsen att det sannolikt inte finns generell information om vilka föroreningar man kan finna i schaktmassor vid nybyggnad av järnväg. Denna del av frågeställningen fördjupas således inte i det fortsatta arbetet.

3.1 Fråga 1: Föroreningar

Den här studien har inkluderat 8 stycken forskningsartiklar på området föroreningar vid järnväg. Av de 8 är 1 Sydkoreansk, 1 Japansk, 2 Polska och 4 är Kinesiska. 3 av dem utförde sina provtagningar från järnvägar belägna på landsbygden, 4 av dem från urbana järnvägar och 1 från både landsbygd- och urbana järnvägar. Alla 8 gjorde provtagningar efter tungmetaller i marken. 3 gjorde även tester efter PAHs, 2 efter TPHs, 1 efter PCB och 3 analyserade även pH. Studierna var alla genomförda mellan åren 2009-2018. Urbanjärnväg klassificeras i den här uppsatsen som en järnväg där tåg inte bara passerar. Utan en plats där tåg planerat och regelbundet stannar/startar, lastas av/på, tvättas/städas och repareras.

3.1.1 Metaller

De tungmetaller som fanns i studiernas tester var Aluminium (Al), Arsenik (As), Kadmium (Cd), Nickel (Ni), Bly (Pb), Koppar (Cu), Krom (Cr), Zink (Zn), Kvicksilver (Hg), Kobolt (Ko), Järn (Fe), Vanadin (Va), Molybden (Mo), Tenn (Sn) och Mangan (Mn).

I alla studier var det högre halter av de analyserade metallerna i jorden från järnvägarna än i kontrolljordarna. Men alla halter klassificerades inte som så höga att massorna klassificerades som förorenade eller hade direkt koppling till järnvägen. De klassificeringarna var efter gällande land vid tidpunkt för studien. Studierna gjordes inom en variation av testdjup från ytan (0 cm) till det djupaste av 40 cm och avstånd från järnvägen, från under banvallen (0 meter) till det längsta som var 150 meter ut på var sida. Det de alla delade var att de metaller som stod ut i koncentration och koppling till järnvägen var de som fanns i högst koncentration nära järnvägsspåret och hade högst fall i koncentrationen desto längre ut från järnvägsspåret de kom. De fyra metaller som står ut i analyserna som halter höga nog att klassificeras som förorenande och med en koppling till järnvägen och dess aktivitet är; Kadmium, Bly, Zink och koppar.

3.1.2 Totala Petroleum Kolväten (TPH), Petroleumpaket, alifater, aromater, BTEX

Av de åtta studier var det två som testade för TPHs. En var utförd vid urbana järnvägar och den andra från landsbygden. I den urbana fann man flera av dessa föroreningar men ingen av de passerade den godkända koncentrationen för industri- och infrastrukturfastigheter enligt polsk lag (som var landet för studien) år 2002 och de var i linje med EU- regleringar. Studien från järnvägen på landsbygden fann inga av de testade TPHs i sina analyser.

3.1.3 Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)

Av de åtta studier var det tre som testade för PAHs, två var urbana och en var från landsbygden. De två urbana visar högre halter PAHs och en av de två kunde även jämföra med siffror från samma plats 13 år tidigare. Under dessa 13 år hade det varit tågdrift men inga stora reparationer eller ombyggnationer och nivåerna av PAHs- föroreningarna hade kraftigt stigit samtidigt som i kontrolljordarna från båda studierna hade inga öknings i PAHs skett. Detta gjorde att den studien drog slutsatsen att vanlig tågdrift i urban miljö ökar föroreningshalten av PAHs. Den studie som var från landsbygden visade att den totala mängden PAHs i jordmassor från järnväg på landsbygden inte hade någon statistiskt större nivå än kontrolljorden. Men de halter och ämnen av PAHs var som högst koncentrerade i toppskiktet av jorden 0-40 cm.

3.1.4 Polyklorerade bifenyler (PCB)

En studie testade för PCB föroreningar och fann de i högre halter vid de urbana järnvägar som man testade på än i sina kontrolljordar. Men de översteg inte den godkända koncentrationen för industri- och infrastrukturtomter enligt polsk lag (som var landet för studien) år 2002 och de var i linje med EU- regleringar.

3.1.5 pH

Tre studier testade marken för pH, en av studierna gjorde pH-tester i urban miljö och de två andra studierna studerade pH på järnväg på landsbygd. Den urbana studien mark-pH var basiskt och mätte pH > 7.5. En av landsbygden var neutral och mätte pH 7.2-7.7 och den andra på landsbygden hade surt pH och mätte mellan 4.03-6.38.

3.2 Fråga 2: Vilka växter kan vara aktuella för att in-situ sanera de vanligaste föroreningarna funna vid järnvägar i Sverige?

Från studerandet av boken *Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design*. 1 edition. Av författarna Kennen K. & N. Kirkwood gjordes en sammanställning av växterna från litteraturen. Sedan utfördes växtzonsöversättningen med kontroll till de valda databaserna beskrivna i metoden. Via den processen exkluderades de växter som inte var funna att vara härdiga i Sverige. Detta sammanställdes i växtlistor, efter förorening och funktion.

De in-situ fyto Remedierande metoderna för sanering av tungmetallerna zink, kadmium och koppar är fytoextraktion, fytohydraulik och fytostabilisering.

Både kadmium och zink har generellt en hög biotillgänglighet för fytoextraktion och koppar anses vara en relativt svår metall att fytoextrahera. Även om koppar är ett viktigt mikronäringsämne för växter så blir det fytotoxiskt i stora mängder och det gör det helt enkelt svårt att odla fytoextraherande växter i jorden som ska saneras från föroreningen. Studien

fann hyperackumulerande, ackumulerande och exkluderande gräs och örtväxter samt vedartat växtmaterial för fytoextraktion och fytostabilisering se figur 9 – 17 i avsnitt ”3.3 Växtlistor” med subkapitel.

För tungmetallen bly fann studien med angiven sökmetod ingen hårdig växt för extraktion. Blyföreningar klassificeras som svår att extrahera då bly sällan är biotillgängligt för växter och här rekommenderas fytostabilisering av föreningen efter växtlista för Metallexkluderare i figur 13 & 14 för att minimera spridningen. Det innebär att i jordar där tungmetallföreningarna inte är biotillgängliga för växter att ta upp (extrahera) så stabiliserar man istället tungmetallerna och förhindrar de från att urlakas och spridas vidare. Metallexkluderande arter tolererar att växa i dessa föreningar och fungerar på två sätt. Det ena är att rötterna utsöndrar ämnen som hjälper till att avmobilisera metallernas biotillgänglighet i marken och förändrar den fytotoxiska sammansättningen av tungmetallerna så att jorden saneras för andra växter att kunna leva i den. Det andra är att exkluderande växter inte tar upp tungmetallerna i sina rötter utan låter de ligga kvar i marken och då inte utsätta betande djur för risken att få i sig tungmetallerna. Biotillgängligheten varierar för olika tungmetaller och den påverkas av pH-nivån i-, porstorlek för syre och vatten i- eller organiskt material i jorden. Även reaktioner mellan föreningarna kan påverka biotillgängligheten.

Den in-situ fytoremedierande metoden för sanering av PAH- ämnen är rhizodegradering.

PAH-ämnena tillhör gruppen petroleumkolväten och den kan delas upp i två kategorier. Enkelt nedbrytbara petroleumkolväten och svårt nedbrytbara petroleumkolväten. Kemiskt delas de upp efter hur lösligt ett ämne är i vatten respektive organfas och kallas för ”log K_{ow} ” eller ”logP”. Enkelt nedbrytbara petroleumkolväten ligger koefficienten mellan 0.5 och 3.5 och för svårt nedbrytbara petroleumkolväten ligger koefficienten över 3.5. PAH-ämnena tillhör gruppen svårt nedbrytbara petroleumkolvätena. Fytoextraktion, fytodegradering och fytoavdunstning som fungerar på enkelt nedbrytbara petroleumkolväten fungerar i samband med den hydrauliska funktionen en växt har med behovet för vatten och den kemiska sammansättningen av dessa föreningar gör att växten kan bryta ner den med de ovanstående metoderna. Då PAH-ämnena är svårlösliga i vatten så sker den nedbrytningen inte i växtens rötter eller i växten. Istället sker den i rhizosfären, rotzonen av växten där mark, växt och mikroorganismer möts. När mikroorganismerna arbetar kan petroleumkolväten användas som energikälla och föreningen bryts ner. För att åstadkomma effektiv rhizodegradering behövs en ökad aktivitet hos mikroorganismerna. Rätt växtarts rotsystem bidrar till rhizosfären med enzymer, syre och näringsämnen för att detta ska ske.

3.3 Växtlistor

Växtlistorna har delats upp i växter som har förmågan att fyto Remediera tungmetallerna via fytoextraktion, fytohydraulik och fytostabilisering (metallexkluderare). Inom fytoextraktionen står växtlistorna efter hyperackumulerande, ackumulerande och exkluderande för de förorenande tungmetallerna och inom de står växtlistorna efter ört- och gräsartade och vedartade växter.

Inom rhizodegradering står listorna efter ört- och gräsartade och vedartade växter. I växtlistorna finns också växtens möjlighet att sanera enkla och svårt nedbrytbara petroleumkolväten. Alltså om den bevisat bidra med rhizodegradering för PAH-ämnen eller om de också har bevisats bidra till nedbrytningen av enklare nedbrytbara petroleumkolväten som BTEX eller alifater.

3.3.1 Hyperackumulerande växter

Hyperackumulerandeväxter är växter som tar upp en högmängd metaller i sina rötter stam och yttreväxtedelar. De har högre tolerans till tungmetaller samt att de kan leva i de miljöerna där tungmetallsföreningar är utbredda. De ska sedan skördas och föras bort från platsen för vidare sanering eller deponi. Fördelen med hyperackumulerande växtarter är att de går att korspollinera, hybridisera och få fram sorter som fungerar för speciella förhållanden. Det negativa kan då vara att de inte är ursprungliga till platsen och börja bete sig invasivt och det finns arter som inte producerar tillräckligt stor biomassa för att vara ekonomiska att skörda och extrahera.

Växtlista för Kadmium- och Zink hyperackumulerande ört- och gräsväxter med härdighet i Sverige.

Figur 9 Växtlista för Kadmium- och Zink hyperackumulerande ört- och gräsväxter med härdighet i Sverige.

Ört/gräs	Trivialnamn	Förorening	USDA Växtzon	Svensk växtzon	Härstammar från
Arabidopsis halleri (Cadinopsis halleri)	Gruvtrav	Cd, Zn	6+	1 till 4	Europa
Minuartia verna	Vårnörel	Zn	6 till 11	1 till 4	Europa
Rumex acetosa	Ängssyra	Zn	3 till 7	1 till 8	Europa
Thlaspi brachypetalum	Storskärvfrö	Zn	Finns ej	1 till 5	Europa
Thlaspi caerulescens (syn. Noccaea caerulescens och Thlaspi tatrense)	Backskärvfrö	Cd, Zn	6.	1 till 5	Europa
Thlaspi capaeifolium ssp. Rotundifolium	Backskärvfrö ssp.	Zn	6 till 9	1 till 5	Central Europa
Thlaspi praecox	Backskärvfrö ssp.	Zn	6.	1 till 5	Central Europa

3.3.2 Ackumulerande växter

Växter som tar upp föroreningen (ackumulerar) och förvarar den i sin biomassa för att sedan skördas och extraheras från platsen. För att vara ackumulerande till den grad att det blir ekonomiskt att gå igenom processen behöver ackumulerande växter vara snabbväxande och producera en stor biomassa.

Växtlista för Kadmium- och Zinkackumulerande vedartade växter med härdighet i Sverige.

Figur 10 Växtlista för Kadmium- och Zinkackumulerande vedartade växter med härdighet i Sverige

Träd/buske	Trivialnamn	Förorening	USDA Växtzon	Svensk växtzon	Härstammar från
Populus spp. Populus alba L. Var. Pyramidalis	Pyramidsilverpoppel	Cd, Zn	3 till 9	1 till 8	Varierar
Pseudotsuga menziesii	Douglasgran	Cd	5 till 7	1 till 6	Nordamerika
Salix ssp.	Vide	Cd, Zn	Varierar	1 till 8	Varierar
'Belders' (S. alba L. Var. alba)					
'Belgisch Rood' (S. x rubens var. Basfordiana)					
'Christina' (S. viminalis)					
'Inger' (S. triandra x S. viminalis)					
'Jorr' (S. viminalis)					
'Lodien' (S. Dasyclados)					
'Tora' (S. schwerinii x S. Viminalis)					
Zwarte Driebast' (S. triandra)					
Salix viminalis L.					

Växtlista för Kadmium-, koppar- och Zinkackumulerande ört- och gräsväxter med härdighet i Sverige

Figur 11 Växtlista för Kadmium-, koppar- och zinkackumulerande ört- och gräsväxter med härdighet i Sverige

Ört/gräs	Trivialnamn	Förorening	USDA Växtzon	Svensk växtzon	Härstammar från
Agrostis delicatula	Gräsart	Cd, Cu, Zn	4 till 10	1 till 8	Sydvästra Europa & Nordafrika
Amaranthus hypochondriacus	Toppamarant	Cd	Finns ej	1 till 6	Mexico
Arabis flagellosa	Travar ssp.	Cd	Finns ej	Finns ej	Asien
Arabis gemmifera	Travar ssp.	Cd	Finns ej	Finns ej	Japan
Arrenatherum elatius	Vanlig knylhavre	Cd, Cu, Zn	4 till 9	1 till 8	Europa
Athyrium yokoscense	Majbräknar ssp.	Cd, Cu	7.	1 till 4	Japan
Atriplex hortensis var. purpurea	Trädgrådmålla	Zn	11.	1 till 5	Europa & Asien
Bidens pilosa	Nålskära	Cd	Finns ej	1 till 3	Nord- & Sydamerika
Brassica juncea	Sareptasenap	Cd, Cu, Zn	2 till 11	1 till 8	Eurasia

Figur 12 Forts. Växtlista för Kadmium-, koppar- och zinkackumulerande ört- och gräsväxter med hårdighet i Sverige

<i>Brassica napus</i>	Kålrot/rap	Cd, Cu, Zn	2 till 11	1 till 8	Eurasia
<i>Cichorium intybus</i> var. <i>Foliosum</i>	Sallatscikoria	Cd	4 till 11	1 till 8	Medelhavet
<i>Conyza canadensis</i>	Kanadabinka	Cd, Zn	2 till 11	1 till 8	Nordamerika
<i>Erigeron canadensis</i>	Gråbinka	Cd	4 till 8	1 till 8	USA
<i>Eupatorium capillifolium</i>	Flocksläktet	Cd	4 till 9	1 till 8	Södra USA
<i>Festuca arundinacea</i>	Rörsvingel	Zn	3 till 8	1 till 8	Europa
<i>Helianthus annuus</i> L. Cv. <i>Ikarus</i>	Solros	Cd, Zn		1 till 8	USA
<i>Helianthus tuberosus</i>	Jordärtskocka	Cd	3 till 9	1 till 8	Östra USA
<i>Kalimeris integrifolia</i>	Astersläktet	Cd	5 till 9	1 till 6	Asien
<i>Linum usitatissimum</i> L. Ssp <i>usutatissimum</i> cv. <i>Gold Merchant</i>	Lin	Cd	4 till 10	1 till 8	Medelhavet & Mellanöstern
<i>Medicago sativa</i>	Foderlusern	Cd, Zn	3 till 11	1 till 8	Asien
<i>Nicotiana tabacum</i>	Virginiatobak	Cd, Zn		1 till 4	Nordamerika
<i>Oryza sativa</i>	Ris	Cd	7+	1.	Asien
<i>Potentilla griffithii</i>	Fingerörtsläktet	Cd, Zn	Finns ej	Finns ej	Kina
<i>Raphanus sativus</i> cv. <i>Zhedachang</i>	Rädisa	Cd	Finns ej	1 till 6	Europa
<i>Ricinus communis</i>	Ricin	Cd	10 till 11	1 till 4	Medelhavet & Östafrika
<i>Rorippa globosa</i>	Fränensläktet	Cd		6 1 till 5	Europa
<i>Rumex crispus</i>	Krusskräppa	Cd, Zn	1 till 11	1 till 8	Europa & Asien
<i>Sedum alfredii</i>	Fetknoppsläktet	Cd, Zn	Finns ej	Finns ej	Asien
<i>Sedum jiniianum</i>	Fetknoppsläktet	Cd, Zn	Finns ej	Finns ej	Kina
<i>Sedum plumbizincicola</i>	Fetknoppsläktet	Cd, Zn	Finns ej	Finns ej	Kina
<i>Sesbania drummondii</i>	Sesbaniasläktet, ärtartväxt	Cd	8 till 11	1.	Sydöstra USA
<i>Solanum elaeagnifolium</i>	Silverskatta	Cd	6+	1 till 5	Västra USA & Sydamerika
<i>Solanum nigrum</i>	Nattskatta	Cd, Zn	4 till 7	1 till 8	Eurasia
<i>Solanum tuberosum</i> cv. <i>Luyin No. 1</i>	Potatis	Cd	3 till 11	1 till 8	Sydamerika
<i>Sonchus transcaspicus</i>	Molkesläktet	Cd, Cu, Zn	4 till 9	1 till 8	Europe & Asien
<i>Spinacia oleracea</i> L. Cs. <i>Monnopa</i>	Spenat	Cd		1 till 6	Asien
<i>Tagetes patula</i>	Sammetsblomster	Cd		1 till 4	Nordamerika & Sydamerika
<i>Thlaspi ochroleucum</i>	Backskärfrö ssp.	Zn	Finns ej	Finns ej	Grekland
<i>Tripsacum dactyloides</i>	Gräsart	Zn	4 till 9	1 till 8	Östra USA
<i>Vetiveria zizanioides</i>	Gräsart	Cd, Cu, Zn	8 till 10	1.	Indien
<i>Viola baoshanensis</i>	Viol ssp.	Cd	Finns ej	Finns ej	Kina
<i>Zea mays</i> . <i>Zea mays</i> L. cv. <i>Cascadas</i>	Hybrider av majs	Cd	3 till 11	1 till 8	Nordamerika

3.3.3 Exkluderande växter

Metallexkluderande arter är växter som tolererar att växa i förorenad mark och avmobiliserar tungmetallernas biotillgänglighet genom ämnen som utsöndras ur deras rotsystem och kan göra en jord ”ren” samtidigt som de binder föroreningen i marken och motverkar spridning från erosion. Metallexkluderare tar heller inte upp föroreningen via sina rötter och då heller inte upp i sina växtdelar för spridning av föroreningen till betande djur.

Växtlista för Kadmium-, koppar-, Zink-, och Blyexkluderande lignoser med härdighet i Sverige

Figur 13 Växtlista för Kadmium-, koppar-, Zink-, och Blyexkluderande lignoser med härdighet i Sverige

Träd/buske	Trivialnamn	Förorening	USDA Växtzon	Svensk växtzon	Härstammar från
Juniperus flaccid	Ensläktet	Ca, Zn, Cu, Pb	8+	1	Mexico, sydvästra USA
Quercus ilex ssp. Ballota	Stenek	Ca, Zn	7 till 11	1 till 2	Medelhavet

Växtlista för Kadmium-, koppar-, Zink-, och Blyexkluderande ört- och gräsväxter med härdighet i Sverige

Figur 14 Växtlista för Kadmium-, koppar-, Zink-, och Blyexkluderande ört- och gräsväxter med härdighet i Sverige

Ört/gräs	Trivialnamn	Förorening	USDA Växtzon	Svensk växtzon	Härstammar från
Agrostis tenuis	Rödven	Ca, Zn, Cu, Pb	3 till 10	1 till 8	Asien
Carduus pycnocephalus L. Ssp. pycnocephalus	Gyttertistel	Ca, Zn, Cu, Pb	7+	1 till 2	Södra europa
Erica andevalensis	Klockljugssläktet	Cu, Pb	7+	1 till 2	Europa
Eschscholzia californica	Sömmtuta	Cu	9 till 11	1 till 5	Västra USA
Festuca rubra 'Merlin'	Rödsvingel	Ca, Zn	3 till 8	1 till 8	Norra USA
Gentiana pennelliana	Gentianor	Ca, Zn, Cu, Pb	8+	1.	Florida
Lolium spp.	Repen ssp.	Cu	3+	1 till 8	Europa
Oenothera glazioviana	Jätenattljus	Cu	3 till 8	1 till 8	Nordamerika
Silene paradoxa	Glimmarsläktet	Ca, Zn, Cu, Pb	6+	1 till 5	Sydeuropa
Silybum marianum	Mariatistel	Ca, Zn, Cu, Pb	5 till 9	1 till 6	Sydeuropa
Sinapis arvensis L.	Åkersenap	Ca, Zn, Cu, Pb	6+	1 till 5	Medelhavet

3.3.4 Rhizodegraderande växter för PAH-förening

I rhizosfären, växtens rotsystem så möts mark, växt och mikroorganismer. En växt kan öka mängden mikroorganismer i jorden och rätt växt kan ge förutsättningar för de mikroorganismer som kan ta upp och bryta ner PAH-ämnen.

Växtlista för PAH-ämnen rhizodegraderande ört- och gräsväxter med hårdighet i Sverige

Figur 15 Växtlista för PAH-ämnen nedbrytande ört- och gräsväxter med hårdighet i Sverige

Ört/gräs	Trivialnamn	Petroleum föroreningsgrad	Förening	USDA Växtzon	Svensk växtzon	Härstammar från
<i>Andropogon gerardii</i>	Kalkongräs	Svår	PAH	4 till 9	1 till 7	Nordamerika
<i>Bouteloua curtipendula</i>	Boutelouasläktet, familjen gräs	Lätt & Svår	PAH m.fl	3 till 9	1 till 8	Nord- & Sydamerika
<i>Bouteloua dactyloides</i>	Buffelgräs	Lätt & Svår	PAH m.fl	3 till 9	1 till 8	Nordamerika
<i>Bouteloua gracilis</i>	Moskitgräs	Svår	PAH	3 till 9	1 till 8	Nordamerika
<i>Brassica juncea</i>	Sareptasenap	Lätt & Svår	PAH m.fl	annuell	1 till 6	Asien, Europa & Afrika
<i>Carex cephalophora</i>	Starrsläktet, familjen halvgräs	Svår	PAH	3 till 8	1 till 8	Östra USA
<i>Cercis canadensis</i>	Amerikanskt judasträd	Svår	PAH	4 till 9	1 till 7	Nordamerika
<i>Cynodon dactylon</i>	Hundtandgräs	Lätt & Svår	PAH m.fl	7 till 10	1 till 3	Afrika
<i>Dactylis glomerata</i>	Hundäxing	Lätt & Svår	PAH m.fl	3+	1 till 8	Europa
<i>Elymus canadensis</i>	Kanadaelm	Svår	PAH	3 till 9	1 till 8	Nordamerika
Fabaceae	Baljväxter	Lätt & Svår	PAH m.fl	Varierar	Varierar	Jorden runt
<i>Festuca</i> spp.	Svinglar	Lätt & Svår	PAH m.fl	Varierar	Varierar	Jorden runt
<i>Festuca arundinacea</i>	Rörsvingel	Lätt & Svår	PAH m.fl	3 till 8	1 till 8	Europa
<i>Festuca rubra</i>	Rödsvingel	Lätt & Svår	PAH m.fl	4 till 10	1 till 7	Nordamerika & Europa
<i>Geranium viscosissimum</i>	Nävorsläktet, familjen näveväxter	Svår	PAH	2+	1 till 8	Väst- och nordamerika
<i>Helianthus annuus</i>	Solros	Svår	PAH	annuell	1 till 8	Nord- och Sydamerika
<i>Juncus effusus</i>	Veketåg	Svår	PAH	2 till 9	1 till 8	Jorden runt
<i>Lolium multiflorum</i>	Italiensk rajgräs	Lätt & Svår	PAH m.fl	5+	1 till 6	Europa
<i>Lolium perenne</i>	Engelskt rajgräs	Lätt & Svår	PAH m.fl	3 till 9	1 till 8	Europa & Asien
<i>Lolium</i> spp.	Repen ssp.	Lätt & Svår	PAH m.fl	Varierar	Varierar	Europa, Asien & Nordafrika
<i>Lotus corniculatus</i>	Käringtand	Lätt & Svår	PAH m.fl	5+	1 till 8	Europa
<i>Medicago sativa</i> var. Cimarron VR	Blålusen var. Cimarron VR	Lätt & Svår	PAH m.fl	3 till 11	1 till 8	Mellanöstern
<i>Melilotus officinalis</i>	Gul sötväppling	Lätt & Svår	PAH m.fl	4 till 8	1 till 7	Europa & Asien
<i>Miscantus x giganteus</i>	Elefantgräs	Svår	PAH	4 till 9	1 till 7	Japan
<i>Panicum virgatum</i>	Jungfruhirs	Lätt & Svår	PAH m.fl	2 till 9	1 till 8	Nordamerika
<i>Elymus smithii</i>	Elmarsläktet, familjen gräs	Lätt & Svår	PAH m.fl	4 till 9	1 till 7	Nordamerika
<i>Phalaris arundinacea</i>	Rörflen	Svår	PAH	4 till 9	1 till 8	Europa
<i>Poa pratensis</i>	Ängsgröe	Lätt & Svår	PAH m.fl	3 till 8	1 till 8	Europa
Poaceae	Gräs	Lätt & Svår	PAH m.fl	Varierar	Varierar	Jorden runt

Figur 16 forts. Växtlista för PAH-ämnen nedbrytande ört- och gräsväxter med hårdighet i Sverige

Schizachyrium scoparium	Präriegräs	Svår	PAH	2 till 7	2 till 8	Östra USA
Secale cereale	Råg	Lätt & Svår	PAH m.fl	3+	1 till 8	Asien
Senna obtusifolia	Sojasenna	Svår	PAH	7+	1 till 2	Nord- & Sydamerika
Solidago spp.	Gullris ssp.	Lätt & Svår	PAH m.fl	Varierar	Varierar	Nord- & Sydamerika, Europa & Asien
Sorghastrum nutans	Sorghastrumsläktet, familjen gräs	Lätt & Svår	PAH m.fl	2 till 9	1 till 8	Nordamerika
Spartina pectinata	Präriemarksgräs	Svår	PAH	5+	1 till 6	Nordamerika
Trifolium repens	Vitklöver	Lätt & Svår	PAH m.fl	3+	1 till 8	Europa
Trifolium ssp.	Klöver ssp.	Lätt & Svår	PAH m.fl	Varierar	Varierar	Jorden runt
Tripsacum dactyloides	Tripascumsläktet, familjen gräs	Lätt & Svår	PAH m.fl	4 till 9	1 till 7	Östra USA
Vulpia microstachys	Ekorrsvinglar	Lätt & Svår	PAH m.fl	Finns ej	1 till 5	Nord- & Centralamerika

Tabell 8. Växtlista för PAH-ämnen nedbrytande lignoser med hårdighet i Sverige

Figur 17 Växtlista för PAH-ämnen nedbrytande lignoser med hårdighet i Sverige

Träd/buske	Trivialnamn	Förening	USDA Växtzon	Svensk växtzon	Härstammar från
Betula pendula	Vårtbjörk	PAH	3 till 6	1 till 8	Europa
Celtis occidentalis	Bäralm	PAH	2 till 9	1 till 8	Nordamerika
Fraxinus pennsylvanica	Rödask	PAH	2 till 9	1 till 8	Östra USA
Morus alba	Vitt mullbär	PAH	3 till 9	1 till 8	Kina
Morus rubra	Mullbär	PAH	5 till 10	1 till 6	Östra USA
Paulownia tomentosa	Kejsarträd	PAH	7 till 10	1 till 2	Kina
Populus nigra var. Italica	Italiensk pelarpoppel	PAH	4 till 9	1 till 7	Italien
Populus ssp.	Poppelarter & hybrider	PAH	Varierar	Varierar	Varierar
Robinia pseudoacacia	Robinia	PAH	4 till 9	1 till 7	Nordamerika
Salix nigra	Svartvide	PAH	2 till 8	1 till 8	Östra Usa
salix ssp. Salix interior Salix exigua	Vidensläktet	PAH	Varierar	Varierar	Jorden runt
Salix viminalis	Korgvide	PAH	4 till 10	1 till 7	Europa & Asien

4. DISKUSSION

4.1 Korrelation mellan förorenande tungmetaller och järnvägsaktivitet

Metallerna kadmium, bly, zink och koppar var de tungmetaller som kunde påvisas finnas i så pass höga doser att de i de flesta studier klassades som förorenande. Att de sjunker linjärt i sin koncentration desto längre bort från banvallen man mätte och var i högre koncentration än testjordarna kunde påvisa att de kom från järnvägen (Liu *et al.* 2008; Zhang *et al.* 2012, 2013). Den ökande halten av föroreningarna i jorden kopplade till tiden av järnvägsaktivitet och intensitet kunde också stärka detta (Chen *et al.* 2014; Wilkomirski *et al.* 2011). Studier utförda på sträckan Delhi-Ulan tillhörande Qinghai-Tibet järnvägen i Kina av Hua Zang *et al.* (2013) tar upp hur flera tidigare studier diskuterat horisontellspridning av tungmetaller och var de förorenande tungmetallerna funna vid järnvägar kommer ifrån. De studierna hade inte kunnat visa på den direkta korrelationen mellan distansen från järnväg och förorening. Men genom Delhi-Ulan studien (Zhang *et al.* 2013) gjordes samtliga tester på kontrollerat avstånd från andra kända förorenare som motorvägar, vägar och industri. Partikelstorleken från föroreningarna kontrollerades med ytorna och djupet som de återfanns på och resultatet var att dessa fyra tungmetaller var knutna till järnvägen. En studie på tester från en bergsjärnväg i Sichuan, Kina där det gjordes försök på tre olika topografier (Liu *et al.* 2008), visade samma lineära minskning horisontellt sett bort från banvallen.

Flera studier tar upp och jämför föroreningsgrad mellan sin och andra studier för att diskutera föroreningsgradens ökning över tid och korrelation med aktiviteten på berörd järnväg (Han *et al.* 2018; Wang *et al.* 2018; Wierzbicka *et al.* 2015; Wilkomirski *et al.* 2011). En av de inkluderade studierna utgår däremot från den här frågeställningen i sin forskning över fyra stycken provtagningsområden vid järnvägsskurna bergssluttningar i området runt Suining järnvägsstation i Suining, Sichuan provinsen i Kina (Chen *et al.* 2014). Studien utgår från fyra stycken provtagningsområden vid järnvägsskurna bergssluttningar i området runt Suining järnvägsstation i Suining, Sichuan provinsen i Kina. Proverna är tagna från konstgjord jord sprutad på naken berggrund efter byggandet av järnvägen. 100 stycken tester utfördes på fyra platser, Första platsen i studien var en helt nyanlagd järnväg och hade knappt utsatts för någon tågtrafik alls. Den andra platsen var byggd 2007 och vid studiens tillfälle hade den varit aktiv i 5 år. Den tredje byggd i 2003 med nio års aktivitet och den fjärde platsen var byggd 1997 med 15 års aktivitet. Slutsatserna av denna studie var att med längre tid med järnvägsaktivitet

så ökade föroreningsgraden av dessa tungmetaller i jorden kring järnvägen och att alla testplatser utom plats 1 (den nästan oanvända), visade påtagbar ekologisk risk. Den visade också att tågtrafiken bidrog starkt till förhöjda halter av bly och kadmium, men mindre till de förhöjda halterna av zink, koppar, järn och krom.

Föroreningarna påvisas i studierna att horisontellt vara högst i koncentration mellan 0-5 meter från där banvallen slutar och ha en förorenande effekt upp till 20 meter på var sida av banvallen (Liu *et al.* 2008; Zhang *et al.* 2012). Spridningen av de förorenade metallerna ges som förklaring genom studierna i de olika topografierna och växtligheterna vid sidan av banvallarna. Tillexempel om det varit sluttning eller platt eller om det har funnits hyperackumulerande växter för en tungmetall naturligt växande på platsen (Chen *et al.* 2014). Malgorzata Wierzbicka *et al.* studie (2015) och ovanstående studier utförde sina tester i jorddjupet och kunde visa att som högst var föroreningarna i toppskiktet av jorden 0-10 cm och markant förorening ner till 20 cm. Datan med mätdjup är mer begränsande än det horisontella då flera av studierna endast utförde tester på toppskiktet (0-10 cm) av jorden.

4.3 Korrelation mellan förorenande PAH-ämnena och järnvägsaktivitet

Tre av de inkluderade studierna utförde tester för PAH-ämnena och samtliga studier fann dessa ämnena i sina tester. Endast Wilkomirski *et al.* (2011) studie från en stor aktiv järnvägs korsning i Polen, fann halter som tydde på extrem förorening av PAH-ämnena. Järnvägs korsningen där studien utfördes är en funktionell järnvägs korsning med avlastning och lastning samt trafik. Den ligger beläget i den västra delen av sjö-landskapet Mazurian som saknar tung industri i området och varit aktiv med tågtrafik sedan järnvägen anlades 1870. Denna järnvägs korsning har varit intressant för liknande studier tidigare och Wilkomirski jämförde sina halter med en studie som publicerades 2001 (Malawska & Wilkomirski 2001). Testerna hade utförts 13 år tidigare än studien som publicerades 2011 och utan att någon renovering eller utbyggnad av järnvägs korsningen hade skett under åren, hade halterna av PAH-ämnena stigit markant under de 13 åren. Endast tågtrafik och tågaktivitet hade pågått. De utförde testen på ett jorddjup av 0-20 cm.

Malgorzata Wierzbicka *et al.* (2015) utförde en flerdimensionell utvärdering av markföroreningar vid fyra järnvägsstationer i nordöstra Polen och även här var markdjupet 0-20 cm och de testade direkt på platsen av rälsen. De fann höga och giftiga halter av PAH-

ämnen men enligt Polsk lag för industri och transportområden från 2002 som var i enlighet med Europeisk lag vid tillfället så översteg inte halterna den godkända nivån.

En av studierna genomfördes av Il Han et al. (2018) på schaktmassor från en tidigare järnväg som låg på landsbygden i Sydkorea och skulle renoveras. Studiens syfte var att undersöka potentialen att återanvända schaktmassorna till odling av ärtor eller om föroreningsgraden var för hög. Bakgrunden var just att forskarna saknade studier på föroreningar knutna till järnvägar och järnvägsaktivitet för landsbygden. Il Han et al. kom fram till att även om PAH-ämnen påfanns i schaktmassorna så skiljde de sig inte markant i halterna funna från testjordarna och var nästan 1000 gånger mindre prevalens än järnvägsforsningshalter i Polen (Wiłkomirski *et al.* 2011). När de använde delar av schaktmassorna från järnvägen i uppbyggandet av odlingsjord för ärtor så fann de också att ärtorna växte bättre och gav större skörd. Detta var inte direkt knutet till PAH-ämnen utan till låga doser av tungmetaller som spädde ut med odlingsjord. Här analyserades tre tester på olika djup från banvallen. 0-30 cm, 30-40 cm och 40 cm ner till den naturliga jorden under banvallen.

I de tre studier över PAH-ämnen så utfördes testerna direkt på banvallen till skillnad från testerna över tungmetallerna. Så den här studien har inte kunnat påvisa en direkt siffra för horisontell spridning av PAH-ämnen. Men Malgorzata Wierzbicka (2015) studie från fyra stycken järnvägsstationer i nordöstra Polen utförde en flerdimensionell utvärdering när de undersökte marken. Utöver den kemiska analysen av jordproverna så gjordes fyra stycken biotest. Ett av biotesterna var en fytotoxisk undersökning där de odlade *Lepidium sativum* L – smörgåskrasse. *Sinapis alba* L. – Vitsenap och *Sorghum saccharatum* – Durra i jordproverna från platserna och undersökte den fytotoxiska miljön för dessa växter och använde det som indikator över hur fytotoxisk (giftig för växter) miljön på järnvägsstationerna är. Två av platserna visade på tydlig förorening när det kom till dessa växter men betydligt mindre på resterande fyra platser. Wierzbicka et al. har använt de tre växterna som en klusteranalys när fytotoxiteten bestämts. Vid närmare studerande av växternas individuella utveckling i jordarna kan man se att *Sorghum saccharatum* - durra är den som sticker ut i att visa på en lägre toxicitet i samtliga jordar. Det intressanta med det är att *Sorghum saccharatum* är klassificerad som en av de petroleum degraderande växterna från Kennen & Kirkwoods bok *Phyto* (2015) och mer specifikt för PAH-ämnen. Den här studien har inte med *Sorghum saccharatum* i växtlistan över växter härdiga i Sverige för den fann sig inte vara härdig. Men i en kontrollerad miljö som i laboratoriet för Malgorzata Wierzbickas et al. (2015) studie är den

det och att använda den som en indikatorväxt för hur toxisk en jord är kan bli missvisande då den både stimulerar degradering av PAH-ämnen och tål att bo i PAH-förorenande jordar.

4.5 Kan växter användas för att sanera de vanligaste föroreningarna vid järnvägar i Sverige?

Efter att de två frågeställningarna besvarats i studien är det enkla svaret ”Ja, växter kan användas för att sanera de vanligaste föroreningarna vid järnvägar i Sverige och här är växtlistorna”. Men det är i praktiken väldigt mycket mer komplext än så. Marmioli & McCutcheon (2003) har summerat många av utmaningarna med att göra fyto Remediering till en framgångsrik teknologi. Flera praktiska aspekter behöver tas i beaktning innan man sår in fyto Remedierande växter. Som ståndort, växtval, hur föroreningarna kommer att förvaras eller tas hand om av växten på plats, biotillgänglighet av föroreningen, rotkapaciteten hos växten, hur lång tid saneringen ska få ta och hur extensiv skötsel de behöver. Sedan behövs en plan för hur skördandet av dem ska gå till och det är ekonomiska frågor om skörden ska ske manuellt eller maskinellt. Vilka risker platsen för skötsel och skördandet kan utsätta personal för. Vart och hur de extraherade växterna och det material som lämnas på platsen ovan och under mark ska tas hand om efter skörd. Marmioli & McCutcheon (2003) listar även de största begränsningarna för fyto Remediering att lyckas. De handlar om, för att kunna sanera föroreningar effektivt måste växterna kunna leva där föroreningen finns och då kan inte föroreningsgraden vara för hög. Saneringen begränsas också till växtens rotdjup, så om en förorening ligger på ett för stort djup i jorden behöver den på något vis exponeras för växten. Till exempel med att pumpas upp till växten eller så planterar man växten i rör för att den ska komma längre ner i jorden. Om det är låg biotillgänglighet på grund av pH-värdet i jorden eller den organiska halten kan man behöva förändra dessa värden för att lyckas. Även frågan om hur lång tid som finns för sanering återkommer.

När det kommer till den föroreningsgraden som enligt den här studien förekommer vid järnvägar i Sverige så kan studien fastslå att järnvägstrafik i sig är en förorenande aktivitet. Studier visar på hur tid och aktivitet höjer halterna av just dessa tungmetaller och PAH-ämnen (Chen *et al.* 2014; Wilkomirski *et al.* 2011; Zhang *et al.* 2012). Föroreningarna är dock i relativt sett låga halter vilket talar gott för att de växter som klarar av att extrahera och degradera dessa föroreningar inte kommer att utsättas för så förorenande halter att de inte

kommer att kunna leva där. Även att föroreningarna är funna på grunda djup talar gott för växternas effektivitet då saneringspotentialen är starkt knutet till rot djupet och djupet av föroreningen.

4.6 Design, skötsel i Right of Way

Den här studien hade även som ambition att vid ett sådant resultat som nu utfallit arbeta fram ett designförslag för Trafikverket att kunna använda inom sina skötselgator, platsen för föroreningarna. Designförslaget kallas i arbetsnamn för en ”*Renande Design*”. Detta har det varken funnits plats eller tid för att slutföra, men en del förarbete till en sådan designstämpel har gjorts och ska här delas.

Det tvärvetenskapliga inom en sådan design gör att man träffar flera olika professioner som bidrar med viktiga men också olika synsätt och krav på genomförande. Som landskapsarkitekt hade just upplevelsevärdet och även utmaningen att skapa design som kan upplevas i 200 km/h varit spännande. Men även kunna dyka ner där järnvägen tangerar promenadstråk och naturrum som människan rör sig vid till fots dylikt och utforma de till något estetiskt tilltalande. Ungefär som avverkning av skog på flera platser i Sverige idag lämnar några rader träd längs just stråken för att bedriva sin stora avverkning en bit bort från insyn. Platser där tågen saktar ner, som förstäder och centrum hade också gett en annan möjlighet till en renande design. Det som blir allt vanligare nu vid anläggning av järnväg är att anlägga flera meter höga bullervallar vid sidan av dem för att skydda omgivning från bullernivåerna. Med rätt design och forskning skulle man kunna lägga förorenade massor som yttre jordlager och sedan plantera en renande design som tar bort behovet för att transportera de förorenade massorna bort från platsen för konventionell sanering. Samt att det är växter som fortsatt tar upp eller bryter ner de föroreningar man förväntar sig komma från trafiken genom åren och då håller jordarna sanerade.

Ekologen skulle kunna se en renande design som ett verktyg för att öka den biologiska mångfalden längs våra över 1000 mil järnvägar i Sverige. Likt Björn Wiströms forskning diskuterar om att kunna bygga en graderande växtlighet genom skötselgatorna mot den mötande naturen (Wiström 2015).

Första utmaningen med en sådan design är det praktiska som är trafikverkets skötselgator. 20 meter på varje sida av banvallen fritt från träd och vedartat material.

Inom ROW- management finns det forskning på hur plantering av ört-, gräs- och busk-arter under högspänningsledning har saktat ner successionen mot träd Klimaxstadie (Bramble & Byrnes 1983; Nowak & Ballard 2005). Detta sätt att sköta ROW-tytor skulle skilja sig från den metod man använder idag i Sverige där man helt röjer ytan och får återkomma regelbundet för fortsatt röjning. Med en planerad plantering och punktinriktad skötsel menar Bramble & Byrnes och Nowak & Ballard att man etablerar ett starkt ekologiskt system där betandes djur äter skott och små trädplantor som kommer ur det så pass starka trädhämmande mark- och buskskiktet (Bramble & Byrnes 1983; Nowak & Ballard 2005). Den här studien skulle uppmana till en tvärvetenskaplig forskning mellan skötselprinciper för ROW, design med fyto Remedierande växter, biologer, mikrobiologer, ekologer och skötselpersonal vid trafikverket för att se om inte det skulle gå att istället för att jobba rationellt inom varje sektor. Där potentiella problem i sin sektor hanteras där för sig, som sanering av förorenad mark, röjning av riskträd och vedartade material. Eller en homogen och relativt artfattig barriär längs järnvägarna i Sverige. Istället se om man kan bemöta dessa problem med flera kunskaper och erfarenheter och från det lösa och förebygga framtida problem som man redan vet om kommer att dyka upp.

4.7 Styrkor

Metoden utfördes systematiskt och går att återskapa för kontroll eller för vidare forskning och studerande av de inkluderade artiklarna.

Styrkan i resultatet för fråga 1 ligger i de liknande resultaten från studierna över markföroreningar vid järnväg som var spridda över hela världen. I den här studien av de vanligaste föroreningarna vid svenska järnvägar gjordes en systematisk litteraturstudie där de inkluderade studierna visade att det fanns en direkt koppling mellan järnvägar och fyra stycken tungmetaller samt PAH-ämnen. Studierna som inkluderades var mellan år 2009 och år 2018 utan att år för publikation var ett inkluderingskriterier. Detta visar på en aktualitet i ämnet och forskning kring föroreningar vid och från järnvägar.

För att sammanställa dessa växtlistor korrekt och för användning och vidare forskning behöver man förstå något så komplext som individuella växters förmåga att sanera olika föroreningar. För att kunna använda växter i något så viktigt som sanering av förorenad mark behövs forskning med tydliga resultat på exakt detta. För en person eller en grupp forskare att göra detta är övermäktigt. Istället behövs just denna typ av samarbete som den här studien är ett resultat av, en sammanställning av forskning från hela världen. Att se det som tvärvetenskapligt och ta hjälp av varandras resultat är vägen fram för att tydligt kunna påvisa effekten hos fyto Remediering.

I den här studiens arbete så har ingen växtlista med intention att visa växter efter fyto Remedierande egenskaper för föroreningar vid järnvägar och hårdighet efter svenska växtzoner påkommit. Att det blev resultatet från den här studien ses som en styrka. Att majoriteten av växterna inte är vedartade är även en styrka när det kommer till plantering vid järnvägar då det finns strikta regler kring vedartat material inom skötselgatorna vid järnvägarna och det är även där föroreningarna påträffats. Det gör växtlistorna och ämnet mer intressanta för vidare forskning.

4.8 Svagheter

Den här sökstrategin tog inte i hänsyn nationella skillnader kring vilka ämnen som används för att driva tåg, eller viss det finns olika tillåtna medel för bespruta banvall, att impregnera eller smörja och skydda komponenter i järnvägen och dessa är alla kända förorenande källor. Då en del av arbetet med att förhindra och förstå föroreningar är att djupare identifiera vart de kommer ifrån.

Studierna som studerades och sammanställdes visade var för sig olika tungmetaller i dess förorenande halter. Men en förorenande tungmetall som i en studie visades vara knuten till järnvägen föll utanför den här studien om den bara uppkom till exempel i en av de åtta studierna. Så att sammanställa de "vanligaste" föroreningarna utefter dessa åtta studier har mycket väl uteslutit förorenande tungmetaller.

Av resultatet så ser studien att fem av de inkluderade artiklarna inte redovisar pH-värde i sina tabeller men tar upp att de undersöker detta. Endast tre visade på pH i jorden. Detta kan anses som en svaghet när det kommer till val av växter då pH är en viktig komponent i både valet av växt samt biotillgängligheten av föroreningen, speciellt för biotillgängligheten hos

tungmetaller. Till exempel Kadmium och Zink har visat sig vara mer biotillgängliga för växters upptag i jordar med surare pH. Samtidigt om man tillsätter basiska substrat så binds dessa två metaller hårdare i jorden (Wang *et al.* 2006). Men det kan förklaras med att studierna inte undersökte biotillgängligheten av metallerna i jorden eller deras potentiella urlakning utan just bara förekomst och koncentrationen av dem.

Den här studien har sammanställt åren för publikation från studierna som listorna baseras på men ej gått in i var studie för att kontrollera hur försöken har gjorts. Eller om referensstudierna har gått så långt att bevisa växternas funktionalitet i fält och deras trovärdighet.

Då litteraturen publicerades 2015 och den här studien har konstaterat att ämnet är relevant och aktuellt så kan det under dessa fem år ha tillkommit fler resultat och information kring växters förmåga att sanera dessa föroreningar. Eller tvärt om, studier som visar det motsatta kan ha genomförts och publicerats.

Vid översättningen av det amerikanska växtzonssystemet så använde den här studien minimumtemperatur som grund för översättningen. Även om en hårdighetskontroll utfördes på samtliga växter i SLU:s artdatabank Artfakta.se, Den Virtuella Floran från Naturhistoriska riksmuseet och The species 2000 & ITIS Catalogue of Life så skulle en betydligt mer utförlig översättning krävas för att verkligen säkerställa växternas hårdighet i Sverige. Generellt skulle maximumtemperatur, hur många dagar efter varandra en viss temperatur har, antal soltimmar och nederbörd tas i beaktning. Lokalt skulle också ståndort och jordart på platserna för eventuellt användande tas med. Majoriteten av växtlistorna består också av ört- och gräsväxter som övervintrar under jord, så genomsläplighet i marken och tjäle kommer att spela en stor faktor för hårdighet i Sverige. Just nu är det svenska klassificeringssystemet för ört- och gräsväxter med a-, b-, c- och d-indelningar under revidering och en översättning till en mer exakt och lokal zonindelning kommer kanske att kunna underlättas när det nya kommer ut. De listor som sammanställts i uppsatsen kan till största del ses som ett första steg i undersökningen om dessa växters hårdighet i Sverige.

5. SLUTSATS

Slutsatsen är att användandet av järnvägar bidrar med markföroreningar och att desto mer man använder järnvägen desto mer ökar föroreningarna. De vanligaste är tungmetallerna kadmium, bly, zink, koppar och PAH-ämnen. Det finns växter som bryter ner föroreningen och oskadliggör den i sin egen massa eller i sin rotzon med hjälp av mikrolivet i jorden som växterna också bidrar med att öka. Det finns också växter som tar upp föroreningen och ackumulerar den i sin massa, dessa växter behöver skördas och flyttas från platsen för att saneringen ska bli fullständig. Det finns även växter som kan stabilisera föroreningen och förhindra att den sprids, både i land, vatten och vidare till djur.

Fytoremediering är för de funna föroreningarna en tidskrävande saneringsmetod jämfört med de mer konventionella metoderna. Utmaningar finns och den fungerar bara när växten fungerar. Alltså kan inte så höga halter av en förorening finnas så att marken blir fytotoxisk. Rätt växt för rätt plats, växten måste också kunna leva och frodas på platsen för att en effektiv sanering ska uppfyllas, ståndortsanalys och växtval därefter är avgörande. Sanering med växter kan också bara fungera så långt som rötterna går ner i marken så föroreningar djupt i jord kommer till största del växten inte åt. Vid järnvägsföroreningar verkar inte det vara ett problem då föroreningshalterna är relativt sett låga och de återfinns i de övre jordlagren. Implementeringen av fytoremediering som saneringsmetod skulle kunna gynna fler aspekter än minskandet av transporter för förorenade schaktmassor. Det skulle kontinuerligt kunna hålla föroreningar oskadliga genom att växa där. Andra vetenskaper kan inkluderas och en vidare forskning om detta hade varit intressant.

Källförteckning

Bramble, W.C. & Byrnes, W.R. (1983). THIRTY YEARS OF RESEARCH ON DEVELOPMENT OF PLANT COVER ON AN ELECTRIC TRANSMISSION RIGHT-OF-WAY. *Journal of Arboriculture*, vol. 9(3), s. 8. Tillgänglig: <https://www.velco.com/library/document/download/2030/VELCO.EAL.FINAL%20PET%20REB.9.3.pdf>

von Caemmerer, S. & Baker, N. (2007). The Biology of Transpiration. From Guard Cells to Globe. *Plant Physiology*, vol. 143 (1), s. 3. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.104.900213>

Campbell, R., and Greaves, M. P. (1990). Anatomy and community structure of the rhizosphere. *The Rhizosphere*. Chichester, West Sussex, England ; New York: Wiley & Sons,

Chen, Z., Wang, K., Ai, Y.W., Li, W., Gao, H. & Fang, C. (2014). The effects of railway transportation on the enrichment of heavy metals in the artificial soil on railway cut slopes. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 186 (2), ss. 1039–1049. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3437-3>

EPA - U.S Environmental Protection Agency (2000). *Introduction to Phytoremediation*. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency.

Genetiknämnden (2016). *Metabolit*. Tillgänglig: <https://genteknik.nu/metabolit/> [2020-05-25]

Han, I., Wee, G.N., No, J.H. & Lee, T.K. (2018). Pollution level and reusability of the waste soil generated from demolition of a rural railway. *Environmental Pollution*, vol. 240, ss. 867–874. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.025>

Kemikalieinspektionen (2016). *Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)*. Tillgänglig: <https://www.kemi.se/prio-start/kemikalier-i-praktiken/kemikaliegrupper/polycykliska-aromatiska-kolvaten-pah> [2020-05-25]

Kennen K. & N. Kirkwood (2015). *Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design*. 1 edition. Abingdon, Oxon: Routledge.

Kuppusamy, S., Palanisami, T., Megharaj, M., Venkateswarlu, K. & Naidu, R. (2016). Ex-Situ Remediation Technologies for Environmental Pollutants: A Critical Perspective. I: de Voogt, P. (red.) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 236*. Cham: Springer International Publishing, ss. 117–192. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20013-2_2

Linda Linderholm (2019). *Fakta och statistik om PCB Naturvårdsverket*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Organiska-miljogifter/PCB/> [2020-05-25]

Liu, H., Chen, L.-P., Ai, Y.-W., Yang, X., Yu, Y.-H., Zuo, Y.-B. & Fu, G.-Y. (2008). Heavy metal contamination in soil alongside mountain railway in Sichuan, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 152 (1), s. 25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0293-7>

- Lundberg, K., Frosth, S., Meurman, F., Johansson M., Robinson, T. (2017). *Energieffektiv och cirkulär masshantering i Trafikverket genom extern samverkan – Fallstudie Södertörn / Optimass – Nationell plattform om jord och bergmaterial*. (Projektnummer: TrV 2016/55462). Borlänge: Trafikverket. Tillgänglig: <https://www.optimass.se/publikationer/energieffektiv-och-cirkular-masshantering-i-trafikverket-genom-extern-samverkan-fallstudie-sodertorn/> [2020-04-20]
- Ma, X. & Burken, J.G. (2003). TCE Diffusion to the Atmosphere in Phytoremediation Applications. *Environmental Science & Technology*, vol. 37 (11), ss. 2534–2539 American Chemical Society. DOI: <https://doi.org/10.1021/es026055d>
- Malawska, M. & Wilkomirski, B. (2001). An Analysis of Soil and Plant (*Taraxacum Officinale*) Contamination with Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) In the Area of the Railway Junction Ilawa Główna, Poland. *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 127 (1), ss. 339–349. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005236016074>
- McCutcheon, S. C. & J. L. Schnoor (2003). *Overview of Phytotransformation and Control of Wastes*. In *PHYTOREMEDIATION - Transformation and Control of Contaminants*. John Wiley & Sons, Inc. (Environmental Science and Technology)
- N. Marmiroli & S. C. McCutcheon (2003). *Making Phytoremediation a Successful Technology*. In *PHYTOREMEDIATION - Transformation and Control of Contaminants*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Naturvårdsverket (2018). *Fördjupad analys av svensk klimatstatistik 2018 Naturvårdsverket*. (Rapport 6848). Stockholm: Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Om-Naturvardsverket/Publikationer/ISBN/6800/978-91-620-6848-6/> [2020-05-16]
- Naturvårdsverket (2019a). *Miljömålssystemets historia*. Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljomalssystemet/Miljomalssystemets-historia/> [2020-04-17]
- Naturvårdsverket (2019b). *Miljökvalitetsmålet Giftfri miljö*. Naturvårdsverket. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Giftfri-miljo/> [2020-04-17]
- Naturvårdsverket (2020). *Avfallsstatistik för utvalda branscher*. Stockholm: Miljödepartementet Naturvårdsverket. Tillgänglig: <http://naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Mark/Avfall/Statistik-utvalda-branscher/> [2020-04-21]
- Nowak, C.A. & Ballard, B.D. (2005). A FRAMEWORK FOR APPLYING INTEGRATED VEGETATION MANAGEMENT ON RIGHTS-OF-WAY. *Journal of Arboriculture*, vol. 31(1), s. 10. Tillgänglig: http://www.rowstewardship.org/resource_pdfs/ivm_framework.pdf
- Oskar Henriksson (2016). *Kolväten - Naturvetenskap.org*. Tillgänglig: <https://www.naturvetenskap.org/kemi/hogstadiekemi/organisk-kemi/kolvaten/> [2020-05-25]
- Raskin, I., Kumar, P., Dushenkov, V. & Salt, D. (1994). Bioconcentration of metals by plants. *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 5, ss. 285–290. DOI: [https://doi.org/10.1016/0958-1669\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0958-1669(94)90030-2)

Riksdagsförvaltningen (2001). *Sveriges klimatstrategi* (Regeringens Proposition 2001/02:55) Stockholm: Regeringskansliet. Tillgänglig: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/proposition/sveriges-klimatstrategi_GP0355 [2020b-05-15]

SFS 1972:719. *Expropriationslag*. Stockholm: Justitiedepartementet.

SFS 1995:1649 t.o.m. SFS 2019:894. *Lag om byggande av järnväg*. Stockholm. Infrastrukturdepartementet.

SFS 1998:808. *Miljöbalken*. Stockholm: Miljö- och energidepartementet.

Svensk Byggtjänst (2017). *MER anläggning 17 : mät- och ersättningsregler - anläggningsarbeten med mall till mängdförteckning*. Stockholm: Svensk Byggtjänst. Tillgänglig: Svensk Byggtjänst [2020-04-12]

Svenska Geotekniska Föreningen (2018). *BTEX*. Tillgänglig: <http://atgardsportalen.se/foreningar/btex> [2020-05-25]

Svenska Geotekniska Föreningen (2020a). *Åtgärdsportalen*. Tillgänglig: <http://www.atgardsportalen.se/om-atgardsportalen/ordlista#insitu> [2020-04-24]

Svenska Geotekniska Föreningen (2020b). *Åtgärdsportalen*. Tillgänglig: <http://www.atgardsportalen.se/om-atgardsportalen/ordlista#exsitu> [2020-04-24]

Sveriges Riksdag (1999). *Begränsad klimatpåverkan - Sveriges miljömål*. Tillgänglig: <http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/begransad-klimatpaverkan/> [2020-05-13]

Sveriges Riksdag (2018). *Precisering av Begränsad klimatpåverkan - Sveriges miljömål*. Tillgänglig: <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/begransad-klimatpaverkan/precisering-av-begransad-klimatpaverkan/> [2020-05-15]

Sättertorps Grus (2020). *Vanliga frågor*. Strängnäs: Sättertorps Grus. Tillgänglig: <https://www.satertorpsgrus.se/vanliga-fraagor/> [2020-04-21]

Trafikverket (2013). *Vad händer när en väg eller järnväg byggs?* Tillgänglig: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10665/RelatedFiles/100584_Vad_hander_nar_en_vag_eller_jarnvag_byggs_201303.pdf [2020-05-25]

Trafikverket (2020a) *Bekämpningsmedel*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/Material-och-kemiska-produkter/kemisk-ograsbekampning/Bekampningsmedel/> [2020a-05-16]

Trafikverket (2020b) *Så sköter vi järnvägar*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-jarnvagar/> [2020b-05-16]

Vägavdelningen (Vägverket 2002). *Miljöbedömning av anläggningsprodukter - Förstudie*. (2002:29). Borlänge: Vägverket. Tillgänglig: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11082/RelatedFiles/2002_29_miljobedomning_av_anlaggningsprodukter_forstudie.pdf [2020-04-20]

- Wang, A.S., Angle, J.S., Chaney, R.L., Delorme, T.A. & Reeves, R.D. (2006). Soil pH Effects on Uptake of Cd and Zn by *Thlaspi caerulescens*. *Plant and Soil*, vol. 281 (1–2), ss. 325–337. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4642-9>
- Wang, Z., Watanabe, I., Ozaki, H. & Zhang, J. (2018). Enrichment and Bioavailability of Trace Elements in Soil in Vicinity of Railways in Japan. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 74 (1), ss. 16–31. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0471-0>
- Wierzbicka, M., Bemowska-Kałabun, O. & Gworek, B. (2015). Multidimensional evaluation of soil pollution from railway tracks. *Ecotoxicology*, vol. 24 (4), ss. 805–822. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-015-1426-8>
- Wiłkomirski, B., Sudnik-Wójcikowska, B., Galera, H., Wierzbicka, M. & Malawska, M. (2011). Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution. *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 218 (1–4), ss. 333–345. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0645-0>
- Wiström, B. (2015). *Forest edge development*. Tillgänglig: <https://pub.epsilon.slu.se/12912/> [2020-04-23]
- Zhang, H., Wang, Z., Zhang, Y. & Hu, Z. (2012). The effects of the Qinghai–Tibet railway on heavy metals enrichment in soils. *Science of The Total Environment*, vol. 439, ss. 240–248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.027>
- Zhang, H., Zhang, Y., Wang, Z. & Ding, M. (2013). Heavy metal enrichment in the soil along the Delhi–Ulan section of the Qinghai–Tibet railway in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 185 (7), ss. 5435–5447. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2957-6>