



**Utveckling av metoder för
vegetationsbekämpning i järnvägsmiljö
– redovisning av genomförda
aktiviteter 2019–2021 samt förslag på
fortsatt verksamhet**

Harald Cederlund och Fredrik Fogelberg

Utveckling av metoder för vegetationsbekämpning i järnvägsmiljö

Harald Cederlund

Sveriges lantbruksuniversitet,

Institutionen för molekylära vetenskaper

Fredrik Fogelberg

RISE Research Institutes of Sweden

Innehåll

Innehåll.....	3
1 Sammanfattning	5
2 Bakgrund till projektet.....	5
2.1 Projektets delprojekt och genomförande	7
3 Projektdel 1 – utveckling och provning av metoder för icke-kemisk vegetationsbekämpning	7
3.1 Mekaniska metoder	8
3.1.1 Ballastplogning.....	9
3.1.2 Ballastplogning Åtvidaberg 2021	11
3.1.3 Utrustning för krattning och skrapning.....	23
3.2 Fältförsök för utvärdering av mekaniska metoder och gröna spärrzoner.....	28
3.2.1 Utvärdering av försöksytorna	43
3.2.2 Resultat.....	44
3.2.3 Slutsatser	46
3.3 Termiska metoder.....	47
3.3.1 Utvärderingar och provningar 2019 - 2020	47
3.3.2 Resultat av hetvattenbekämpning i Östersund	48
3.3.3 Prototypkonstruktion för ångning i spår	52
3.3.4 Utveckling 2020 - 2021	54
3.3.5 Genomförande och effekter av ångning 2021.....	55
3.4 Metoder mot jätteloka 2021-2022.....	57
3.4.1 Försöksupplägg 2021 - 2022.....	58
3.4.2 Vunna erfarenheter 2021	62
4 Projektdel 2–4 tillståndsanalys, uppföljning och effektsamband	64
4.1 Insamling av data.....	64
4.1.1 Bearbetning av data och import i Optram	65
4.1.2 Osäkerheter/felkällor	66
4.1.3 Visualisering och hantering av data i Optram	67
4.2 Projektdel 2 och 4 – förbättrad tillståndsanalys av vegetation i spår och undersökning av effektsamband	69
4.3 Projektdel 3 – Uppföljning och analys av den kemiska ogräsbekämpningen.....	70
4.3.1 Databearbetning och analys.....	70
4.3.2 Resultat.....	72
5 Projektdel 5 – Undersökning av vindavdrift.....	80
5.1 Fältförsök utförda 2019–2020	80
5.2 Försöksupplägg.....	81

5.3	Resultat	82
6	Slutsatser och rekommendationer	85
6.1	Icke-kemiska metoder generellt	85
6.2	Teknik för skrapning och rotryckning.....	86
6.3	Teknik för ballastplogning.....	86
6.4	Teknik för hetvatten och/eller ånga	87
6.5	Tillståndsanalys, uppföljning och effektsamband med hjälp av insamlade ogräsdata 87	
6.6	Vindavdrift.....	88
7	Litteratur	89

1 Sammanfattning

Trafikverket bekämpar regelbundet ogräsen på banvallen för att säkra en god bankkvalitet. Ett återkommande problem är svårigheten att veta hur stort behovet av bekämpning är, vilka bansträckor som skall prioriteras och vilken teknik som skall användas för bekämpningen. Ogräsbekämpningen sker idag främst kemiskt med glyfosatpreparat. Det är dock av flera anledningar osäkert hur länge glyfosat kommer att finnas tillgängligt för Trafikverket och bekämpningsbehovet måste i alla händelser lösas även för så kallade restriktionsytor dvs. sträckor som ej får bekämpas kemiskt, som finns bl.a. vid vattenskyddsområden och vattendrag.

Trots att ett flertal metoder för icke-kemisk vegetationsbekämpning studerats de senaste 25 åren finns det fortfarande få etablerade metoder och tekniska lösningar som kommit till större användning. Det finns således ett fortsatt behov av att prova icke-kemiska metoder i praktisk drift i samarbete med Trafikverket och entreprenörer samt ta fram bättre underlag – handböcker – för att de icke-kemiska metoderna ska komma till praktisk användning.

Inom projektet har två redskap – en uppryckningsgrip och en kratta/skrapa – utvecklats och provats i spår. En ny gammal metod för rensning och profilering av banketten - ballastplogning – har testats med äldre utrustning. Demonstrationsytor där de olika metoderna utvärderas i full skala, har anlagts på bandel 371 Mora-Älvdalen. I samma fältförsök utvärderas också ett system för gröna spärrzoner som syftar till att minska sannolikheten att aggressiv vegetation växer in i spår från angränsande ytor. Inledande försök och teknikutveckling för användning av ånga och hetvatten har också påbörjats.

Det finns också ett allt större behov av bättre metoder för att styra och utvärdera bekämpningsinsatserna (oavsett metod) samt att kunna bedöma hur den utförda bekämpningen långsiktigt påverkar såväl ogräsen som banan. Inom projektet har högupplöst data över ogräsförekomster på järnvägen och data över utförda kemiska bekämpningar utnyttjats för att undersöka hur stor effekt den kemiska ogräsbekämpningen egentligen har ett år efter utförd bekämpning. Med ogräsdata integrerade i Optram finns nu förutsättningar att se hur tillståndet utvecklas långsiktigt, undersöka effektsamband och ta fram bättre planeringsverktyg för ogräsbekämpningen.

Vindavdrift från ogräsbekämpningståget har uppmätts i 4 olika fältförsök utförda på 3 olika bandelar. Resultaten visar att på 1 m avstånd från det besprutade områdets gräns så har den deponerade mängden minskat till i genomsnitt $0,3 \pm 0,2$ % av den använda dosen, motsvarande 5 ± 4 g/ha med den föreskrivna dosen på 1800 g glyfosat/ha. Resultaten kommer att användas för att göra en uppdaterad riskkarakterisering.

2 Bakgrund till projektet

Möjligheterna att använda andra metoder än de gängse kemiska metoderna för vegetationsbekämpning i spår, samt hur sådana nya metoder fungerar och skall/kan användas har varit föremål för flera undersökningar de senaste 25 åren.

Undersökningarna har till stor del varit av förstudiekaraktär där Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) på uppdrag av dåvarande Banverket samt nuvarande Trafikverket översiktligt studerat olika metoder. Det är tydligt i de tidiga rapporterna att de föreslagna icke-kemiska metoderna

inte får vara dyrare än standardmetoden. Dessutom möter de förslagna metoderna motstånd från uppdragsgivaren då farhågor för korrosion, störningar på signalsystem, kostnader och brist på tillämpbarhet förs fram. Frågan om hur mycket vegetation som kan tolereras utan att banvallens egenskaper försämras diskuterades redan 1995 (Hansson *et al.*, 1995) och har fortfarande inte klarlagts från Trafikverket trots att frågan lyfts även på senare år (Fogelberg, 2011).

Harald Cederlund vid SLU arbetar sedan länge med utveckling och provning av preparat för den kemiska bekämpningen. I hans rapport "Cederlund H. 2016. Studier av ogräsbekämpning på banvallar 2006–2015 - resultat och slutsatser från 10 års tillämpad forskning. Rapport från Institutionen för mikrobiologi, Sveriges lantbruksuniversitet", förklaras varför ogräsbekämpning av banvallar är viktig.

"En annan anledning som förs fram, och som tidigare ofta framhålls som den främsta anledningen till varför man behöver ogräsbekämpa, är att förebygga långsiktig uppbyggnad av organiskt material genom förorening av ballasten med vissnande ogräs och nedbrutna växtdelar. Uppbyggnad av organiskt material leder till att banvallen håller vatten mer effektivt vilket i sin tur kan påverka banvallens bär-kraft och också den långsiktiga hållbarheten hos träsliprar. Bristande dränering kan också leda till ojämna tjällyft om vintern vilket förorsakar spårfel (Trafikverket, 2015a). En försämrad banstandard kan på sikt leda till hastighetsnedsättningar och till att mindre banor läggs ned.

Mycket ogräs leder alltså till en ansamling av finmaterial i ballasten men detta i sin tur skapar en god grogrund för fler ogräs. Vad som egentligen är hönan och ägget i den ekvationen är inte alltid helt självklart men faktum är att ett alternativt perspektiv kan vara att se ogräsen som ett symptom på bristande underhåll (att finmaterial har ansamlats i banvallens överbyggnad p.g.a. vibrationer, nedfallande löv etc.) snarare än som det primära underhållsproblemet. Sett utifrån det perspektivet blir ogräsbekämpning då främst ett billigt sätt att förlänga banans livslängd och fördröja insatsen av dyrare underhålls- och upprustningsinsatser som t.ex. ballastrensning. Behovet av ogräsbekämpning är också som man skulle kunna förvänta sig generellt mycket större på äldre spår, som ofta är av så kallad grusbanvallstyp, och betydligt mindre på nyanlagda spår som har en tjockare överbyggnad av makadam, ännu inte kontaminerad av finmaterial.

Även risken för spårhalka och ökad brandrisk på grund av vissnande ogräs har framförts som anledningar att ogräsbekämpa (Torstensson, 2001). Spårhalka förorsakas dock främst av nedfallande löv och förebyggs effektivare genom vegetationsröjning i området nära banan än genom ogräsbekämpning på själva banan."

Tillgången på kemiska preparat som kan användas för ogräsbekämpning har dock gradvis minskat och sedan några år tillbaka är det enbart glyfosat som är godkänt för användning på svenska banvallar. Framtiden för glyfosat inom EU är dock också osäker, just nu är glyfosat bara godkänt fram till 2023 och det är i alla händelser olämpligt att bara använda sig av en och samma bekämpningsmetod under lång tid på grund av risken för resistensutveckling.

Det finns således stort behov av att undersöka och utveckla alternativa metoder och teknisk utrustning för att i spårmiljö kunna bekämpa vegetation. Det faktum att bekämpningen skall ske på olika platser med stor variation vad gäller förutsättningar, samt kunna utföras av olika aktörer som sinsemellan inte kommunicerar kunskap eller teknik och att det finns en oklar uppfattning av effekten av de valda metoderna samt hur resultaten skall bedömas, gör att det inte finns ett självklart svar eller en teknik som är "den bästa". Det är viktigt att en palett av

metoder och tekniska lösningar kan finnas tillgängliga och att man har en uppfattning om dessa metoders användbarhet i varierande situationer.

Trafikverket har genom Jan-Erik Lundh, Carol Birgersson och Anders Colling-Sileborg i samarbete med SLU och RISE initierat ett treårigt projekt med syfte att utveckla och hitta alternativa metoder för vegetationsreglering. Projektet Dnr 2019/25762, ID-nr 6862 löper fram till den 31 december 2021 och innefattar bl.a. utveckling av prototyper för vegetationsreglering samt provning av metoder i spårmiljö.

2.1 Projektets delprojekt och genomförande

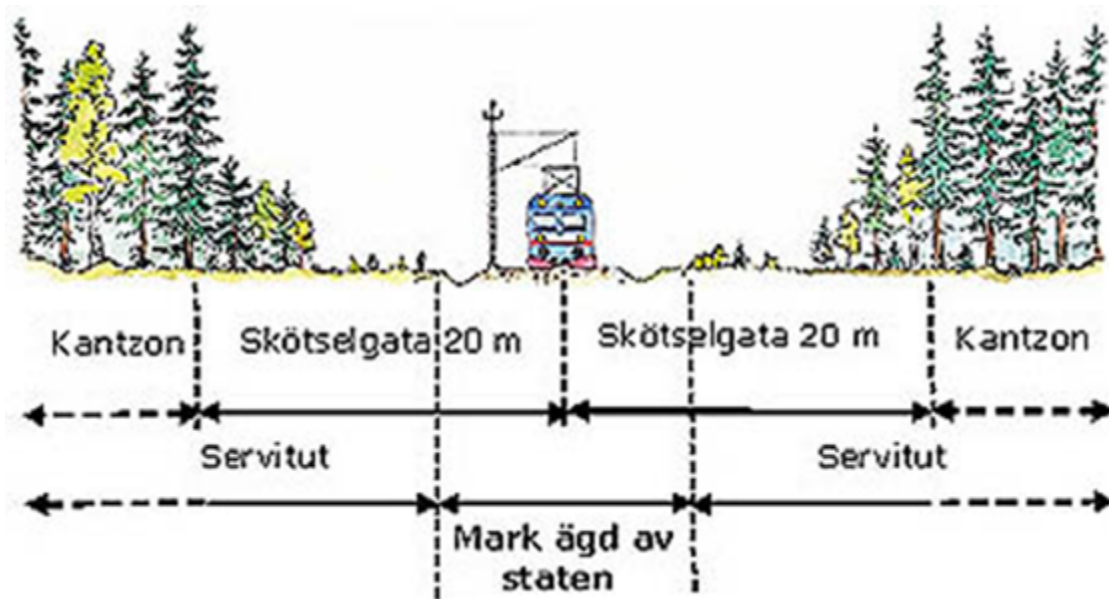
Projektet genomförs i samarbete mellan AgrD Fredrik Fogelberg vid RISE – Research Institutes of Sweden i Uppsala och FD Harald Cederlund vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Uppsala. Projektet inkluderar Trafikverkets kompetens i frågan med Anders Colling-Sileborg och Jan-Erik Lundh som huvudaktörer. Kompetenspersoner hos bl.a. Bergs Gräv AB, Infranord AB och NRCC (Mats Hietanen) bistår med kunskaper och det praktiska utförandet i spår.

Projektet består av fem delprojekt (där delprojekt 2–4 hänger samman):

1. Utveckling och provning av metoder för icke-kemisk vegetationsbekämpning
2. Förbättrad tillståndsanalys av vegetation i spår
3. Uppföljning och analys av den kemiska ogräsbekämpningens påverkan på ogräsförekomsten i spår
4. Analys av effektsamband mellan kemisk ogräsbekämpning och registrerade fel i anläggningen
5. Undersökning av vindavdrift
6. Utförd och pågående verksamhet inom dessa delprojekt redovisas i denna rapport.

3 Projektdel 1 – utveckling och provning av metoder för icke-kemisk vegetationsbekämpning

Vegetationsbekämpningen i spårmiljö innebär inte bara att området mellan rälererna skall hållas rent från växtlighet utan innefattar även slyröjning och trädsäkring längs med spåren, runt signaler och vissa mindre byggnader i spårområdet (Figur 1).



Figur 1. Trädsäkringsprojektets princip. Figuren hämtad från Trafikverkets hemsida.

Utöver den kemiska bekämpningen som sker genom sprutning av olika herbicider – i Sverige enbart preparat med den verksamma beståndsdel glyfosat – finns ett antal andra icke-kemiska metoder att tillgå.

Utanför banvallen sker vegetationsröjning främst med mekaniska metoder som slyröjning med röjsåg, trädfällning med maskin eller med motorsåg o dyl. Generellt lämnas biomassan kvar på plats.

Området som ligger utanför själva spåret är naturligtvis viktigt att också röja, därför att träd kan falla över själva linjen samt för att ge en god sikt för lokföraren att upptäcka händelser som kan verka störande (vilda djur, människor som rör sig mot spårområdet o dyl). Rensning sker också för att hindra igenväxning av diken samt runt el- och telefonstolpar, teknikbyggnader, skyltar mm.

3.1 Mekaniska metoder

Mekaniska metoder innebär att man för hand (motormanuellt) eller med större maskiner:

- rycker upp växtlighet (rottryckning);
- skär av buskar och träd med klinga, kedja o dyl;
- skrapar bort det översta växtlagret (skrapning)
- borstar bort det översta växtlagret
- suger upp makadam, jord och grus mellan rälerna eller utanför banvallen (vakuumsugning).

Metoderna är tidigare undersökta och beskrivna av t ex Hansson et al., 1995 samt Huisman, 2001. Problem med vegetation längs banan är ett generellt problem över hela världen. De tekniska lösningar som används utomlands är i princip desamma som i Sverige. Några exempel finns på nedanstående länkar till filmer från Youtube som kontrollerats den 28 januari 2019.

https://www.youtube.com/watch?v=237_4qc1bco

https://www.youtube.com/watch?v=gvAGPDtl_qg

En genomgång av metoderna har visat på att risken för skada på bankroppen, el-signalledningar är liten. Vi bortser här från rena felbehandlingar eller olyckor.

Det finns entreprenörer som idag kan tillhandahålla mekaniska metoder för vegetationsröjning och ogräsbekämpning, men det finns ingen generell översikt över kostnader eller metoder för sådan vegetationsröjning.



Figur 2. Maskin för skrapning av vägslänt. Bild från Jan-Erik Lundh, Trafikverket 2018-12-21

3.1.1 Ballastplogning

Under 2020–2021 har projektet undersökt och i praktisk provning studerat ballastplogning.

Metoden för skrapning av ytan från sliperskant och ca 80 cm utåt har använts under ca 100 år och förekommer än idag, dock med syfte att återföra makadam efter en nyanläggning av spår eller vid ballastrening.



Figur 3. Mekanisk rensning av dike och banvall troligen i perioden 1930–1950. Bild från Samlingsportalen ur Järnvägsmuseets bildarkiv.

Ballastplogning har under lång tid varit en grundläggande metod för att hålla spåret från sliperskant och utåt rent från ogräs (Figur 3). Metoden bygger på att en välvd plogkropp först för upp material från banketten för att därefter lägga tillbaka den omblandad. Genom regelbunden plogning förhindras växtligheten att etablera sig. Skiftet från grusbanavallar till makadambanvallar, teknikens ålderdomliga prägel, samt brist på modern materiel, har gjort att ballastplogning fallit i glömska som metod för vegetationsbekämpning. Modern teknik från Matisa eller Plasser & Theurer syftar främst till att färdigställa en makadambanvall vid nyanläggning eller efter makadamisering.



Figur 4. Ballastplog typ Q20 hos NBVJ i Nora, sommaren 2020.

Under 2020 har vi identifierat att det vid några museiföreningar finns äldre ballastplogar som används för underhåll av grusbanvallar. I kontakt med Nora-Bergslagens museijärnväg (NBVJ) fanns möjlighet att se effekten av användningen av deras vagn (Q20) (Figur 4), deltaga i skarp körning samt hyra vagn för provning i spår (Älvdalen-Mora).

Plogen består av en vagn med arbetshytt vari regleras plogarnas placering i höjd- och sidled. Regleringen sker med tryckluft från dragloket. Sth i transport 40 km/h och vid arbete omkring 15 km/h. Personalbehov består av två personer som reglerar var sin sida samt lokförare och övrig personal i loket.

Skarp körning under september 2020 gav för handen att tekniken, trots kraftigt slitage var väl ägnad åt rensning av bankettens sidor. Vid kraftig vegetation kan plogningen dock behöva upprepas flera gånger. NBVJ uppskattar att en årlig plogning håller tillbaka ogräset.



Figur 5. Närbild av Q20-vagn. Vagnen dras av lokomotiv och plogarna på vardera sidan av vagnen kan höjas och sänkas m h a tryckluft från loket.

3.1.2 Ballastplogning Åtvidaberg 2021

Under november 2021 genomfördes i samarbete med Trafikverket och Infranord (entreprenör) ballastplogning på bandel 845. Provningsen utfördes som en del av underhållet av bl.a. km 42 och km 46.

Bandelen är i huvudsak en grusbana med inslag av makadam från Bjärka-Säby till Västervik. Enligt uppgift från Jack Hansén, Trafikverket finns behov av slipersbyte och vegetationsbekämpning längs hela sträckan.

18–19 november genomfördes borstning och skrapning med Infranords ballastplog PLB 6511W varvid vi provade några olika strategier för borttagande av gräs och mindre tallplantor mellan rälna och utanför sliperskant. Vi valde sträckor som i dagsläget saknar ordentliga diken (antingen ligger rälsen i samma höjd som omgivningen eller så är dikenna igenvuxna eller igenfyllda med tidigare påfört material), alternativt så gick banan på en uppbyggd bankett där bortskrapat material fritt kunde falla ned längs sidan.



Figur 6. Typisk vegetation på Åtvidabergs driftplats i november 2021 (bandel 845)



Figur 7. Typiskt vegetationsläge före ballastplogning

Vegetationen på banan utgörs främst av gräs samt enstaka tallplantor. Det var tydligt att träden vid flera tillfällen blivit avklippta vilket gjort att de rotat sig väl och därmed är svåra att rycka upp manuellt eller med ballastplogens borste.

Genom att prova olika metoder för röjning noterades att borstning mellan rälerna bör genomföras som första åtgärd eftersom den borttagna ballasten då kan föras ut i kanten av banvallen. Det finns möjlighet att samla upp ballast, men då behöver denna behållare tömmas vilket i sig skapar ett kvittblivningsproblem.

Borstningsdjupet kan ställas in till att ta bort ballast ned till ca 10 cm under sliperns ovansida, men detta innebär att man måste tillföra ny makadam för att säkra spårläget. Ett borttagande av 5–7 cm ballast förefaller vara mer realistiskt, även om man även i detta läge behöver tillföra ballast.



Figur 8. Vegetationsläget efter ballastplogning km 42+400 den 22 november 2021

Figur 8 visar spåret några dagar efter borstning mellan rälerorna samt livborstning från räl mot slipers ytterkant. Sliprarna är frilagda och merparten av växtligheten borta. Genom att byta ut livborstarna mot en annan, bredare variant med stålborst, kan man förbättra effekten mot växtlighet bättre och rälsbefästningen friläggas bättre.



Figur 9. Efter ballastplogning i Åtvidaberg

3.1.2.1 Ballastplogningens för- och nackdelar

Ballastplogning med en Q20-vagn är en enkel metod för mekanisk rensning av bankettens sidor vilket också innebär låga kostnader för användning. Det finns även självgående TSA för ballastplogning av olika modeller och tillverkare. Metoden är utvecklad för grusbanvallar, men kan troligen användas även på makadamiserat spår, men troligen med högre slitage på plogkroppen och med lägre körhastighet.

Fördelen med en modern maskin som t ex Infranords ballastplog PNB 0775D, är att denna också kan borsta mellan rälererna samt ta bort/lägga ut makadam. Maskinen har möjlighet att bära med sig ca 5 kbm makadam. Arbetshastigheten är dock låg, ca 3 km per timme med allt inkopplat (sopningen bestämmer arbetshastigheten). Fordonet är dieseldrivet, men kräver extra fordon för att framföras på ERTMS banor. Kostnaden för detta fordon är dock mycket hög, enligt muntliga uppgifter ca 100 000 kronor per arbetsskift.

Vi kan efter praktiska prov på bandel 845 konstatera att metoden fungerar bra för att föra bort vegetation mellan rälerorna, att skapa en vegetationsfri yta utanför sliperskant samt för att delvis skapa grunda diken i det fall sådana saknas.

3.1.2.2 Utveckling av ballastplogning för grusbanor

Ballastplogning skulle, särskilt på grusbanvallar, kunna vara en av de grundläggande delarna i att rensa bort växtlighet längs med spårets kanter. Det finns dock behov av vidare teknikutveckling och systemutveckling.

Ballastplogen (vi utgår från Plasser & Theurers maskiner) har dels en horisontell borste med gummipinnar som används för att föra bort makadam/grus mellan rälerorna, och dels två livborstar som tar bort material från vardera ytter- och innersida av rälerorna. Dessa borstar är utformade för att föra bort makadam, men när syftet är vegetationsrensning bör man ha borstar med någon form av stålwirekärna som bearbetar växtligheten kraftigare än nuvarande borstar. Möjligen bör man även ha livborstar som är bredare för att helt kunna frilägga slipers ytterkant från grus och växtlighet.

Den äldre metoden för ballastplogning (Q20-vagn, figur xx) är utrustad med en plog som först för in material mot sliperskanten och därefter för bort materialet igen vilket resulterar i en bearbetad yta utan att material (ballasten) förs bort (figur xx). Den moderna tekniken återför inte material i samma körning utan kan antingen föra bort ballast från sliperskanten eller in material. En utveckling av Plasser & Theurers ballastplogar att utföra en omblandning av ballasten utanför sliperskant i ett och samma drag vore således en värdefull förbättring.

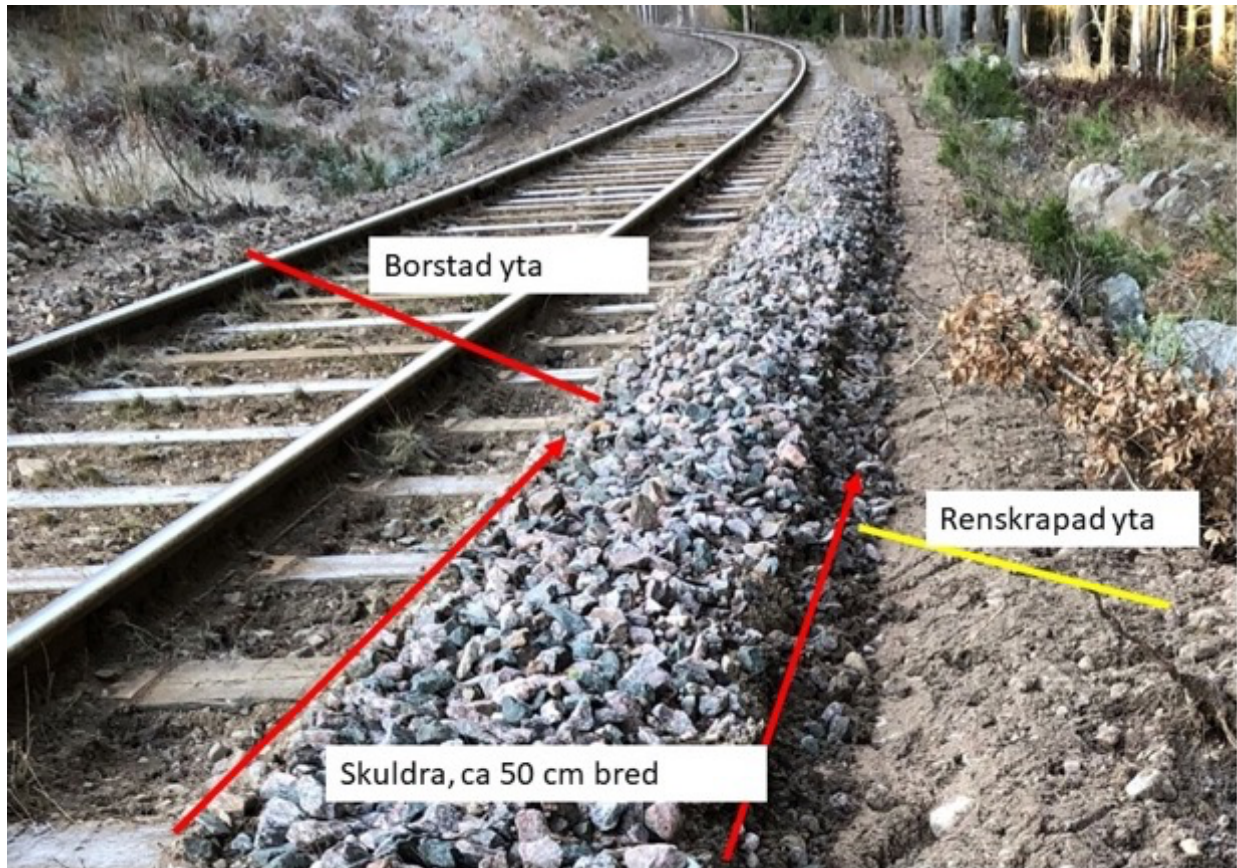
Vingen på Plasser & Theurers utrustning kan även den behöva utvecklas något för att bättre skrapa bort vegetationen. Detta kan t ex ske med en vinge som är U-tandad eller där man i ytterkanten av vingen kan ha ett extra slitskär som skapar en fördjupning utanför skuldran.

Systemet för ballastplogning för vegetationsrensning bör utvecklas och olika tekniska system sättas samman för att under ett och samma arbetsskift kunna erhålla en komplett vegetationsreglering.

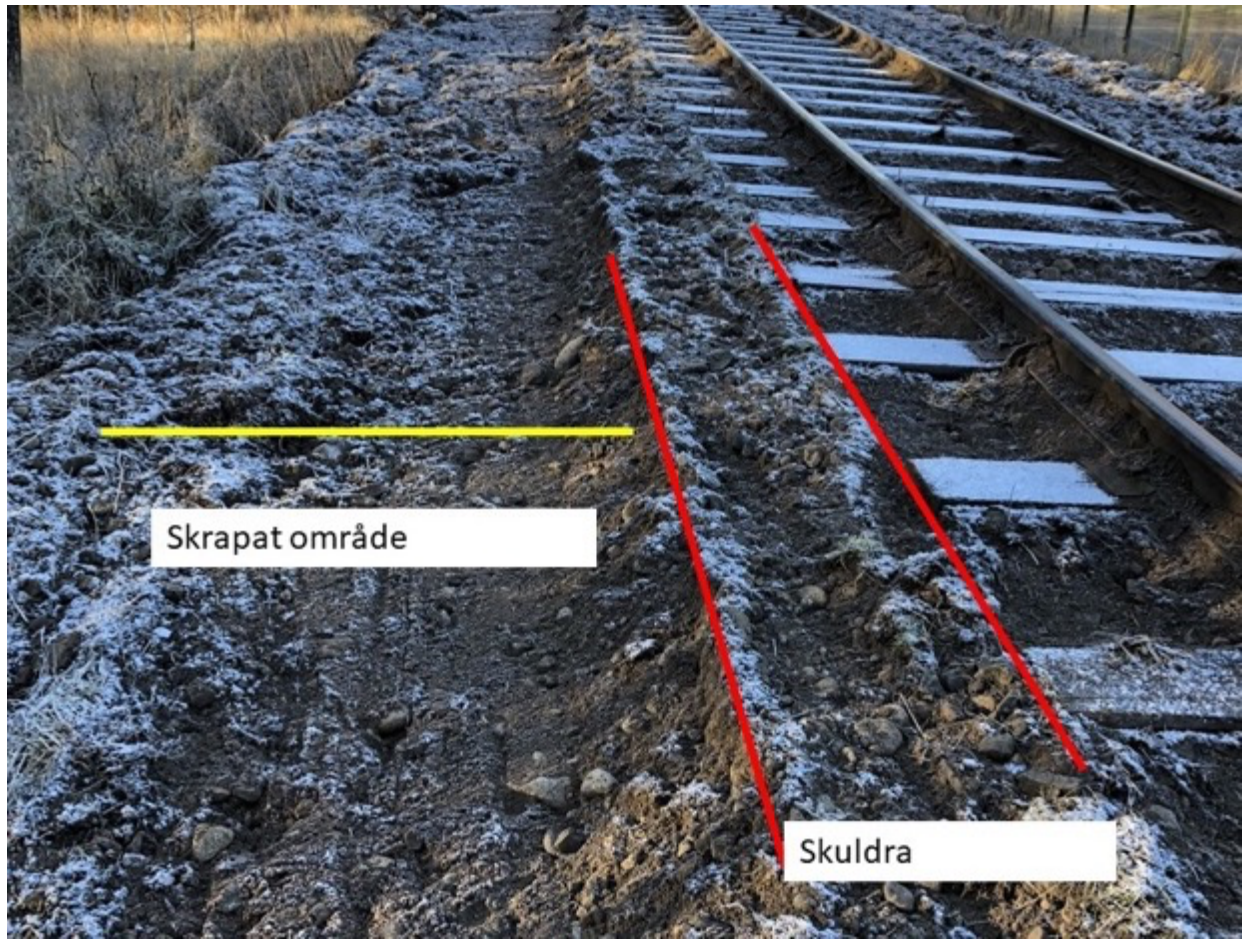
Förslagsvis kan en arbetsordning för vegetationsreglering beskrivas enligt följande:

Vegetationsrensning bör ske på grusbanor under våren fram till tidig höst då ballasten är torr. I första körningen borstas området mellan rälerorna ner till ett djup om ca 7 cm från slipers ovansida. Materialet förs ut till området strax utanför sliperskant. I nästa körning skrapas skuldran, dvs området från sliperskant och ca 100–140 cm utåt och i en avslutande skrapning skapas en skuldra utanför sliperskanten (ca 50 cm bred) genom att man fördjupar området utanför och ned i diket.

De tekniska behoven utgörs då av ballastplogen och en efterföljande TSA med upprekningsgrip för att ta bort kvarvarande buskar mm. Möjligen bör man antingen i direkt samband med ballastplogningen eller någon tid därefter, komplettera med CE-märkt för järnvägsmakadam samt ska uppfylla de fysikaliska kraven på bergmaterial enligt Trafikverkets krav i TRVINFRA-00019 Makadamballast.



Figur 10. Km 46 + ca 700 riktning mot Åtvidaberg.



Figur 11. Ballastplogat den 19 november 2021. Notera de tre delområdena: borstad yta över slipersbredden. En skrapad skuldra och därefter en fördjupad yta ut mot dike/banvallskant.



Figur 12. Livborstar på ballastplogen PNB 0775D.



Figur 13. Skrapvinge på ballastplog PLB 6511W.

I Figur 13 ser vi vingen på ballastplogen i sitt nuvarande utförande. Här finns möjlighet att utveckla tekniken genom att förse vingen med ett rivskär eller ett extra trekantigt ytterskär för att skapa ett grunt dike vid behov.



Figur 14. Spårläget vid Bjärka-Säby.



Figur 15. Ballastplogningens resultat efter två körningar i vardera riktningen i NBVJ:s spår från Nora mot Ervalla sommaren 2020.

3.1.3 Utrustning för krattning och skrapning

Under perioden 2019 - 2020 har RISE utvecklat två demonstrationsredskap för uppryckning respektive krattning/skrapning av markytor i spårmiljö.

Utrustningarna är baserade på befintliga redskap från RF-System AB i Vinslöv och modifierade av RISE prototypverkstad i Uppsala.

Krattan/skrapan är utrustad med en rivande/skapande sida (Figur 16) och en harvande/utjämnande sida (Figur 17). Växter som fastnar i rivsidan kan tas bort med en hydraulisk rensningsplåt.



Figur 16. Den rivande/krattande sidan möjliggör borttagning av kraftig vegetation. Rivsidan består av tre enheter som kan bytas ut och ges grövre eller finare tandning eller en grov borste för att kunna rensa sliperskanten från grus mm.



Figur 17. Rivbladet är försett med fjädrande harvpinnar vilka möjliggör att man kan jämna till ytan efter krattning

Uppryckningsgripen är baserad på en timmergrip/sorteringsgrip som försetts med motliggande metallskivor varpå armeringsjärn fastsatts för att få fäste i växtligheten (Figur 18 och 19).

Efter praktisk provning kan vi konstatera att gripen fungerar tillfredsställande, men behöver ytterligare utveckling. Anliggningsytorna har svårt att få ett bra grepp om växterna speciellt vid savning. Därför skulle troligen en gummerad yta på en metallsida vara en förbättring för fasthållningen av plantorna, möjligen med en S-formad gummiyta. Även designen i sig behöver utvecklas med urskärningar i metallsidorna och kortare sidor för att bättre komma åt plantor nära rälen.



Figur 18. Upprykningsgrip under arbete.



Figur 19. Uppryckningsgrip under arbete. Även små plantor kan ryckas upp.

3.1.3.1 Effekter av krattning och uppryckning

Båda redskapen har provats i spårmiljö, dels vid Hagge sågverk och dels i Vansbro under 2020. Vid skrapning har använts ett hjulburet fordon (Huddig) med rototilt och maskinfäste för att få maximal tillgänglighet.

Erfarenheterna från krattningen, genom okulär besiktning och samtal med maskinförarna, har visat att tekniken fungerar bra, men att det behövs teknisk utveckling av redskapet i form av en bättre design (t ex behövs inte ett välvt blad) och bättre infästning av harvpinnarna. Det bör även tas fram olika typer av rivbladsdelar för att kunna anpassa behandlingen efter lokala markförhållanden.

Effekten av krattning är god. Vid prov i lövträdssly i Vansbro sommaren 2020 visade sig krattningen vara enkel att använda och ge långtidsverkan. Avverkningshastigheten bedöms också vara god och med en van maskinförare bör man kunna röja ett hundratal löpmeter per timme.

Vid krattning kan man välja att antingen föra bort växtmaterialet eller låta det ligga kvar för nedvissning. Det senare alternativet är främst lämpligt för ettårig växtlighet eller vanligt förekommande ogräs såsom tistel, rallarros och ryssgubbe. Vedartat material såsom lövsly bör tas bort från ytan eftersom sådant material dels tar lång tid att brytas ned och dels tillför stora mängder organiskt material till bankroppen.

Uppryckning med grip är en metod som kan vara ett värdefullt redskap för borttagning av gran, tall, björksly m.fl. trädslag i spår. Uppryckningsgripen behöver dock förbättras genom att välja en mindre grip som är lättare att använda mellan räler samt och utveckla en bättre gripyta.



Figur 20. Effekt av krattning. Ytan till vänster är krattad och ytan till höger obehandlad. Bilden är tagen sex veckor efter behandling.



Figur 21. Närbild av krattad yta sex veckor efter behandling (Vansbro).

3.2 Fältförsök för utvärdering av mekaniska metoder och gröna spärrzoner

Under hösten 2020 anlades två försök för att utvärdera den långsiktiga effekten av såväl ballast-plogning och krattning/skrapning av banvallens slänter som etablering av gröna spärrskikt. Tanken med de gröna spärrskikten är att etableringen av en zon med marktäckande låg-växande vegetation är att föredra framför spontant etablering av besvärligare ogräs som t.ex. lövsly i störda ytor utmed spåret och att dessa vegetationszoner ska kunna bidra till att minska invandringen av besvärliga ogräs till själva spårområdet.

Två stycken försökssträckor etablerades på bandel 371 (Mora-Älvdalen) under oktober 2020, en sträcka nära Oxberg och en mindre försökssträcka i Mora. På båda försökssträckorna etablerades randomiserade blockförsök: 6 block (block E-J) x 6 behandlingar i Oxberg (Figur 13 och 14) och 3 block (block A-C) x 6 behandlingar i Mora (Figur 15 och 16). På försökssträckan i Mora föll dock en behandling ur ett block p.g.a. att staketet utmed den intilliggande vägen höll på att flyttas närmare vägen. En extra behandling med sprutsådd lades också till block C. Varje behandling etablerades i en 20 m lång parcel som märktes upp genom att numrerade metallbrickor spikades fast i sliprarna i varje ände. Mellan varje parcel lämnades 5 m mellanrum.

Behandlingarna bestod av olika kombinationer av mekaniska metoder som ballastplogning och krattning samt insådd av olika fröblandningar i spärrzoner.

Ballastplogningen skedde i ett skikt som sträckte sig ungefär från sliperskant och ca 1 m ut (Zon 1). Utanför den plogade zonen användes krattan vilket skapade en störd yta som i praktiken var ca 1,2 m bred (Zon 2).

I den öppnade markytorna i zon 2 såddes olika fröblandningar in (Tabell 1). I praktiken är samtliga dessa fröblandningar dominerade av gräsarter men fröblandningarna från Pratensis innehåller en inblandning av ett relativt stort antal örter och tanken är att dessa utöver att tjäna som spärrskikt också ska bidra med högre biologisk mångfald. Sprutsådden utfördes av Utetjänst och det som sprutas ut innehåller utöver själva fröblandningen ett bindemedel kallat Scanbinder som består av veteskållning, natriumbikarbonat, dextros och rapsolja men i detta fall ingen tillsats av NPK. Utetjänst normala dosering för vägkanter är 15 g fröer/m² men i detta fall rekommenderade de användning av 25 g/m² för att få till en snabb etablering. Övriga fröblandningar handsåddes. Den rekommenderade doseringen för fröblandningen Siesta var även den 25 g/m² men då fröblandningarna vägdes in i förväg och den krattade zonen blev något smalare än krattans bredd

För fröblandningarna ”normaläng” och ”torräng kalkfattig” var den rekommenderade och praktiska doseringen betydligt lägre 3 g/m² och 4,2 g/m² och för att underlätta jämn spridning över hela parcellerna blandades dessa fröblandningar först upp med sand innan sådd.

Oxberg – behandlingar

1	Kontroll
2	Ballastplog (zon 1)
3	Ballastplog (zon 1) + skrapning (zon 2)
4	Ballastplog + skrapning + S1: sprutsådd (zon 2)
5	Ballastplog + skrapning + S2: Siesta (zon 2)
6	Ballastplog + skrapning + S3: torräng kalkfattig (zon 2)

Figur 22. Behandlingar i försökssträckan i Oxberg.

Zon 2		Zon 1	Älvdalen	Zon 1	Zon 2	
Steg 3	Steg 2	Steg 1	Steg 0	Steg 1	Steg 2	Steg 3
Sådd	Skrap	Plog	Borstning	Plog	Skrap	Sådd
S1	Skrap	Plog	33	Plog	Skrap	S2
S3	Skrap	Plog	32	Plog	Skrap	S3
Kontroll	Skrap	Plog	31	Plog	Skrap	S1
Kontroll	Kontroll	Kontroll	30	Kontroll	Kontroll	Kontroll
S2	Skrap	Plog	29	Plog	Skrap	Kontroll
Kontroll	Kontroll	Plog	28	Plog	Kontroll	Kontroll
S2	Skrap	Plog	27	Plog	Skrap	S3
S1	Skrap	Plog	26	Plog	Skrap	S2
S3	Skrap	Plog	25	Kontroll	Kontroll	Kontroll
Kontroll	Kontroll	Plog	24	Plog	Kontroll	Kontroll
Kontroll	Skrap	Plog	23	Plog	Skrap	S1
Kontroll	Kontroll	Kontroll	22	Plog	Skrap	Kontroll
S1	Skrap	Plog	21	Plog	Skrap	S1
Kontroll	Kontroll	Kontroll	20	Plog	Skrap	Kontroll
S2	Skrap	Plog	19	Plog	Skrap	S3
Kontroll	Skrap	Plog	18	Plog	Kontroll	Kontroll
Kontroll	Kontroll	Plog	17	Kontroll	Kontroll	Kontroll
S3	Skrap	Plog	16	Plog	Skrap	S2

Figur 23. Försöksplan och behandlingar för försökssträckan i Oxberg. Siffrorna i det grå fältet i mitten anger numreringen i fält.

Mora - behandlingar

1	kontroll
2	Plog (zon 1)
3	Plog (zon 1) + skrapning (zon 2)
4	Plog + skrapning + S1: sprutsådd (zon 2)
5	Plog + skrapning + S2: Siesta (zon 2)
6	Plog + skrapning + S4: normaläng (zon 2)
7	Skrapning (zon 1)
8	Reservruta

Figur 25. Behandlingar i försökssträckan i Oxberg.

Tabell 1. Översikt över de olika testade fröblandningarna

	Fröblandning	Leverantör	Dosering (g/m²)	Artsammansättning
S1	Sprutsådd Utetjänst	Skånefrö	25	Rödsvingel (65%); engelskt rajgräs 22%; ängsgröe 10%, rödven 3%
S2	Siesta	Skånefrö	32,5	Rödsvingel 90%; 10% fårsvingel
S3	Torräng kalkfattig	Pratensis	4,2	Gräs 89,3% (inklusive rödsvingel, fårsvingel, fårsvingel, rödven) + 10,7% örter (21 arter)
S4	Normaläng	Pratensis	4,2	Gräs 80% (5 arter inklusive rödsvingel och fårsvingel) + 20% örter (23 arter)



Figur 26. Oxberg – norra änden av försökssträckan med vy mot Mora. Notera det kraftiga inslaget av tallplantor.



Figur 27. Oxberg – södra änden av försökssträckan med vy mot Älvdalen.



Figur 28. Försökssträckan vid Moraparken. Vegetationen domineras av gräs.



Figur 29. Ojämn effekt av ballastplogen i Oxberg, en effekt av slitna plogar.



Figur 30. Genom upprepad behandling av samma yta erhölls en bättre effekt.



Figur 31. Försöksyta 17 i Oxberg efter behandling, dvs helt obehandlad. Utgångsläget för försöksruta 16.

Ballastplogning av zonen närmast sliperskant (zon 1) med påföljande krattning/skrapning av zon 2 gav generellt ett mycket bra resultat (Figur 32 och 32). Den utrustning vi använde var sliten i plogskäret varför plogningen behövde upprepas för att få en ordentlig bearbetning. Vi noterade att effekten blev bäst när det fanns ett dike, men att vi även får god effekt på slät mark. Man bör komplettera plogen med någonform av kratta eller avjämnande plogskär för att jämna ut ballasten efter plogning.



Figur 32. Försöksyta 16 i Oxberg efter behandling, dvs ballastplogad och därefter skrapad/krattad.



Figur 33. Försöksyta 27 efter behandling med plogning och krattning.



Figur 34. Det var svårt att få fäste med krattan i snön vid Moraparken.



Figur 35. Resultaten blev hyfsat bra efter ett antal drag med krattan.



Figur 36. Krattningen ledde till ansamling av jordhögar som fick jämnas till allteftersom.



Figur 37. Insådd av Siesta i Moraparken. Övre bilden visar ytan efter att fröna såtts.

Den samlade bilden av hur tekniken fungerade i praktiskt arbete kan sammanfattas i nedanstående punkter

- Ballastplogning är en fungerande teknik för att skrapa bort vegetation på grusbanor, i ett stråk om ca 80 cm från sliperskant.
- Ballastplogning fungerar bättre om det finns ett tydligt dike än om rälsen ligger i våg med omgivande markyta
- Befintlig, provad utrustning behöver renoveras och förbättras, men är ett reellt fungerande system för icke-kemisk vegetationsbekämpning.
- Skrapning/krattning är ett tekniskt enkelt redskap för borttagning av vegetation längs spår och i spårmiljö på driftplatser.
- Skrapning/krattning är en metod som på ett tids(kostnads)effektivt sätt kan användas för vegetationsborttagning.
- Tekniken för skrapning/krattning behöver utvecklas, men detta kan ske antingen hos en redskapstillverkare (exempelvis RF-system) eller av den enskilde användaren.
- Ett potentiellt problem med skrapningen är att jordmassor ansamlas som sedan måste tas om hand.

3.2.1 Utvärdering av försöksytorna

Försöket utvärderades visuellt och med hjälp av bildanalys vid två tillfällen: 2021-06-23 och 2021-09-22. Den mindre försöksytan i Mora kunde inte utvärderas då en kabeltrumma hade utplacerats utmed ena sidan av spåret och då staketet mot vägen flyttats närmare på andra sidan av spåret – åtgärderna hade kraftigt påverkat samtliga försöksparceller. Den större försöksytan vid Oxberg var dock opåverkad av spårarbeten.

3.2.1.1 Bildanalys

Tillväxten i de plogade och skrapade zonerna utvärderas med hjälp av bildanalys. Tre fotografier togs från tre jämnt utspridda positioner i varje parcell rakt nedåt/snett framåt på ca 1,5 m höjd. Då försöket bestod av 6 block motsvarar det $3 \times 6 = 18$ bilder från varje försöksled per avläsningstillfälle. Fotografierna täckte åtminstone ytan från sliperskant och lite drygt 1,6 m ut. En måttstock placerades i nederkanten av varje bild som referens. För varje bild rätades perspektivet ut så gott som det var möjligt (bl.a. med rälens kant som referens) varpå de beskars så att de delades upp i två bilder som täckte zon 1 (plogad zon) respektive zon 2 (skrapad zon). Den plogade zonen bedömdes generellt ligga närmare sliperskant (ca 20 cm avstånd) på spårets vänstra sida än vad den gjorde på spårets högra sida (ca 50–60 cm) och bedömdes även fluktuera till viss del mellan blocken. Vid det första avläsningstillfället var det enklare att bedöma hur bilderna borde beskäras och bilderna från det andra avläsningstillfället beskars därför på samma sätt som vid det första tillfället.

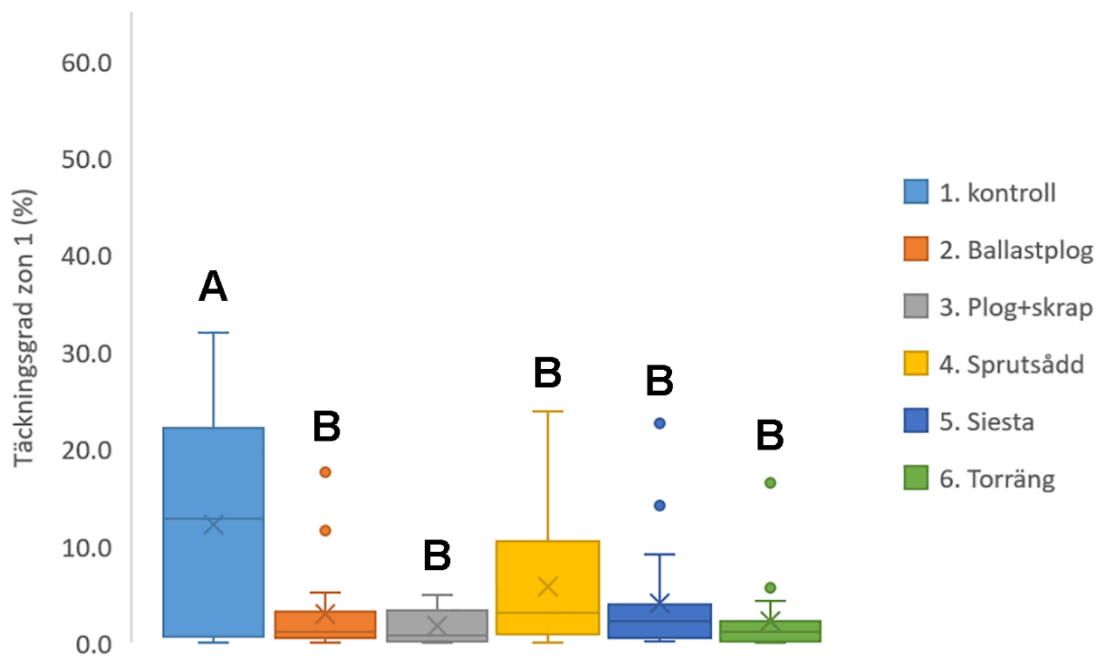
Bilderna analyserades i enlighet med vad som har beskrivits tidigare (Cederlund et al., 2014). Kortfattat förändras färgernas luminans i två steg (maximeras för grönt och minimeras för övriga färger) varpå en tröskelvärdesfunktion appliceras för att konvertera bilden till svart-vitt (där grönt konverteras till vitt). Därefter kan det genomsnittliga pixelvärdet användas för att beräkna täckningsgraden i procent.

Statistiska skillnader mellan behandlingarna undersöktes med hjälp av variansanalys (ANOVA) med ett efterföljande Tukey's HSD-test ($\alpha = 0.05$).

3.2.2 Resultat

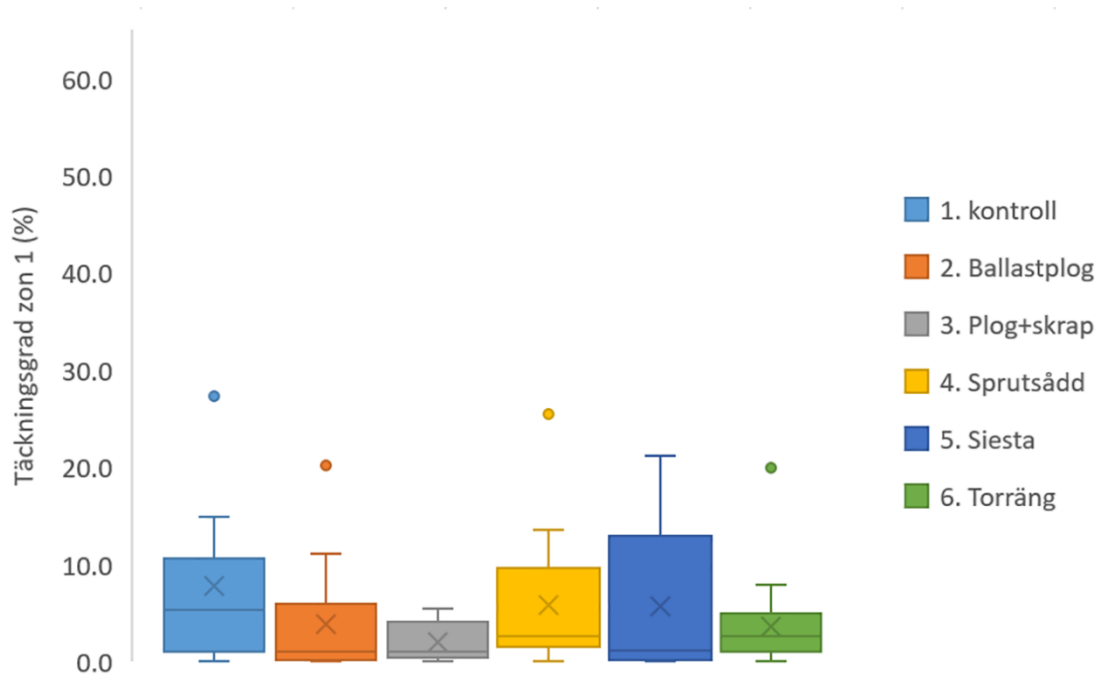
Ett generellt intryck var att sprutsådden grodde bäst, följt av insådd med *Siesta*. Det var dock svårt att visuellt skilja sådd med *Torräng kalkfattig* från kontrolltytor som bara hade skrapats.

Vid det första avläsningstillfället fanns en tydlig skillnad mellan kontrollen och samtliga övriga behandlingar (som alla plogats) i zon 1. Skillnaderna mellan övriga behandlingsled var inte statistiskt signifikanta men det fanns en tendens att täckningsgraderna låg lite högre i försöksled 4 och 5 med sprutsådd respektive sådd av *Siesta* i zon 2 (Figur 38). Detta kan eventuellt tyda på att frösådden delvis hamnade i fel zon – vid sådden var det inte alltid helt lätt att avgöra vad som var plogad respektive skrapad zon.



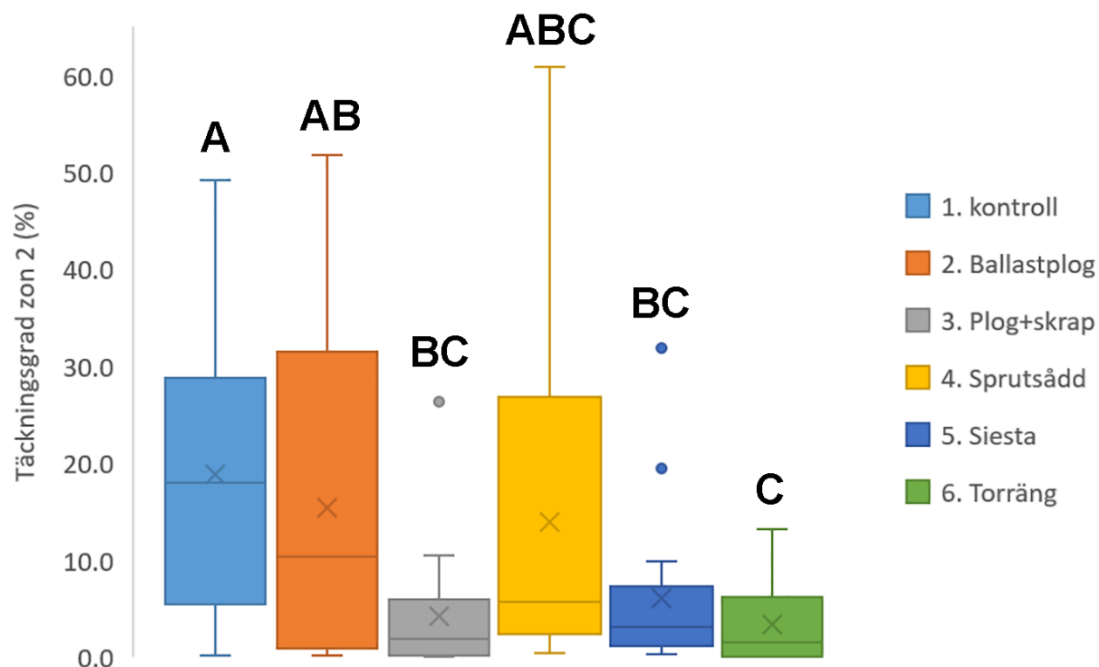
Figur 38. Uppmätta täckningsgrader i zon 1 (plogad zon) 2021-06-23. Försöksled betecknade med samma bokstav tillhör samma signifikansgrupp och skillnaderna dem emellan är inte signifikanta ($p < 0,05$).

Vid det andra avläsningstillfället fanns inte längre några statistiskt signifikanta skillnader kvar mellan försöksleden. Den genomsnittliga täckningsgraden var dock fortfarande högst i kontrollen och tycktes vara lägst i försöksled 3 och 6 där zon 2 skapades respektive skrapades följt av insådd av fröblandningen *Torräng kalkfattig* (Figur 39).



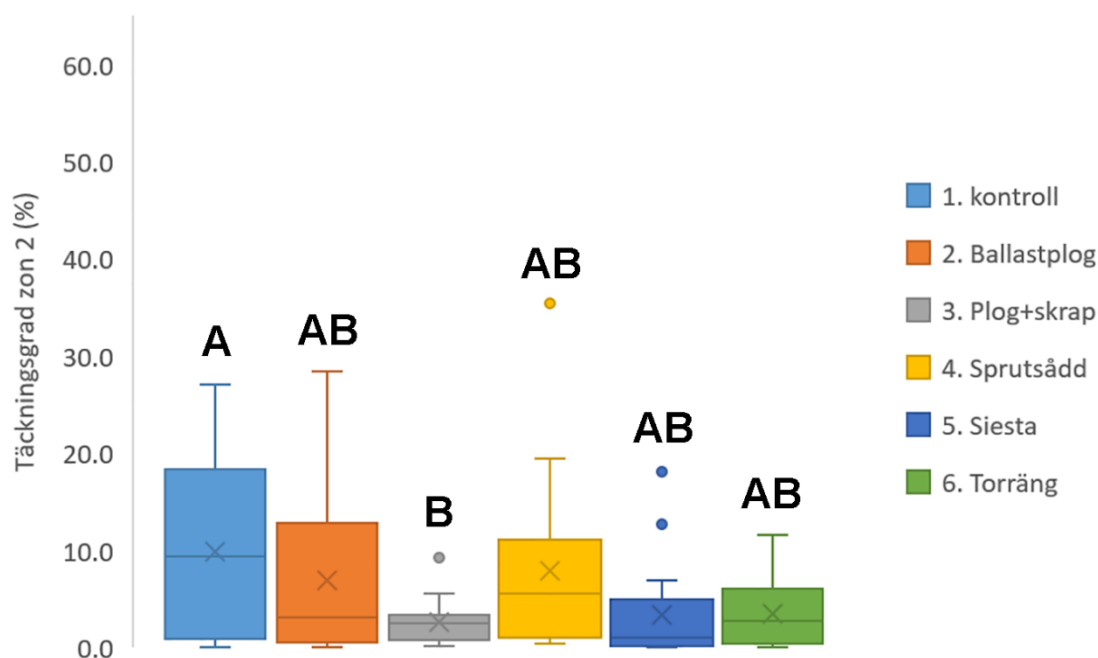
Figur 39. Uppmätta täckningsgrader i zon 1 (plogad zon) 2021-09-22. Skillnaderna mellan försöksleden var inte statistiskt signifikanta.

I zon 2 var kontrollen vid det första avläsningstillfället signifikant skild från försöksled 3, 5 och 6, där zon 2 skrapats respektive såtts med *Siesta* eller *Torräng kalkfattig*. Det fanns dock ingen signifikant skillnad mellan kontrollen och försöksled 4 vilket illustrerar den bättre grobarheten hos sprutsådden (Figur 40).



Figur 40. Uppmätta täckningsgrader i zon 2 (skrapad zon) 2021-06-23. Försöksled betecknade med samma bokstav tillhör samma signifikansgrupp och skillnaderna dem emellan är inte signifikanta ($p < 0,05$).

Vid det sista avläsningstillfället var den genomsnittliga täckningsgraden i kontrollen fortfarande högst men bara signifikant skild från försöksled 3 där zon 2 skrapats utan insådd. Täckningsgraderna var dock fortfarande relativt låga också i försöksled 5 och 6 (Figur 41).



Figur 41. Uppmätta täckningsgrader i zon 2 (skrapad zon) 2021-09-22. Försöksled betecknade med samma bokstav tillhör samma signifikansgrupp och skillnaderna dem emellan är inte signifikanta ($p < 0,05$). Den enda signifikanta skillnaden var den mellan kontroll och behandlingen med skrapning utan insådd.

3.2.3 Slutsatser

Såväl ballastplogning som skrapning gav initialt en ganska kraftig reduktion av ogräsen täckningsgrader. Denna effekt var relativt varaktig för skrapningen i zon 2 men tycktes avta snabbare för ballastplogningen i zon 1.

Sprutsådden etablerade sig relativt effektivt i zon 2 medan etableringen av fröblandningarna *Siesta* och *Torräng kalkfattig* var sämre. En trolig förklaring till den synbarligen låga grobarheten för den sistnämnda var den i jämförelse betydligt lägre doseringen ($4-2 \text{ g/m}^2$) som användes för *Torräng kalkfattig* jämfört med de övriga frösådderna ($25-32,5 \text{ g/m}^2$).

Sammantaget ger försöksresultaten dock inget stöd för grundhypotesen – att etablering av gröna täckskikt utanför spårområdet skulle hindra invandring av ogräs in till spårområdet. Snarare verkar renskrapade ytor utan insådd i zon 2 ge de lägsta täckningsgraderna i zon 1 (även om resultaten inte längre var statistiskt signifikanta vid det senare avläsningstillfället).

Försöksplatsen var dock långt ifrån idealisk för utvärdering av denna aspekt då det växte mycket ogräs mitt i spåret som inte bekämpades på något sätt – ogräs kunde därför vandra in i zon 1 från båda hållen.

Man bör också notera att det finns begränsningar med bildanalysen som användes för att utvärdera försöket - bildanalysen kan inte användas för att utvärdera kvalitativa skillnader

mellan försökleden – t.ex. kan etablering av grästuvor och tallplantor ge liknande täckningsgrader.

3.3 Termiska metoder

Det finns ett flertal metoder där värme på olika sätt används för att hetta upp och döda vegetation i spårmiljö. Hetvatten, ånga, IR-ljus och flamning är metoder som provats och befunnits möjliga att använda. Metoderna har utvärderats i tidigare projekt med dåvarande Banverket (Hansson *et al*, 1995) eller Cederlund (2015a).

I princip verkar samtliga termiska metoder genom att växtligheten utsätts för höga temperaturer som gör att cellväggarna i plantorna brister och därmed torkar ut plantan. Effekten påverkar inte underjordiska delar och därför är metoderna främst användbara för ettåriga växter.

3.3.1 Utvärderingar och provningar 2019–2020

Vi har studerat hur Ramvik Entreprenad AB, arbetar med hetvattenanvändning mot ogräs. Under sommaren 2020 utvärderades hetvattenbekämpning på Östersunds driftplats. Ramvik har byggt en utrustning på en spårgående traktorgrävare (Figur 42).



Figur 42. Ramviks Entreprenads utrustning för hetvattenbekämpning. Vattnet finns i en tank på baksidan av traktorgrävaren och hettas upp med hjälp av ett dieselaggregat. Det upphettade vattnet pumpas genom en isolerad slang ut till en rad sprutmunstycken som sitter monterade under en huv på traktorgrävarens arm. Ungefär 1 m breda stråk bekämpas åt gången.

3.3.1.1 Försöksyta 1

Försöksyta 1 etablerades i den norra änden av driftplatsen och bestod av tre behandlingar på öster sida av spåret: långsam, normal och snabb bekämpningshastighet. På grund av den begränsade tillgängliga ytan som inte redan hade bekämpats på platsen etablerades ingen kontrolllyta. Försöksytan behandlades en första gång 2020-06-16 och en andra gång 2020-07-09. Varje behandling lades ut i 24 m långa parceller som märktes upp med metallbrickor i sliprarna och med sprayfärg. Bekämpningen skedde i tre ca 1 m breda stråk ut från kanten av rälen. Behandlingarna upprepades också på väster sida av spåret men där skedde ingen utvärdering.

Mängden vatten som spred på ytorna uppmättes genom att 3 låga plastbyttor med innermått 29 x 19 cm ställdes ut för att fånga upp vattnet direkt under bekämpningen. Vattnet samlades in och volymen mättes i mätglas. Temperaturen på vattnet mättes direkt under huven på sprututrustningen nära givaren där vattnet går ut, nära dieselaggregatet, i byttorna och vid markytan strax före och efter bekämpning med flera olika termometrar.

Bilder för bedömning av täckningsgrad togs innan utläggningen och vid två tillfällen senare under sommaren. Bilder togs vid var tredje sliper, med stativet placerat ca 130 cm ut från öster räl. Kameran placerades på stativ med benen fullt utfällda och riktade rakt nedåt, med mittkolonnen horisontellt fälld. Kameran var inställd på aperture priority, bländare 9, ISO 160, 24 mm, och 1 stegs underexponering. Varje bild beskars till en 1 x 1 m ruta som täckte in zonen 1–2 m från rälskanten. Vitbalansen ställdes genom att avfotografera ett gråkort vid starten av varje försöksruta.

En andra avläsning skedde 2020-07-07 strax innan försöksytorna bekämpades igen på samma sätt och en tredje avläsning 2020-08-27.

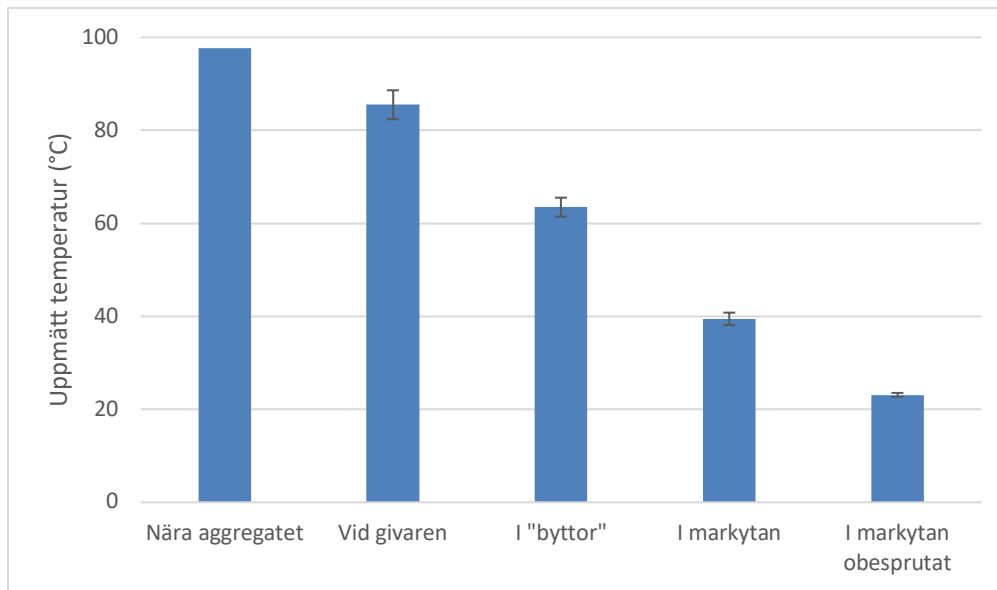
3.3.1.2 Försöksyta 2.

Den andra försöksytan etablerades i ett uppställningsspår (som är ur bruk) i södra änden av driftplatsen. Försöket bestod av 4 behandlingar (från norr till söder): snabb, normal och långsam behandlingshastighet, samt ”normal 2 ggr” (där den normala behandlingen upprepades två gånger direkt efter varandra). Ingen upprepning av bekämpningen av försöksyta 2 genomfördes senare på säsongen. Varje parcell var 15 m lång med 5 m kontrolllyta emellan. Ytornas början och slut märktes upp med sprayfärg.

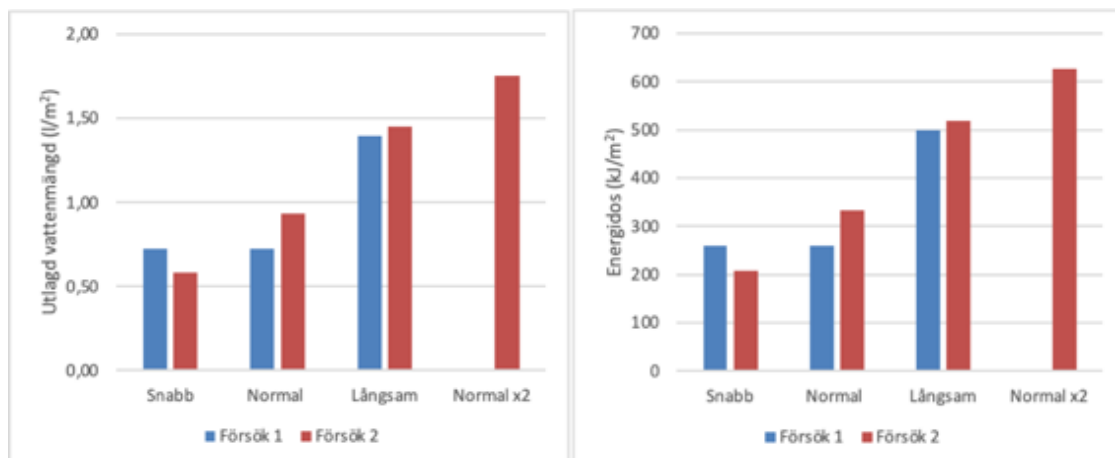
Vattenmängderna uppmättes på samma sätt som i försök 1 med hjälp av plastbyttor utplacerade i spåret. Bilder togs mellan vart tredje slipersmellanrum med samma inställningar som ovan för utvärdering av täckningsgraden med hjälp av bildanalys.

3.3.2 Resultat av hetvattenbekämpning i Östersund

Vattentemperaturen visade sig vara oväntat låg; vattnet som sprutades ut höll bara en temperatur kring 86 °C (Figur 43) vilket är avsevärt lägre än den förväntade temperaturen (nära 100 °C). Detta bidrog till att energidoserna också blev relativt låga, mellan 200–600 kJ/m² för de olika behandlingarna (Figur 44). Detta ligger lågt i jämförelse med de energidoser som i typfallet har rapporterats fungera väl för hetvattensbekämpning (Magnusson 2020).



Figur 43. Genomsnittsvärden för uppmätta temperaturer på olika ställen \pm standardavvikelse samtidigt som temperaturen i traktorgrävarens hytt visade 100 °C.

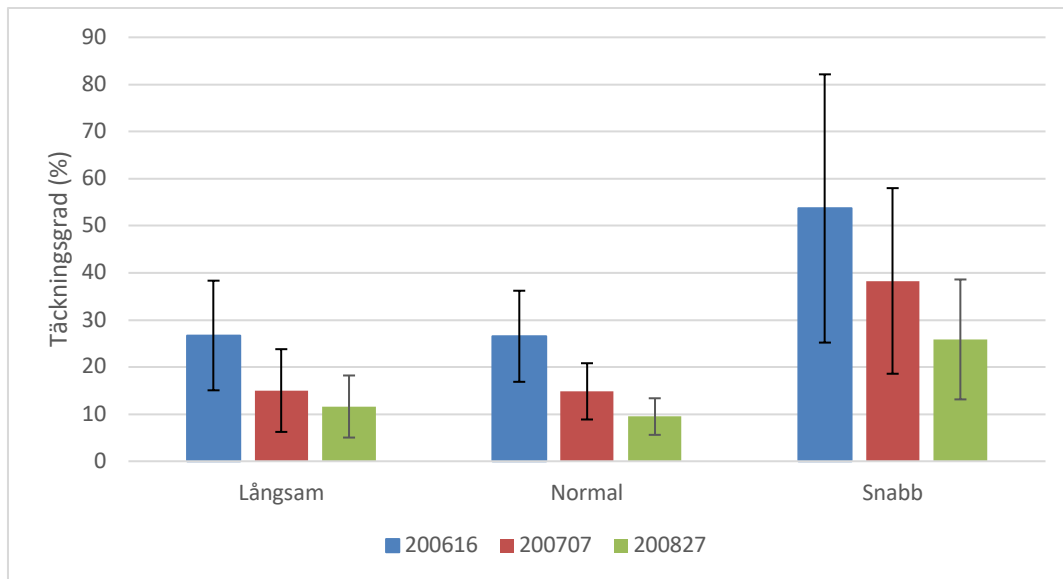


Figur 44. Vänster: utlagda vattenmängder i de olika försöksleden. Höger: energidoser (energinnehåll) uträknat från vattenmängd och temperatur.

Vattenflödet i sprututrustningen uppmättes till $14,8 \pm 1,7$ l/min vilket stämmer ganska väl med det rapporterade värdet på 15 l/min.

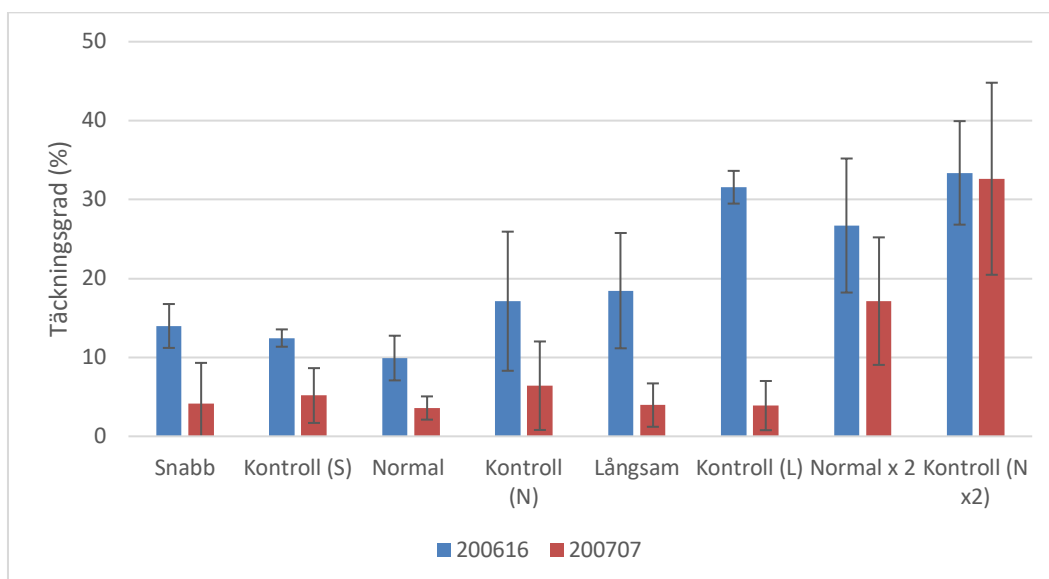
I försök 1 minskade täckningsgraden i ungefär samma grad i samtliga försöksled (Figur 45). Försöksrutan som användes för den snabba behandlingshastigheten hade dock en initialt högre täckningsgrad vilket slog igenom även senare på säsongen. Intrycket vid den sista avläsningen var att vegetationen var tydlig hämmad jämfört med den tidigare avläsningen även om det fortfarande var ganska grönt på platsen.

En observation var att det var mycket blommande fibblor i behandlingen "långsamt" jämfört med övriga – men det kan återspegla skillnader i vegetationssammansättningen som fanns vid försökets start.



Figur 45. Uppmätta täckningsgrader i försök 1.

I försök 2 visade det sig vid den första avläsningen i juli att någon hade kört med en traktorgrävare fram och tillbaka över försökssträckan och lämnat ett hjulspår mellan rälerna precis där mätningar av täckningsgraden genomfördes (Figur 49). Detta medförde att täckningsgraden minskade i samtliga påverkade behandlingar (inklusive kontrollytorna) i motsvarande grad (Figur 46). Enbart försöksledet med en dubbel behandling (Normal x 2) var opåverkad från körningen och visade en minskad täckningsgrad jämfört med kontrollen. Då det i stort sett inte fanns några skillnader mellan kontroll och behandling i juli genomfördes ingen kompletterande avläsning i augusti för försökssträcka 2.



Figur 46. Täckningsgrader avlästa i försök 2. Resultaten visas i den ordning de låg i spåret.



Figur 47. Från höger till vänster: behandlingarna "långsam", "normal" och "snabb" vid den första avläsningen 2020-07-07.



Figur 48. Från vänster till höger: behandlingarna "långsam", "normal" och "snabb" vid den andra avläsningen 2020-08-27.



Figur 49. Försökssträcka 2 med tydliga hjulspår mitt i spåret.

3.3.3 Prototypkonstruktion för ångning i spår

Under 2020 har vi byggt en testramp för provning av ånga mot ogräs (Figur 37). Denna har provats skarpt på museijärnvägen Nora-Bergslagens järnväg (NBVJ) under november 2020 och kommer att vidareutvecklas under våren 2021. Vi har även gjort inledande försök med högtryckshetvatten (vattentemperaturer över 70 grader C) mot barrväxter (gran). Även dessa försök kommer att utvecklas under 2021 och provas i järnvägsmiljö. Vi samarbetar här med NBVJ som utan kostnad ställer spår till förfogande för inledande provningar.



Figur 50. Prototyp för ångning i spår.

De inledande provningarna med ånga visar på behovet att kapsla utrustning på sådant sätt att ångan hålls kvar mellan rälererna för att därmed få en längre uppehållstid mot ogräsen. Våtånga (omkring 100 grader C) har använts i de första provningar, men troligen ger överhettad ånga (omkring 300 grader C) en bättre effekt. Möjligheten att använda sådan kommer att undersökas under februari 2021.

Vad gäller effekten av hetvatten under tryck mot flerårigt ogräs har vi endast inlett sådana provningar under hösten 2020. Här förefaller det som att gran är mycket tålig gentemot både varmt vatten (ca 70 grader C) och själva högtrycksbehandlingen.

Fördelen med hetvatten under tryck är att en sådan utrustning även kan användas för till exempel rengöring av spår, perronger, fordon och byggnader i anslutning till spåret.

En idé är att på en vagn placera en ett kraftigt högtrycksaggregat som försörjs med vatten antingen med ett batteri av IBC-containers eller via en/flera separat(a) tankvagn(ar). Ett dieselaggregat försörjer pumpen och annan utrustning med kraft och en separat enhet förvärmer förbrukningsvattnet till hetvattenpumpen.

Möjligen skall en kombination av ånga och hetvatten användas för bästa resultat.



Figur 51. Prototyp i drift på provsträcka

3.3.4 Utveckling 2020–2021

Under 2021 utvecklades en förbättrad prototyp (version 2) som nu ligger till grund för en tredje variant att studeras under 2022.

Prototyp 2 utgörs av en metalllåda 100 x 260 cm försedd med en gummilist nertill för att hålla värmen kvar längre vid ångning (Figur 51). I metallådan finns en ramp av kopparrör med munstycken för ånga riktade mot markytan för att kunna behandla en bredd motsvarande slipersbredden.



Figur 51. Prototyp 2 av ångningsriggen

3.3.5 Genomförande och effekter av ångning 2021

En provkörning med ånga mot ogräs genomfördes den 22 augusti i samband med att NBVJ haft en turistikörning med sitt ånglok ltera E2. Vi kopplade ångningsprototyp 2 till lokets system för tågvärme och erhöll kontinuerligt våtånga med ett tryck om ca 3 kg per cm². Den ursprungliga planen var att låta en lokomotor eller liknande dra ångloket för att därmed kunna ha en låg och kontinuerlig hastighet. Tyvärr fanns inte personal tillgänglig för detta upplägg varför ångloken både fick leverera våtånga samt i sig vara den framdrivande enheten. Detta gjorde att vi fick en viss ojämnheter i körhastigheten, vilket uppgick till ca 2 km per timme.

De behandlade ytorna bedömdes enbart okulärt vid två tillfällen, den 3 september och den 14 oktober.



Figur 52. Ångad yta den 3 september ca två veckor efter behandling.

Ångningen har god effekt mot gräs, örter och vissa perenner (fleråriga växter), men det sker en återväxt av de perenna växterna även om effekten kan vara märkbar upp till åtta veckor efter behandling (Figur 53).

Sammantaget står det klart att ångning kan vara ett användbart medel för att bekämpa ogräs som gräs, örter och till viss del minska förekomsten av perenner och mindre träd. Man bör vara uppmärksam på att denna metod inte lämpar sig för en engångsinsats utan bör upprepas under säsongen. I vårt prov utfördes ångning sent på säsongen, augusti, vilket troligen ger en sämre effekt jämfört med en åtgärd i slutet av april-början av juni, med upprepning kanske var 4–6 vecka under sommaren fram till början av september.



Figur 53. Ångad ytan den 14 oktober, ca åtta veckor efter behandling.

Under 2022 kommer en spårgående ”vagn” för ogräsångning att stå färdig för vidare prov i samarbete med NBVJ. Vi kommer då att prova olika tidpunkter för ångning, studera om antalet upprepningar påverkar utfallet samt om möjligt undersöka körhastighet och ångtryckets påverkan på ogräseffekten.

3.4 Metoder mot jätteloka 2021–2022

Jätteloka, (*Heracleum mantegazzianum*) är en invasiv art som förekommer i stora delar av Sverige. Växten är listad på EU:s förteckning över invasiva främmande arter, vilket innebär att den är förbjuden att importera, sälja, odla, transportera, använda, byta och sätta ut i naturen

Statens Naturvårdsverk anger att: ”Jätteloka påverkar den biologiska mångfalden negativt då den snabbt breder ut sig och kväver övrig vegetation. Framförallt örter påverkas negativt då upp till 80 procent av solljuset kan absorberas av jätteloka. Dess förmåga att kväva annan vegetation kan också påverka jorderosionen utmed vattendrag, vilket i sin tur kan leda till ändrade flöden och ökad sedimentation nedströms i vattendrag.

Jätteloka utgör även en hälsorisk då växtsaften hos arten i kombination med solljus skapar skador i form av blåsor och sår på huden. Effekterna av kontakt med ämnet kan sitta i flera år efter och det är inte ovanligt att kroppsdelar som blivit utsatta för reaktionen är känsliga för solljus lång tid efter skadan”.

Jätteloka förekommer längs banvallar och kräver därför en bekämpningsinsats från Trafikverket.

Bekämpning av jätteloka sker idag antingen med herbicider eller i vissa fall med hetvatten. En problematik är att bestånden med jätteloka varierar från några enstaka plantor till flera hundratusen, att bestånden förekommer på Trafikverkets mark samt anslutande mark som kan vara privat- eller kommunalägd och att dessa ägare har olika strategier och synsätt för att hindra spridning, samt att bestånden kan finnas på marker som är svåra att nå eller är otillåtna för kemisk bekämpning.

Den manuella bekämpningen kräver skyddskläder och i det fall man bortför avskurna blomställningar skall dessa brännas. Sammantaget innebär därför bekämpning av jätteloka en avsevärd arbetsinsats med låg attraktion för utföraren.

Optimal tidpunkt för bekämpning är inte helt utredd, men generellt skall man förhindra att jättelokan sätter frö, varför avslagning eller kemisk bekämpning måste anpassas till blomningen. Under vissa omständigheter kan även avslagna blomställningar med omogna frön ge upphov till livsdugliga frön och plantor.

Lokalt kan jätteloka utgöra ett mycket stort problem som måste hanteras av Trafikverket. Avsaknaden av färdiga strategier, oklarheter vad gäller lämpliga och effektiva metoder för storskalig bekämpning har därför lett till frågan om bekämpning av jätteloka kan underlättas eller helt utföras med mekaniska metoder. Vi har därför under 2021 inkluderat bekämpning av jätteloka i det pågående FoI-projektet med avsikt att följa resultaten framöver.

3.4.1 Försöksupplägg 2021–2022

Under 2021 har vi i samarbete med Trafikverkets entreprenörer utfört en demonstration av hur man med bandgående radiostyrd jordfräs bekämpar jätteloka mekaniskt. Fältstudien utförs som ett flerårigt försök vid km 208, bandel 247 strax norr om Kumla.



Figur 54. Översiktsbild över försöksområdet 2021.

Försöksområdet är ca 200 meter långt och utgörs av banvallsslätten mellan kontaktledningsstolparna 207-21a till 208-5a. I angränsade ytterkanter genomför Trafikverket ett prov med avslagning av jätteloka som kontroll.

I försöket använder vi en bandgående, radiostyrd jordfräs som handhas av förare från Infranord.



Figur 55. Detaljbild av försöksytan före första nedfräsning.



Figur 56. Bandgående och radiostyrd fräs.

Arbetskapaciteten är hög, på någon timme effektiv tid och med en erfaren operatör kan 200–500 kvadratmeter fräsas ned. Fräsen är förhållandevis okänslig för sten, stubbar och grov makadam, men man bör likväl undvika att medvetet köra in i föremål som ofta förekommer längs banvallen som stolpfundament, slipers, kvarlämnade skyltar och andra föremål som fallit av från passerande tåg. Givetvis påverkar områdets utseende också avverkningskapaciteten, skarpa branter, rester av stubbar, diken mm kräver mer av operatören än ett slätt område.



Figur 57. Nedfräsning av jätteloka sommaren 2021.

Området delas in i tre delar utgjordes då av ytorna mellan kontaktledningsstolparna och från spåret ned till en angränsade åker (Figur 57). Den första behandlingen genomfördes den 6 juli 2021 när beståndet var i god växt, 100–130 cm högt och delvis i knopp. Hela försöksytan frästes ned (Figur 58). Fräsen gick i princip i ytan, möjligen 2–5 cm ned i marken.

Efter en dryg månad (12 augusti 2021) genomförde vi en ny nedfräsning. Vid denna använde vi fräsen på samma sätt som tidigare, men endast fram till km 208-4a från Kumlahället. Arbetstid från avlastning till pålastning var ca 1 timme och 45 minuter.

En tredje behandling genomfördes den 28 september där området fram till km 208-3a behandlades.

Sammantaget innebär detta att tre ytor har erhållit olika antal behandlingar; en, två eller tre nedfräsningar.

Vi återkom till de behandlade ytorna ett par gånger under perioden 15 juli till 14 oktober för en okulär bedömning av effekt.



Figur 58. Nedfräsning av jätteloka sommaren 2021.

3.4.2 Vunna erfarenheter 2021

3.4.2.1 Tekniska erfarenheter

Den bandgående fräsen har hög avverkningskapacitet och det faktum att den är radiokontrollerad innebär att operatören inte behöver vistas i beståndet med jätteloka. Därmed undviks beröring med växtdelar och särskilda skyddskläder blir således onödiga. Fräsen har bra förmåga att klättra uppför slänter även om lös makadam ger dåligt fäste.

3.4.2.2 Biologiska erfarenheter

Den omedelbara effekten på jätteloka är tydlig, växten mals ner (Figur 59). Efter den första behandlingen den 6 juli noterade vi vid återkomst i början av augusti, att vi hade en återväxt med både rotskott och fröplantor (Figur 60), vilka hade en höjd av 30–40 cm. Även efter en andra nedfräsning återkom jätteloka, men då som fröplantor.

Den långsiktiga effekten av nedfräsning kommer att bedömas under 2022, men endast en behandling är inte tillräckligt för bekämpning.



Figur 59. Omedelbart efter nedfräsning.



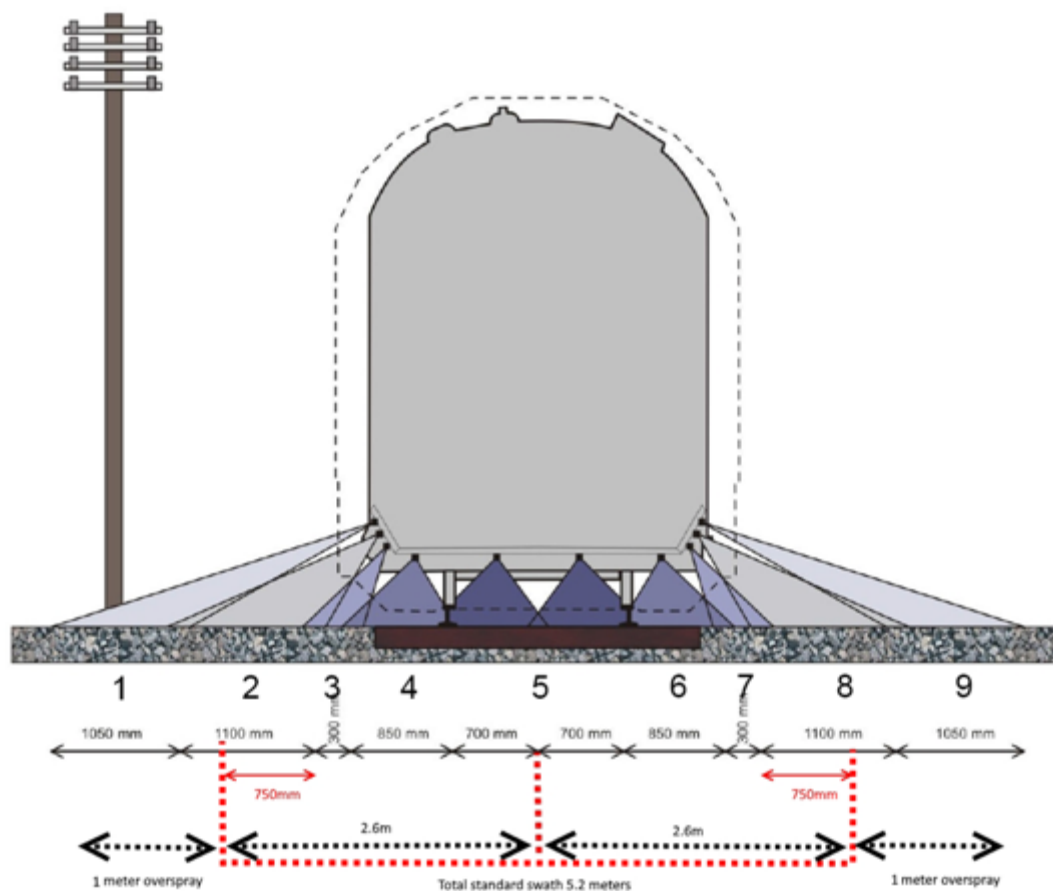
Figur 60. Återväxt och nya plantor efter endast en fräsning.

4 Projektdel 2-4 tillståndsanalys, uppföljning och effektsamband

4.1 Insamling av data

Inom projektdelen har data över ogräsen utbredning på järnvägen som samlats in och levererats via Trafikverkets nuvarande entreprenör *Weedfree On Track* utnyttjats. *Weedfree On Track* utför ogräsbekämpningen på linjen med ett ogräståg där sprutmunstyckena styrs av IR-sensorer som mäter förekomsten av ogräs (ogräsbekämpning på järnvägens driftplatser utförs av en annan entreprenör). Systemet har stora fördelar då det minskar Trafikverkets totala användning av bekämpningsmedel och säkerställer att bekämpningsmedel inte appliceras i onödan. En annan fördel med systemet är att högupplösta geografiskt positionerade data kontinuerligt samlas in över ogräsen täckningsgrader (0–100%) tillsammans med information om huruvida sprutmunstyckena är aktiverade eller inte (värde 1 eller 0). Inom ramen för FOI-projektet har Trafikverket börjat arbetet med att systematiskt bearbeta och lagra denna data och undersöka hur man skulle kunna utnyttja datasetet bättre i planeringen. Arbetet med att bearbeta data har hos Trafikverket i huvudsak utförts av Fredrik Andersson med stöd av Simon Barthelemy när det gäller import och skript i *Optram* och Anna Westling när det gäller projektledning.

Data levereras från *Weedfree* i GIS-format (geopackage) efter genomförd bekämpning. Datasetet innehåller uppgifter på ogräsets täckningsgrad med ca 1 m upplösning i längdled för 9 olika breda zoner (Figur 61). Zonerna täcker in spårmitt (zon 5) och ett område ända ut till 4 m från spårmitt. De yttersta zonerna (zon 1 och zon 9) ligger helt utanför den del av banan som normalt besprutas (*Weedfree* har fram till 2020 bekämpat området upp till 2,6 m från spårmitt) och de näst yttersta zonerna (zon 2 och zon 8; som täcker områdena 1,85 till 2,95 m från spårmitt) mäter ytor som bara har besprutats delvis (68%). Med motsvarande upplösning samlas också uppgifter på "spraying state" in dvs. om sprutmunstyckena är aktiverade eller inte för de 10 olika sprutmunstyckena som finns på ogräståget. Bredden på zonerna skiljer sig dock något mellan de två olika mätningarna.



Figur 61. Figuren visar ogrästågets principiella uppbyggnad. Sprutmunstyckena var dock annorlunda inställda än på bilden då tåget under 2020 sprutade med en sprutbredd på 5,2 m (2,6 m från spårmitt) i Sverige. Aktuell sprutbredd visas av den röda streckade linjen. Siffrorna och avståndsangivelserna under spåret visar hur IR-sensorerna var inställda. Sträckan mellan rälererna, zon 5, besprutas av två sprutmunstyckena men mätningen genomförs med bara en IR-sensor som alltså täcker in ett 700 + 700 mm brett avsnitt.

Data koordinatsätts baserat på ogrästågets GPS-utrustning. Positioneringsfel i sidled och längdled uppskattas (utifrån mätdata) till ett fåtal meter.

4.1.1 Bearbetning av data och import i Optram

Hos Trafikverket bearbetas data i flera steg efter leverans, bl.a. för att möjliggöra import till *Optram* (*Optram Enterprise*, version 6.2.27.19, Bentley Systems, Incorporated) –

Trafikverkets system för att studera och analysera periodiska mätningar på spår och kontaktledning. I *Optram* finns bl.a. information om spårläge, ballast- och rälprofiler och systemet används av förvaltare och entreprenörer för att analysera anläggningsinformation och planera för ett optimerat underhåll.

- Respektive datapunkt flyttas i sidled så att den överensstämmer med gällande spårlinje (funktionen "snap" med typ "Edge" - ortogonalt)
- Datapunkterna kläs på med attribut från spårlinjen såsom spårnummer, bandel, längdmättningsdel o.s.v. (funktionen spatial join används)
- Datapunkterna kläs på med attributen kilometer och meter (detta för att möjliggöra import i *Optram*, källa för denna data är spårlinjen som är uppstyckad i lika många punkter som längden på respektive spåränk, datamängden är inte en officiell datamängd)
- Vidare databearbetning sker i python (pandas) för att anpassa datatyper, format och för att lägga till attributet *Optram*bandel, allt i syfte att möjliggöra import i *Optram*
- Import i *Optram* sker med dataimportscript och lagras som mätdata/"survey" (en datapunkt per meter och mättillfälle)

Den andra datamängden som läses in i *Optram* gäller restriktionsytor. Restriktionsytor är Trafikverkets beteckning på ytor där ingen kemisk ogräsbekämpning får utföras och de kan inrätta på t.ex. på grund av vattenskyddsområden, närhet till ytvatten eller andra känsliga områden. Data levereras från GIS-förvaltningen över restriktionsytor. Viss bearbetning sker för att möjliggöra import i *Optram*:

- Datatyper formatanpassas
- *Optram*bandel läggs till
- Felaktiga spår-beteckningar justeras
- Import i *Optram* sker via manuell metod (skraddarsydd DLD-fil) och lagras som ett eventset i databasen

Inom projektet har vi främst fokuserat på att undersöka data insamlade under 2020 men Trafikverket har också arbetat med data från tidigare och senare års bekämpningar.

4.1.2 Osäkerheter/felkällor

Osäkerhet i grunddata skapas i samtliga förädlingssteg, nedan beskrivs kortfattat några exempel på osäkerheter:

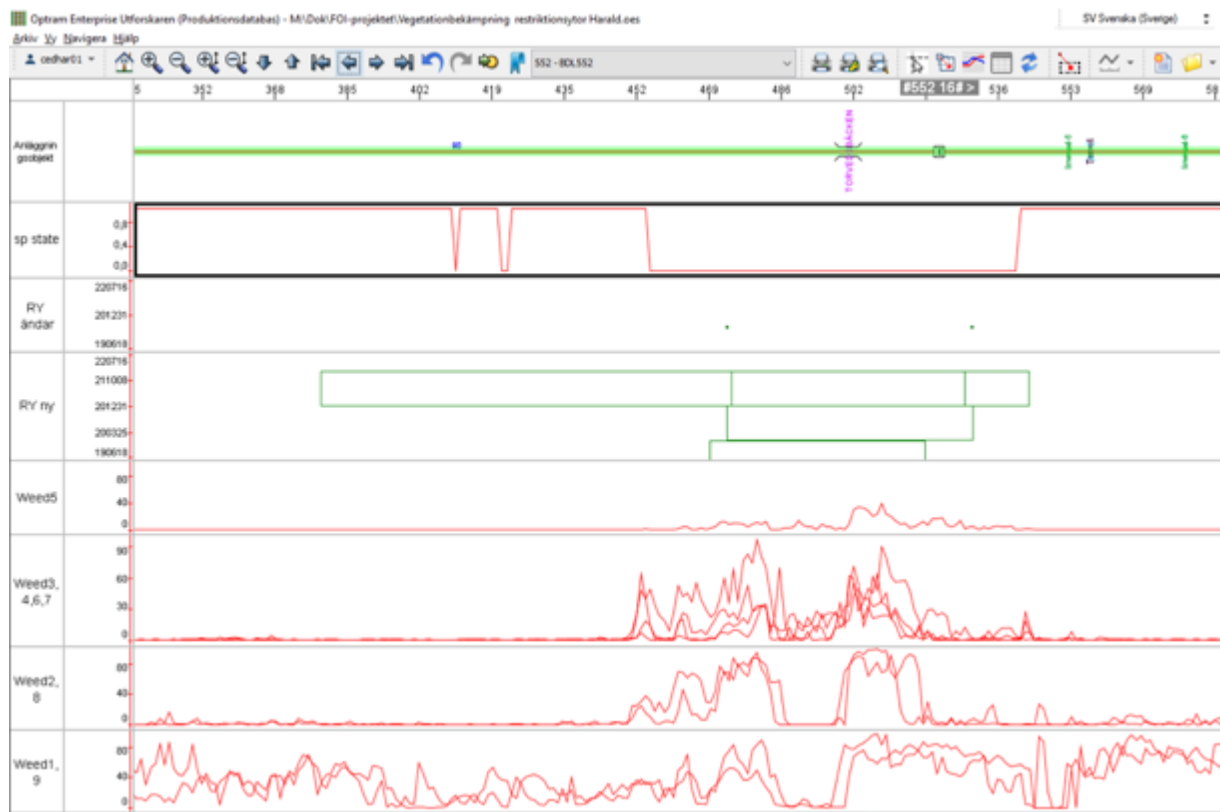
- Mätmetoden, TRV har inte kravställt mätmetoden utan nyttjar en redan befintlig lösning från leverantören, variationer i positionering och uppmätt täckningsgrad på samma position (reproducerbarhet) förekommer men bedöms vara tillräckligt bra för användningsområdet. Mätfelet i positionering är inte känt.
- Aggregering av data hos leverantör, TRV har ingen insyn i processen att skapa GIS-databasen som levereras till TRV.
- När TRV anpassar mätpunktens position till att överensstämma med spårlinjen och att koppla till närmsta km + m justeras indirekt koordinaterna, detta gör att vi kan importera data i *Optram* men samtidigt har ursprunglig position förändrats. Detta bedöms ha liten inverkan på de analyser som utförs.
- Vid import i *Optram* förekommer det att vissa sträckor inte läses in i sin helhet p.g.a. att antingen spår-beteckningen i *Optram* saknas (t.ex. återfinns inte sidospår i *Optram*) eller att km + m-positioneringen är felaktig eller har fel format.

Storleksordningen på data som ej kan läsas in är under 1% av alla data. Detta bedöms också ha begränsad påverkan.

- Data angående restriktionsytor består av ett antal filer med olika format och där vissa data saknar positioneringsdata eller har felaktiga spårbe-teckningar. Vid import i *Optram* läses vissa objekt inte in, storleksordningen 1–2% av den totala längden på restriktionsytor kan av dessa skäl inte läsas in i *Optram*.

4.1.3 Visualisering och hantering av data i Optram

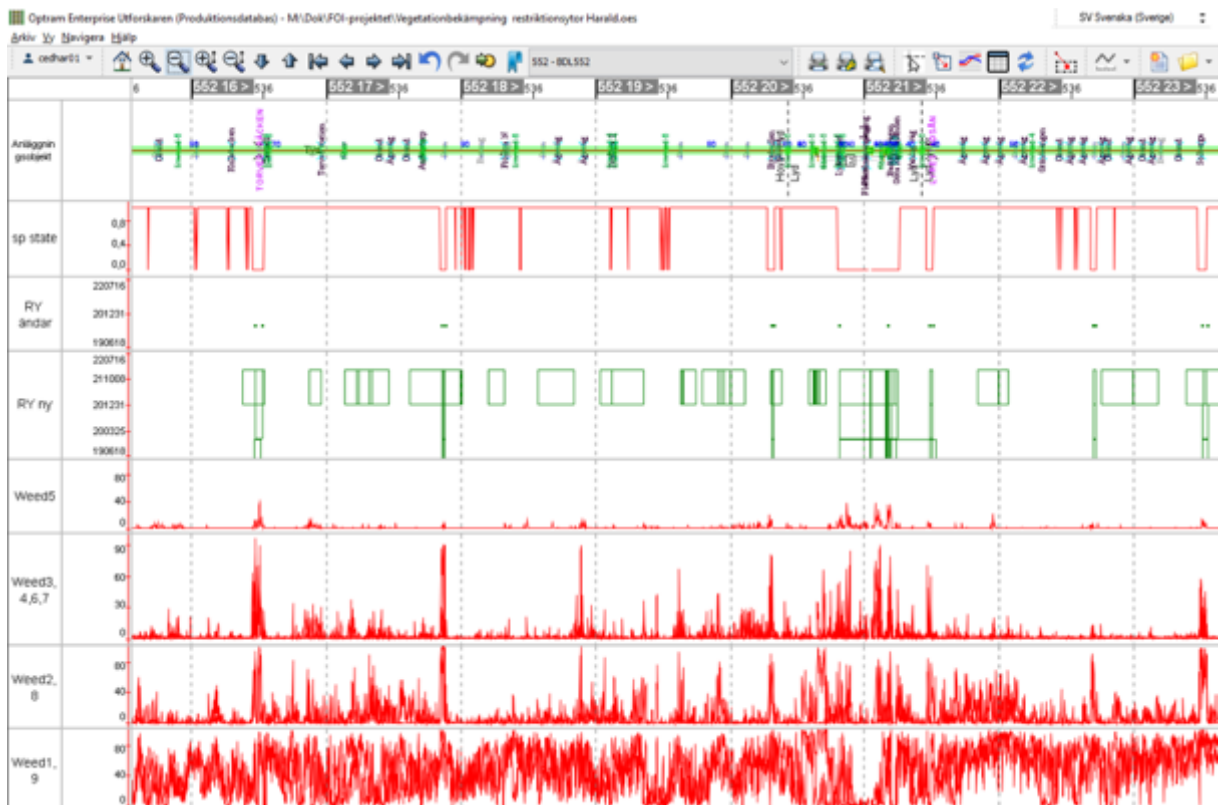
I *Optram* visas all data över täckningsgrader, spraying state och restriktionsytor för enskilda bandelar vilket i sig kan vara ett värdefullt verktyg för att översiktligt bedöma banans status (se exempel i Figur 62 och 64).



Figur 62. Exempel på hur det kan se ut inne i *Optram*; kortare avsnitt av bandel 552 (Kinnekullebanan). De olika fälten visar ovanifrån och ned: linjen med anläggningsobjekt som broar, om något av sprutmunstyckena varit påkopplade eller inte (*sp state*) under 2020, RY-ändar, restriktionsytors utbredning under 2019, 2020 och 2021, och uppmätta täckningsgrader under 2020 i zon 5, zon 3, 4, 6 och 7, zon 2 och 8 samt slutligen zon 1 och 9. I det här fallet är det tydligt att det växte mer ogräs inne i restriktionsytan än på linjen i övrigt – samtidigt minskade täckningsgraden mitt inne i restriktionsytan, troligtvis på grund av den bro som finns där. *Sp state* visar att samtliga sprutmunstycken stängdes av en bit innan respektive efter restriktionsytans ändpunkter. I övrigt var åtminstone något sprutmunstycke aktiverat större delen av tiden, trots relativt låga uppmätta täckningsgrader.



Figur 63. Filmruta från film inspelad med Mätdressin IMV100S som visar bron mitt i den aktuella restriktionsytan i augusti 2020.



Figur 64. Visar en mer utzoomad vy från bandel 552. Rent visuellt är det uppenbart att mängden ogräs ofta är betydligt högre där det finns restriktionsytor, men det finns också exempel på toppar i ogräsmängden där det inte finns några restriktionsytor. Mängden

restriktionsytor ökade som synes kraftigt under 2021 då restriktionsytor infördes överallt där järnvägen gränsar till fastigheter med enskild brunn (någonstans på fastigheten). Då projektet fokuserade på att utvärdera data från 2020 har vi dock inte tagit hänsyn till dessa nytillkomna restriktionsytor.

Genom att skapa script i *Optram* kan data aggregeras och exporteras tillbaka ut igen med önskad upplösningsnivå (t.ex. segment, bandel) för att möjliggöra en övergripande tillståndsbeskrivning eller fördjupad analys av specifika frågeställningar.

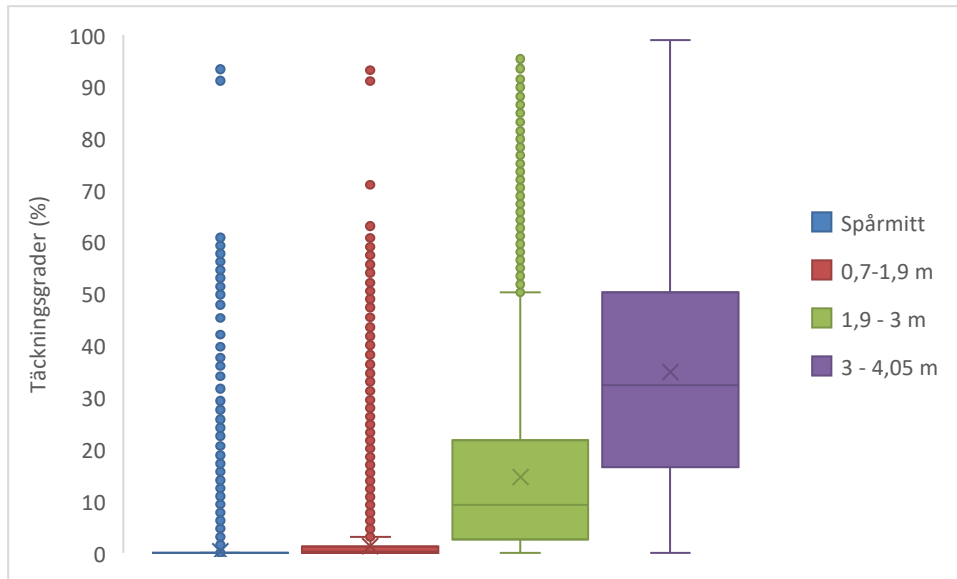
4.2 Projektdel 2 och 4 – förbättrad tillståndsanalys av vegetation i spår och undersökning av effektsamband

En del i uppdraget är att se hur detta omfattande dataset skulle kunna utnyttjas som ett planeringsverktyg för att mer objektivt mäta hur mycket ogräs som finns i spåren och också undersöka om information om ogräsen utbredning skulle kunna användas som ett planeringsverktyg för nästa års ogräsbekämpning.

Projektet ska också undersöka den fundamentala frågan om vilka problem som ogräsen egentligen förorsakar i anläggningen (om några). Det finns mycket uppgifter på att ogräs förorsakar en ansamling av organiskt material i bankroppen vilket i sin tur binder vatten och förorsakar diverse problem. Det finns dock inte så mycket underlag som visar att det är ogräsen som förorsakar problemen och att de inte i själva verket är ett symptom på en ansamling av finmaterial i bankroppen.

Inom projektet kommer data över utförda bekämpningar, ogräsförekomst och registrerade fel i anläggningen (t.ex. spårriktningsfel) att samköras för att undersöka om det går att se något samband mellan mycket ogräs och problem.

För dessa projektdelar avser vi undersöka täckningsgradsdata uppdelat på segmentnivå. I *Optram* är samtliga spår uppdelade i segment (ca 100–300 m långa segment), spåret i segmentet har liknande teknisk och geometrisk utformning. Segmenten innehåller anläggningsdata såsom räiltyper, inläggningsår, ballasttyp och annan tillståndsdata såsom spårålagets kvalitet läggs till för att möjliggöra korrelationsanalyser. I skrivande stund har data precis exporterats ut ur *Optram* på segmentsnivå men den detaljerade analysen kommer att genomföras efter FOI-projektets slut, under 2022 eller senare.



Figur 65. Tillståndet i spåret 2020. Boxplots som visar genomsnittliga uppmätta täckningsgrader på olika avstånd från spårmitt för samtliga segment som passerades under 2020, totalt 116 875 st. Detta inbegriper såväl bandelar med grus- som med makadamballast, linje, driftplats etc.

4.3 Projektdel 3 – Uppföljning och analys av den kemiska ogräsbekämpningen

Tanken är att projektet ska kunna ge ett svar på hur väl den kemiska ogräsbekämpningen egentligen fungerar långsiktigt. Idag sker stickprovskontroller efter utförd bekämpning där effekten utvärderas, men ingen systematisk utvärdering av hur vegetationen påverkas över längre tid. Det går därför inte att besvara om de insatser som görs idag är tillräckliga eller inte för att upprätthålla en god banstandard.

För att undersöka den långsiktiga effekten av ogräsbekämpningen jämfördes täckningsgrader uppmätta i restriktionsytor (obesprutade ytor) med ytor i närheten av restriktionsytor (besprutade).

4.3.1 Databearbetning och analys

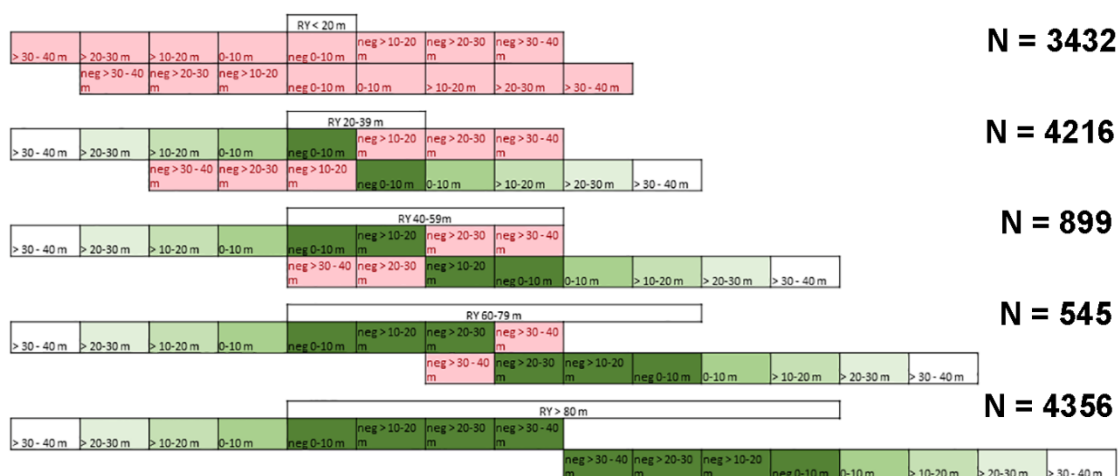
För att möjliggöra denna analys så kördes skriptet *Restriktionsytor* för 2020 års data i Optrams produktionsmiljö. Skriptet gör en rad saker:

- Det skapar 4 spårprofilområden för täckningsgrader respektive spraying states:
 - wdCenter (zon 5)
 - wdInner (ett beräknat medelvärde för zon 3, 4, 6 och 7)
 - wdOutClose (medelvärde för zon 2 och 8)
 - wdOutFar (medelvärde för zon 1 och 9)
 - spCenter (medelvärde för sprutmunstycke 5 och 6)
 - spInner (medelvärde för munstycke 3, 4, 6 och 7)
 - spOutClose (medelvärde för munstycke 2 och 8)
 - spOutFar (medelvärde för munstycke 1 och 9)

- Laddar in restriktionsytor (RY) i Optram, där grunddatat kan överlappa (det kan finnas flera olika typer av restriktionsytor som helt eller täcker samma banavsnitt eller ligger i direkt anslutning till varandra)
- Parerar överlapp genom att skapa alla delsträckor som inte är RY: inte RY = spårnät – RY och därefter beräkna restriktionsytor utan överlapp som RY = spårnät – inte RY
- Tar bort RY kortare än 2 m
- Tar bort RY upp till 30 m från ballastfritt spår (främst stålbroar)
- Skapar objekten RY-ändar, dvs. ändpunkter för RY utan överlapp
- Beräknar ett medelvärde för täckningsgrad och spraying state för de 4 spårprofilområdena för 8 olika 10 m-intervall i anslutning till RY-ändar (0–10 m, 10–20 m, 20–30 m och 30–40 m utanför varje RY-ände, respektive 0–10 m, 10–20 m, 20–30 m och 30–40 m innanför varje RY-ände)
- Sparar data i kategorin ”Restriktionsytor ändpunkter”

Efter det att skriptet är kört i *Optram* är det möjligt att exportera den data som sparats ned för vidare bearbetning utanför *Optram*.

Efter exporten gicks datasetet igenom manuellt, och delar av datasetet exkluderades för att undvika artefakter och felkällor. Alla RY-ändar från restriktionsytor kortare än 20 m exkluderades helt (totalt 3432 st.) då det inte är möjligt att beräkna ett medelvärde för täckningsgraden för sträckan 0–10 m innanför RY-änden för restriktionsytor kortare än 20 m. På motsvarande sätt exkluderades för alla restriktionsytor kortare än 80 m de 10-m intervall i restriktionsytorna som befinner sig för nära eller utanför motsatt RY-ände (Figur 66).



Figur 66 Visar schematiskt de olika 10 m-intervallen och vilka 10-m intervall som behöver exkluderas beroende på hur långa restriktionsytorna är och hur många RY-ändar som berörs. För restriktionsytor kortare än 80 m kommer täckningsgrader uppmätta i intervallet 30–40 m innanför RY-änden samtidigt vara närmare än 40 m från den motsatta RY-änden. För restriktionsytorna kortare än 40 m kommer mätpunkter som befinner sig 40 m innanför den ena RY-änden samtidigt befinna sig utanför den motsatta RY-änden, dvs. ute i besprutat spår. För restriktionsytor kortare än 20 m finns det inga mätpunkter som samtidigt befinner sig 10 m innanför restriktionsytans båda ändar.

I nästa steg exkluderades dubletter från datasetet, dvs. där det finns flera mätvärden från samma RY-ände. Dubletter uppstår när ogrästtåget passerar flera gånger över samma bandel, t.ex. när ogräsbekämpning först utförs i ena riktningen och tåget sedan återvänder senare under natten på samma spår, eller där en viss bandel används som transportsträcka och

passeras flera gånger. För bandelar med flera mätningar sparades resultaten från den mätning som genomfördes i samband med att ogräsbekämpningen genomfördes (generellt sett det första tillfället som tåget passerade) alternativt från det första mättillfället för bandelar som inte ogräsbekämpades. Totalt exkluderades 3235 RY-ändar som dubletter.

Vidare exkluderades 1089 driftplatser, då dessa kan förmodas systematiskt skilja sig åt från linjen med avseende på ballast och övrigt underhåll och 860 RY-ändar där restriktionsytorna innehåller broar då dessa också kan ge upphov till konstiga effekter (se t.ex. Figur 63). Efter dessa urval återstod 4832 RY-ändar. Dessa delades upp efter angiven ballasttyp: grusballast (859 st.), makadam (3907 st.) och icke angiven ballasttyp (66 st.). Den sistnämnda gruppen studerades inte vidare. I detta skede exkluderades all data från bandel 376A, 376B och 376C (samtliga med grusballast; 103 RY-ändar) då dessa banor är ERTMS-banor där ogrästtåget använt ett annat draglok vilket medfört att IR-sensorerna behövt konfigureras annorlunda. RY-ändar från bandelar med grus och makadam-ballast delades vidare in i olika grupper utifrån om de ogräsbekämpats under 2019 eller inte (vilket stämde av mot ogrästtågets sprutlogg för 2019). De slutgiltiga grupperna som analyserades vidare var:

- grusballast ogräsbekämpad 2019: 618 RY-ändar
- grusballast inte ogräsbekämpad 2019: 124 RY-ändar
- makadamballast ogräsbekämpad 2019: 1658 RY-ändar
- makadamballast inte ogräsbekämpad 2019: 2241 RY-ändar

Statistiska skillnader mellan grupperna undersöktes med hjälp ett icke-parametriskt Steel-Dwass test ($\alpha = 0.05$).

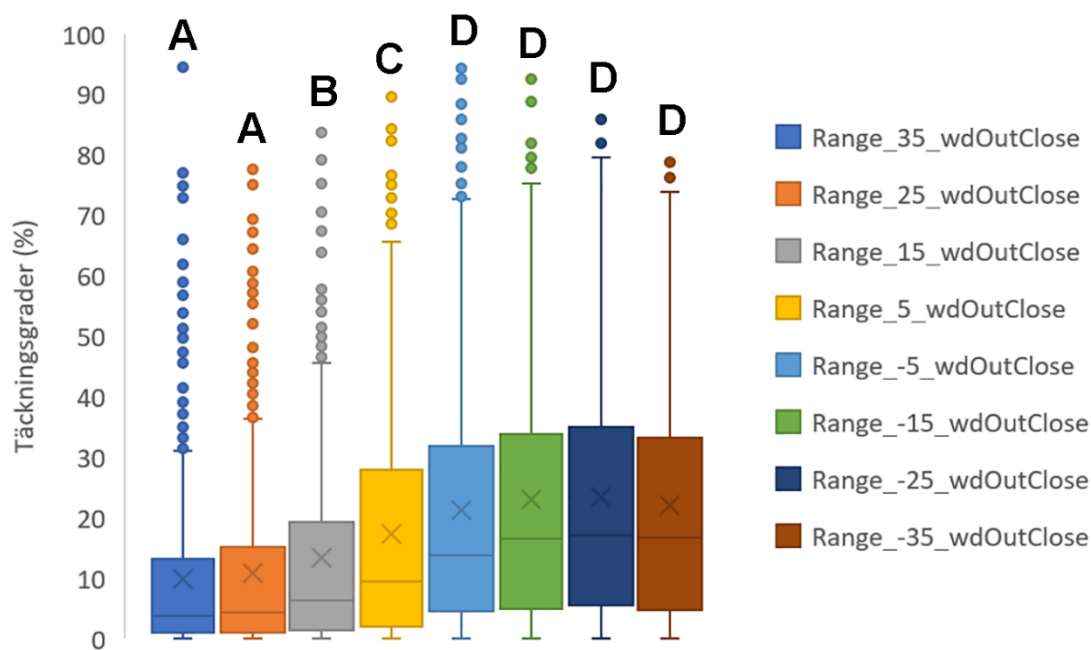
För analys av spraying state gjordes ingen distinktion mellan om bandelar bekämpades under 2019 eller inte. Däremot exkluderades RY-ändar från bandelar där ingen bekämpning utfördes under 2020. De slutgiltiga grupperna som analyserades var:

- grusballast: 600 RY-ändar
- makadamballast: 2378 RY-ändar

4.3.2 Resultat

4.3.2.1 Täckningsgrader

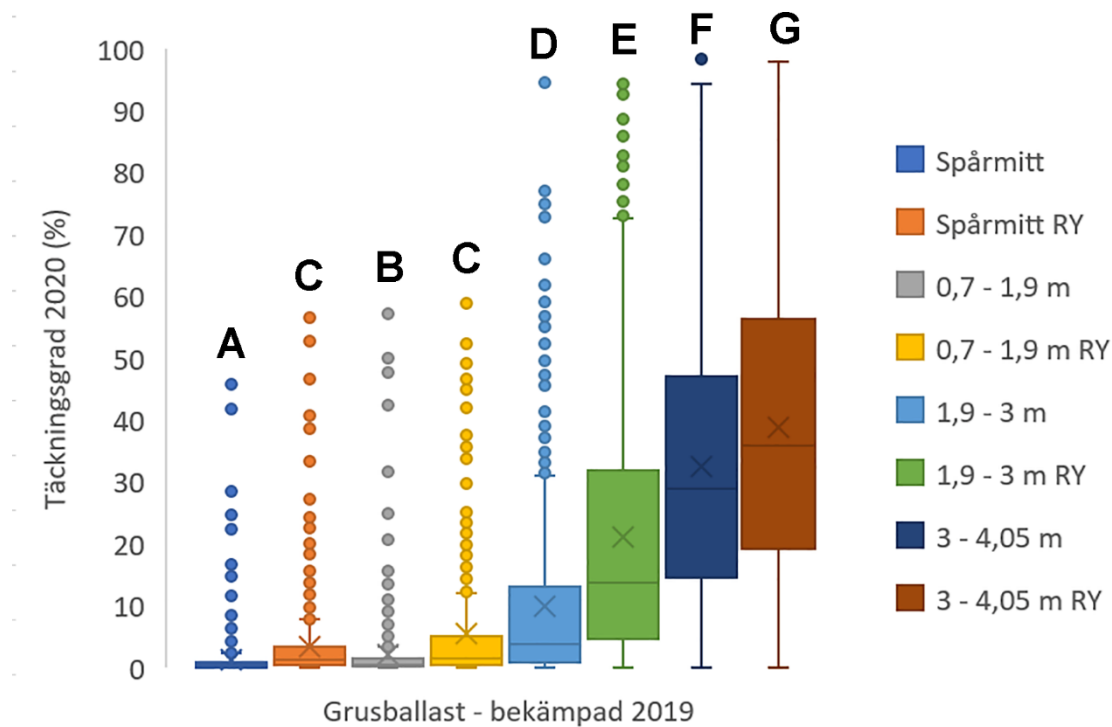
Ett generellt mönster var att täckningsgraderna ökar ju närmare restriktionsytan man kommer men att täckningsgraderna är relativt konstanta inne i restriktionsytorna. De två 10-m-intervallen som ligger längst från restriktionsytan skiljer sig generellt inte åt statistiskt och heller inte de olika intervallen inne i restriktionsytan. Ett exempel på hur det kan se ut visas i Figur 67. Man kan uttrycka det som att effekten av en restriktionsyta sträcker sig åtminstone 20–30 m utanför dess gräns.



Figur 67. Täckningsgrader uppmätta 2020 på banor med grusballast bekämpad 2019, i zonen OutClose (1,9–3 m från spårmit). Kategorierna Range 35 till Range -35 avser intervallen 0–10 m, 10–20 m, 20–30 m och 30–40 m utanför RY-ändarna, respektive 0–10 m, 10–20 m, 20–30 m och 30–40 m innanför RY-ändarna. Täckningsgraden ökar ju närmare restriktionsytan man kommer men är sedan i genomsnitt konstant inne i restriktionsytan. Lådans kanter visar de första och tredje kvartilerna, linjen i lådorna anger medelvärdet och x:et visar medianvärdet. Avvikande värden visas som enskilda punkter. Bokstäverna ovanför lådorna anger signifikansgrupperna och lådor med samma bokstav ovanför är inte statistiskt signifikant skilda åt ($\alpha = 0,05$).

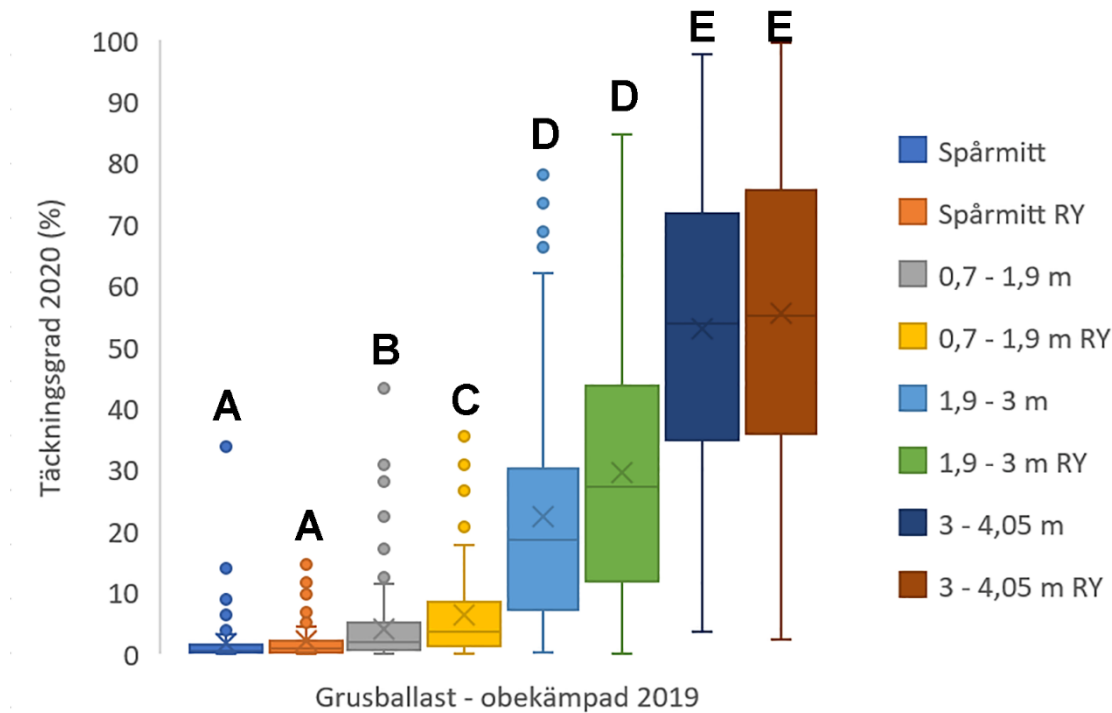
För att minska mängden data att gå igenom och för att göra resultaten lite enklare att visualisera, fokuserades analysen på att jämföra täckningsgrader uppmätta 30–40 m utanför RY-ändarna (relativt opåverkade av närheten till restriktionsytan) med värden uppmätta 0–10 m innanför gränsen (där vi har flest mätvärden).

På bandelar med grusballast som bekämpades under 2019 är effekterna av ogräsbekämpningen relativt tydlig med signifikant lägre täckningsgrader uppmätta i bekämpat spår (Figur 68). Skillnaderna i täckningsgrad är dock inte särskilt stora i de centrala delarna av spåret (Tabell 2). Att notera är att det finns signifikanta skillnader mellan täckningsgraderna även i den yttersta zonen 3–4,05 m från spårmit, som alltså ligger 0,4–1,45 m utanför gränsen till det besprutade området. Detta förklaras troligtvis av att vegetationen i den här zonen är påverkad av vindavdrift. Utifrån de mätningar av vindavdriften som har gjorts inom ramen för projektdel 5 (se nedan) är detta resultat förväntat.



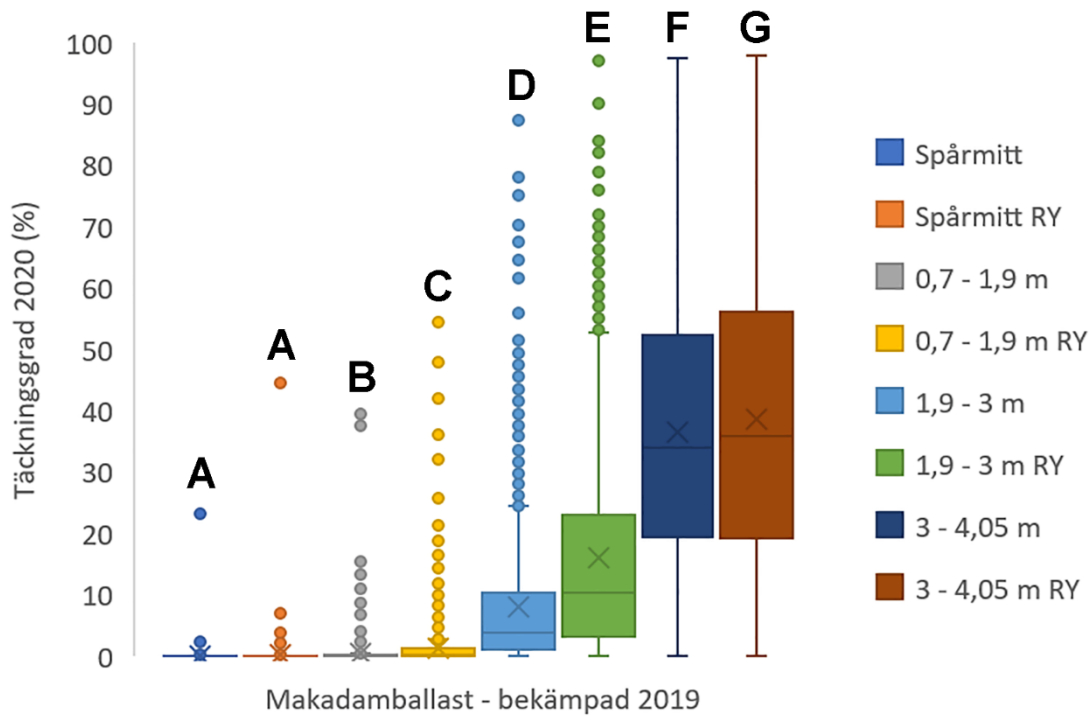
Figur 68. Boxplots som visar genomsnittliga ogrästäckningsgrader, uppmätta i spårmitt och på olika avstånd från spårmitt, i bekämpat spår (30–40 m från restriktionsytor) och i restriktionsytor (0–10 m), på bandelar med grusballast som bekämpades under 2019 ($N = 618$). Lådans kanter visar de första och tredje kvartilerna, linjen i lådorna anger medelvärdet och x :et visar medianvärdet. Avvikande värden visas som enskilda punkter. Bokstäverna ovanför lådorna anger signifikansgrupperna och lådor med samma bokstav ovanför är inte statistiskt signifikant skilda åt ($\alpha = 0,05$).

På bandelar med grusballast som inte bekämpades under 2019 är skillnaderna mellan restriktionsyta och linjen utanför restriktionsytan mindre. Det är bara i zonen 0,7–1,9 m från spårmitt som det fortfarande finns en statistiskt signifikant skillnad (Figur 69). Att tänka på är dock att det var relativt få RY-ändor som ingick i denna grupp vilket ger låg statistisk styrka.

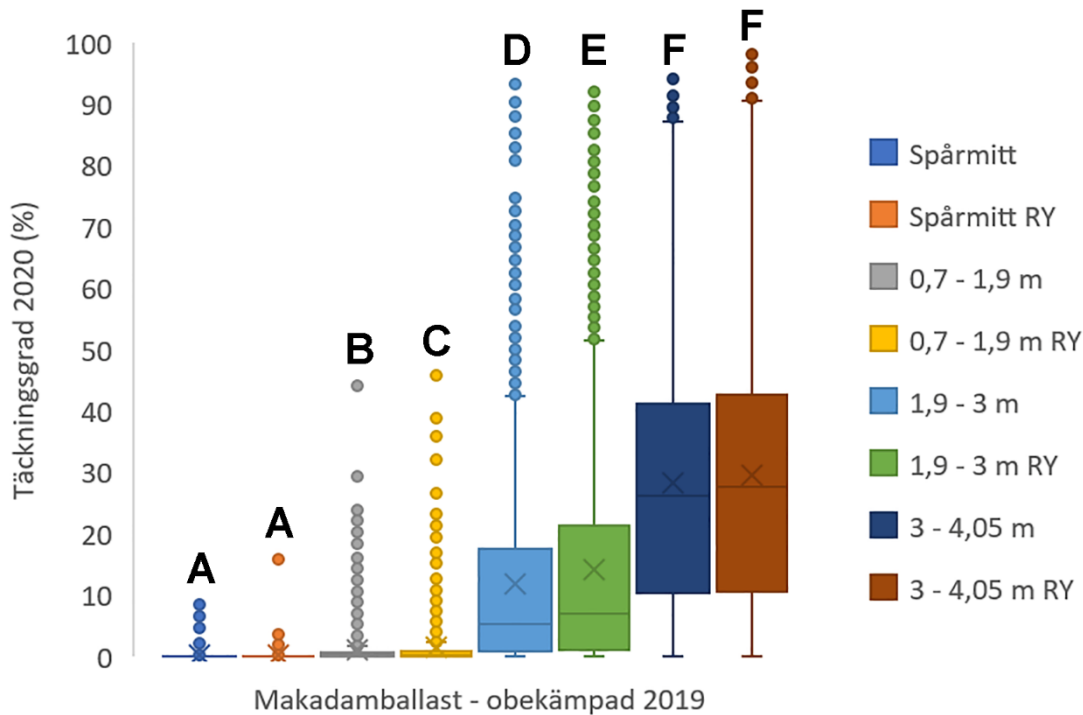


Figur 69. Boxplots som visar genomsnittliga ogrästtäckningsgrader, uppmätta i spårmitt och på olika avstånd från spårmitt, i bekämpat spår (30–40 m från restriktionsytor) och i restriktionsytor (0–10 m), på bandelar med grusballast som inte bekämpades under 2019 ($N = 124$). Lådans kanter visar de första och tredje kvartilerna, linjen i lådorna anger medelvärdet och x:et visar medianvärdet. Avvikande värden visas som enskilda punkter. Bokstäverna ovanför lådorna anger signifikansgrupperna och lådor med samma bokstav ovanför är inte statistiskt signifikant skilda åt ($\alpha = 0,05$).

På bandelar med makadamballast är täckningsgraderna generellt mycket låga i spårmitt och i zonen 0,7–1,9 m från spårmitt. Detta gäller oavsett om bandelen ogräsbekämpades året innan eller inte (Figur 70 och 71; Tabell 2). I båda fallen gäller att det inte finns några statistiskt signifikanta skillnader mellan restriktionsyta och övrigt spår i spårmitt medan det finns en liten men signifikant skillnad i täckningsgrad för zonen 0,7–1,9 m. I zonen 1,9–3 m utanför spårmitt är skillnaden betydligt större på bandelar som bekämpades under 2019 och i den yttersta zonen finns det en signifikant skillnad som indikerar påverkan från vindavdrift för bekämpade bandelar men inte för obekämpade (Figur 70 och 71).



Figur 70. Boxplots som visar genomsnittliga ogrästäckningsgrader, uppmätta i spårmitt och på olika avstånd från spårmitt, i bekämpat spår (30–40 m från restriktionsytor) och i restriktionsytor (0–10 m), på bandelar med makadamballast som bekämpades under 2019 ($N = 1658$). Lådans kanter visar de första och tredje kvartilerna, linjen i lådorna anger medelvärdet och x:et visar medianvärdet. Avvikande värden visas som enskilda punkter. Bokstäverna ovanför lådorna anger signifikansgrupperna och lådor med samma bokstav ovanför är inte statistiskt signifikant skilda åt ($\alpha = 0,05$).



Figur 71. Boxplots som visar genomsnittliga ogrästtäckningsgrader, uppmätta i spårmitt och på olika avstånd från spårmitt, i bekämpat spår (30–40 m från restriktionsytor) och i restriktionsytor (0–10 m), på bandelar med makadamballast som inte bekämpades under 2019 ($N = 2241$). Lådans kanter visar den första och tredje kvartilerna, linjen i lådorna anger medelvärdet och x :et visar medianvärdet. Avvikande värden visas som enskilda punkter. Bokstäverna ovanför lådorna anger signifikansgrupperna och lådor med samma bokstav ovanför är inte statistiskt signifikant skilda åt ($\alpha = 0,05$).

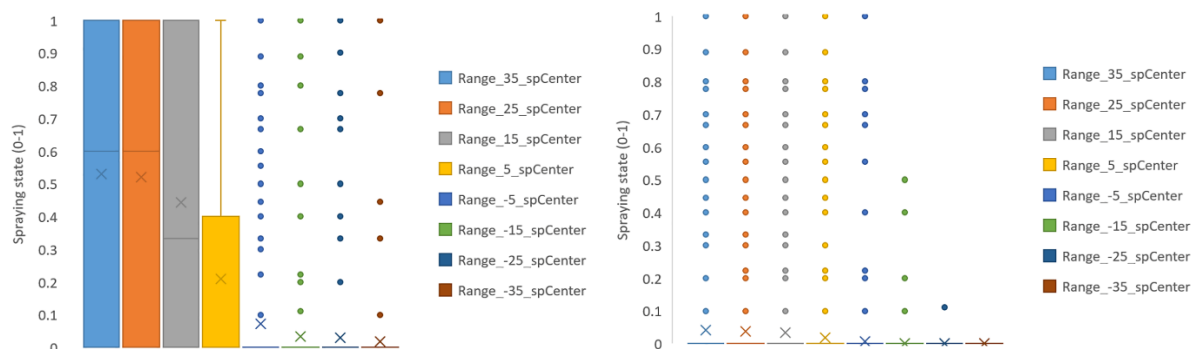
Tabell 2 Genomsnittliga täckningsgrader \pm standardavvikelse uppmätta under 2020 i och nära restriktionsytor på bandelar med grusballast och makadamballast som bekämpades eller inte bekämpades 2019

	Täckningsgrad (%)	Täckningsgrad (%)	Täckningsgrad (%)	Täckningsgrad (%)
	Grusballast bekämpad	Grusballast obekämpad	Makadamballast bekämpad	Makadamballast obekämpad
Spårmitt	1,1 \pm 3,5	1,5 \pm 3,6	0,0 \pm 0,6	0,0 \pm 0,3
Spårmitt RY	3,3 \pm 6,3	2,0 \pm 3,0	0,1 \pm 1,2	0,1 \pm 0,4
0,7–1,9 m	2,1 \pm 5,6	4,0 \pm 6,2	0,4 \pm 1,9	1,0 \pm 2,9
0,7–1,9 m RY	5,4 \pm 9,7	6,3 \pm 7,4	1,3 \pm 3,4	1,3 \pm 3,5
1,9–3 m	9,8 \pm 14	22 \pm 19	7,9 \pm 11	12 \pm 15
1,9–3 m RY	21 \pm 21	30 \pm 20	16 \pm 17	14 \pm 17
3–4,05 m	32 \pm 22	53 \pm 23	37 \pm 22	28 \pm 21
3–4,05 m RY	39 \pm 24	55 \pm 24	40 \pm 22	29 \pm 22

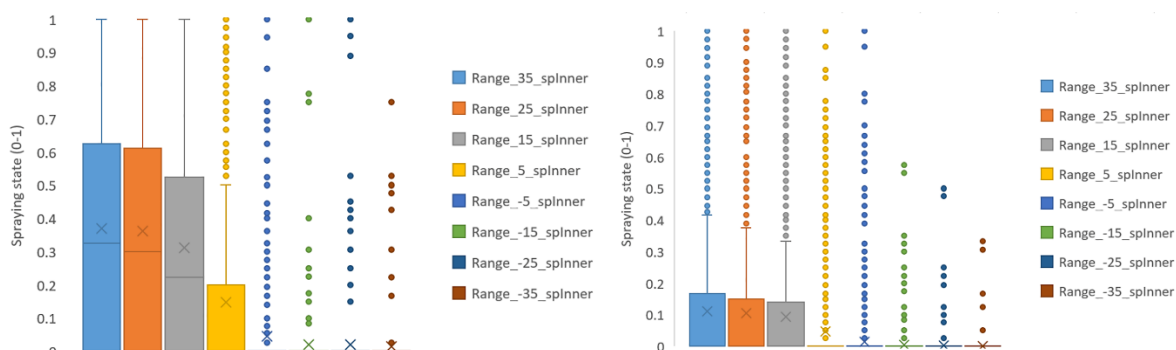
4.3.2.2 Spraying state

Parametern *Spraying state* uppvisar generellt motsatt mönster jämfört med täckningsgraderna, med högre grad av aktivering av sprutmunstyckena ju längre bort från restriktionsytan man kommer. Utifrån resultatet ser det ut som att det är relativt vanligt att ogräståget slutar bespruta redan något/några 10-tal meter innan restriktionsytan börjar. Det är troligt att detta förklarar varför täckningsgraderna börjar öka redan när man närmar sig restriktionsytorna och inte först vid restriktionsytans gräns.

Skillnaden mellan hur mycket sprutmunstyckena aktiveras är stor mellan bandelar med grusballast och bandelar med makadamballast i de centrala delarna av spåret (Figur 72 och 73) medan besprutningsmönstret är likartat för de yttre sprutmunstyckena (Figur 74). Noterbart är att munstyckesaktiveringen är i genomsnitt runt 50% i spårmittpå grusbannor men mycket låg på makadambannor. Detta trots att täckningsgraderna bara är någon/några procent på bannor med grusballast (Figur 68 och 69; Tabell 2). Detta visar att det inte finns något egentligt tröskelvärde för ogräsbekämpningen på Weedfree's tåg – det räcker med att IR-sensorn detekterar ett ogräs för att sprutmunstyckena ska aktiveras.

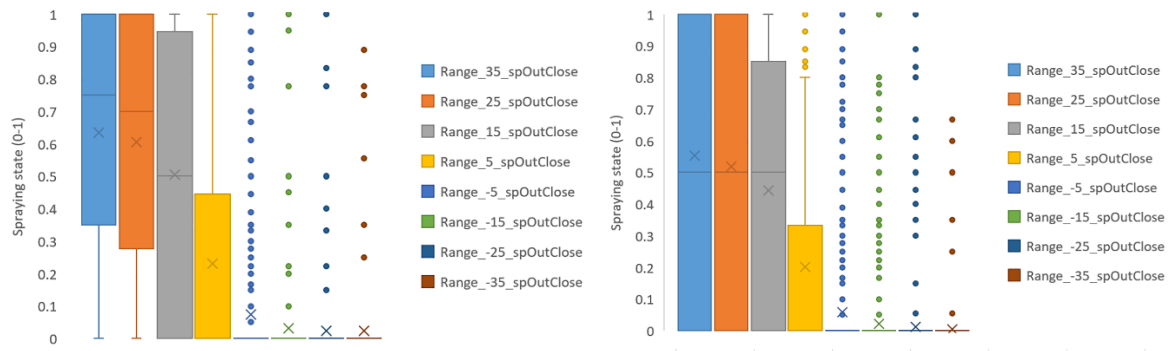


Figur 72. Boxplots som visar genomsnittlig grad av aktivering av sprutmunstyckena (*spraying state*) i närheten av RY-ändar, uppmätt i spårmittpå (sprutmunstycke 5 och 6), för bannor med grusballast (vänster) och för bannor med makadamballast (höger). Lådans kanter visar den första och tredje kvartilerna, linjen i lådorna anger medelvärdet och x:et visar medianvärdet. Avvikande värden visas som enskilda punkter.



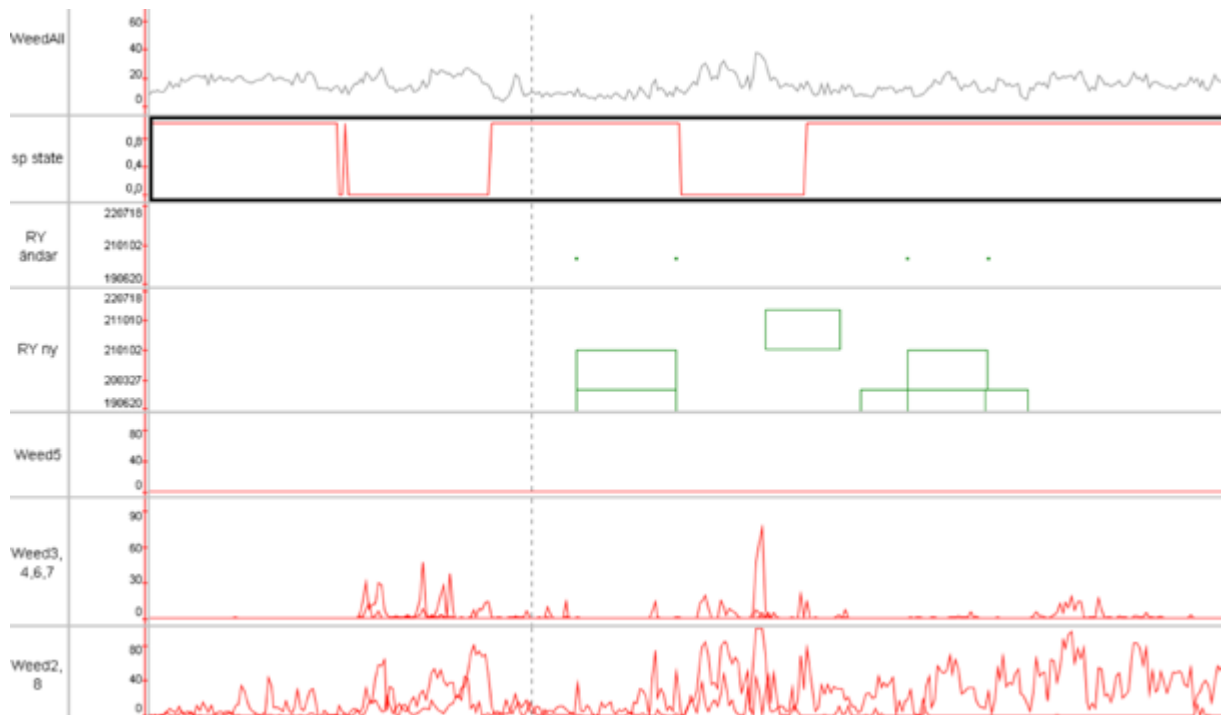
Figur 73. Boxplots som visar genomsnittlig grad av aktivering av sprutmunstyckena 3, 4, 7 och 8 i närheten av RY-ändar, för bannor med grusballast (vänster) och för bannor med makadamballast (höger). Lådans kanter visar den första och tredje kvartilerna, linjen i

lådorna anger medelvärdet och x:et visar medianvärdet. Avvikande värden visas som enskilda punkter.



Figur 74. Boxplots som visar genomsnittlig grad av aktivering av sprutmunstyckena 2 och 9 i närheten av RY-ändar, för banor med grusbullast (vänster) och för banor med makadambullast (höger). Lådans kanter visar den första och tredje kvartilerna, linjen i lådorna anger medelvärdet och x:et visar medianvärdet. Avvikande värden visas som enskilda punkter.

Noterbart är att det finns ett antal fall där sprutmunstyckena ser ut att vara aktiverade inne i restriktionsytorna (storleksordningen 2%, i zonen 0–10 m innanför RY-änden). Kontroll av stickprov i datasetet i *Optram* indikerar att detta beror på någon form av positioneringsfel (Figur 75). Troligtvis handlar det om att restriktionsytor respektive besprutningsdata positionerats annorlunda när de lästs in i *Optram* snarare än ett positioneringsfel i verkligheten (t.ex. att tåget skulle ha fel position i förhållande till verkligheten och spruta i restriktionsytor). Detta behöver dock studeras vidare för att dra definitiva slutsatser.

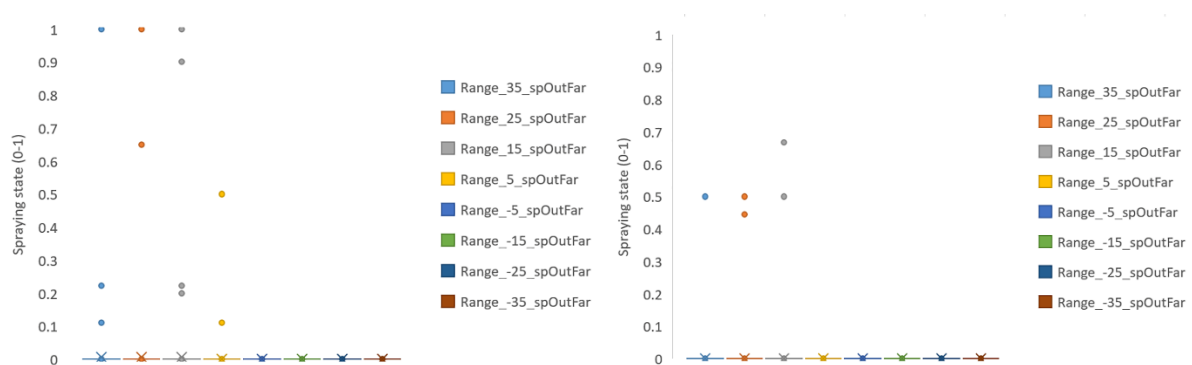


Figur 75. Stickprov på hur det kan se ut i Optram på en bandel där besprutning detekterats inne i restriktionsytorna. Det finns två restriktionsytor och tåget gör också två sprutuppehåll

– positionerna för *spraying state* och täckningsgrader tycks dock vara förskjutna i förhållande till restriktionsytornas lägen.

Om det finns positioneringsfel (oavsett anledning) så är de troligt att de påverkar mätningarna av täckningsgrad i motsvarande grad och kan bidra till att sudda ut skillnaderna mellan restriktionsytor och bekämpat spår i viss mån.

Det finns också några enstaka fall där *Spraying state* indikerar att sprutmunstyckena 1 och 10 har aktiverats trots att de i normalfallet aldrig bör aktiveras vid besprutning i Sverige (Figur 76). Detta rör sig dock enbart om ca 0,2% av fallen.



Figur 76. Boxplots som visar genomsnittlig grad av aktivering av sprutmunstyckena 1 och 10 i närheten av RY-ändar, för banor med grusballast (vänster) och för banor med makadamballast (höger). Lådans kanter visar den första och tredje kvartilerna, linjen i lådorna anger medelvärde och x:et visar medianvärdet. Avvikande värden visas som enskilda punkter.

5 Projektdel 5 – Undersökning av vindavdrift

5.1 Fältförsök utförda 2019–2020

Försöken har syftat till att bestämma hur mycket glyfosat som sprids till omgivningen genom vindavdrift vid ogräsbekämpning av linjen. Resultaten är tänkta att användas som underlag för en uppdaterad riskkaraktärisering av ogräsbekämpningens påverkan på omgivningen.

Totalt har 4 olika fältförsök genomförts på 3 olika bandelar, 2 försök genomfördes under 2019 och 2 st. under 2020. Ytterligare ett fältförsök förbereddes under 2019 men några mätningar kunde inte genomföras då det i fält visade sig att ogräståget hade passerat den tilltänkta försökssträckan en dag tidigare än planerat.

Potentiella försökssträckor har identifierats genom att studera ogrästågets körplan i kombination med handläggartödet för ogräsbekämpning (ett kartverktyg som visar var tåget planerar att bekämpa, restriktionsytor, spårkm-tal och annan info), satellitfoton från Google Maps och/eller Eniro.se och i något fall Google Street View. Kriterier för urvalet av försökssträckor har varit att de ska vara med i körplanen, inte ligga alltför nära restriktionsytor, vara relativt öppna för vindpåverkan, inte stängslade eller avgränsade på

annat sätt som hindrar utplaceringen av filterpapper och inte ligga på alltför högtrafikerade spår. Under 2019 genomfördes också fältbesök på flera bandelar för att bedöma om potentiella försökssträckor som identifierats enligt ovanstående var lämpliga.

5.2 Försöksupplägg

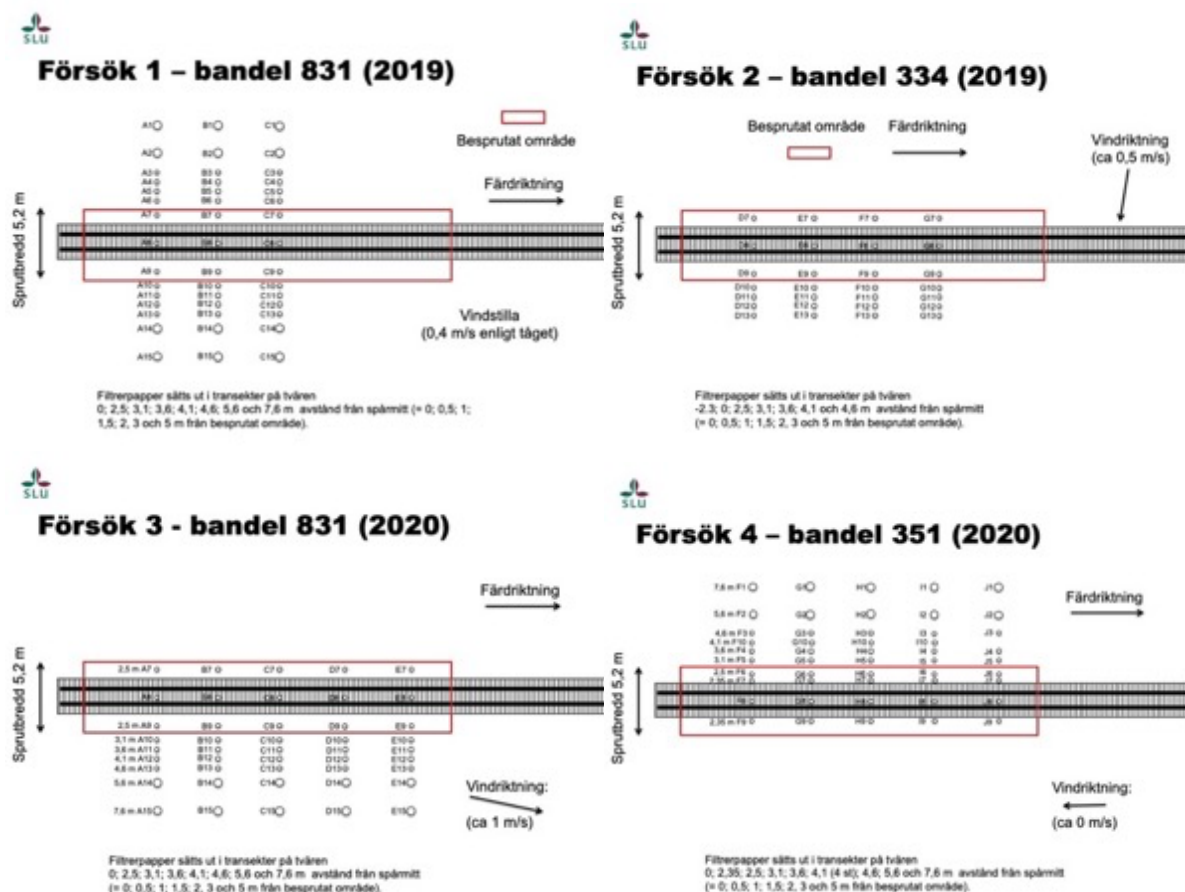
Principen för försöken har varit att glyfosat fångas upp på filterpapper som monterats på särskilda hållare eller utplaceras i petriskålar på, eller på olika avstånd från, järnvägen, strax innan ogräståget passerar över försökssträckorna. I typfallet har filterpapper placerats i spårmitt, 2,5 m från spårmitt (i kanten av det besprutade området), samt på 3,1; 3,6; 4,1; 4,6; 5,6 och 7,6 m avstånd från spårmitt, vilket motsvarar 0,5; 1; 1,5; 2; 3 och 5 m från gränsen för det besprutade området. Genom att relatera den uppfångade mängden glyfosat till papprets yta går det att ungefärligt uppskatta den avsatta mängden i g/ha. Vind och vindriktning har mätts med hjälp av en anemometer (Kestrel 5500) som monterats på ett stativ ungefär i ögonhöjd vid själva försökssträckan – ogräståget har också gjort en avläsning av sin vindmätare. Tåget har när det passerar försökssträckan aktiverat samtliga sprutmunstycken samtidigt som det färdats så snabbt som de lokala förutsättningarna medger. Efter besprutningen har försökspappren samlats in i 50 ml polypropylenrör (Sarstedt) och skickats för extraktion och analys hos Eurofins.

Försök 1 genomfördes på bandel 831 – (Nässjö)-(Hultsfred) vid ett kalhygge. Försökssträckan besprutades ca kl. 21:20 på kvällen den 23:e maj 2019. Då förhållandena bedömdes som vindstilla sattes filterpappren ut i tre transekter som sträckte sig på båda sidor av järnvägen (Figur 78). Filterpapper med större diameter ($\varnothing = 15$ cm istället för 11 cm) användes på de största avstånden från spåret för att öka analysens känslighet.

Försök 2 genomfördes på bandel 531 (Grycksbobanan) och försökssträckan besprutades ca kl. 04:30 på morgonen den 6:e juni 2019. Filterpapper sattes upp i 4 transekter på ena sidan av banvallen i vindens riktning (Figur 77). De yttersta filterpappren sattes inte ut då de hamnade i en hästhage. Försökssträckan var inte helt idealisk som teststräcka då den endast var delvis öppen mot den intilliggande sjön Grycken på ena sidan.

Försök 3 genomfördes på samma plats på bandel 831 som försök 1. Försöket besprutades på kvällen den 27:e maj 2020. Det blåste en svag vind (ca 1 m/s) och då vindriktningen var västnordvästlig, snett utmed järnvägen, och med en prognosticerad mera nordlig riktning placerades 5 transekter med filterpapper ut på banans vänstra (sydliga) sida (Figur 77).

Försök 4 genomfördes på bandel 531 – Frövi-Jädersbruk på en plats som var öppen för vindpåverkan i alla riktningar. Försökssträckan besprutades på kvällen den 14:e juni. Filterpappren placerades i 5 transekter utmed den norra sidan av banvallen (Figur 77) då vinden prognosticerades svänga till sydlig men det var i princip vindstilla då ogräståget passerade.



Figur 77. Översikt över filterpapperens placering i de fyra olika fältförsöken.

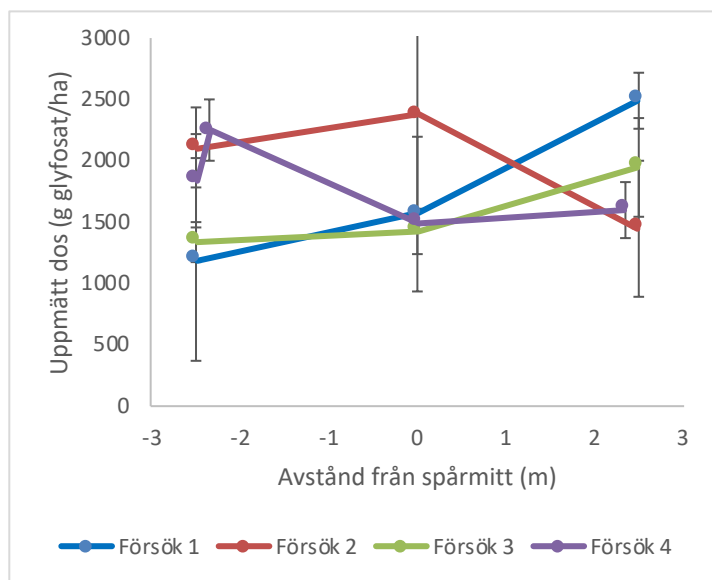
5.3 Resultat

Inget av försöken genomfördes vid särskilt blåsiga förhållanden – vindstyrkorna bedömdes i fält vara 0–1 m/s (Tabell 3). Vindstyrkan som rapporterades från ogrästtåget var dock konsekvent högre än den som uppmättes på plats. Detta kan bero på att tågets vindmätare sitter högre upp eller på att mätningen inte kompenserar för tågets egen rörelse på ett adekvat sätt.

Tabell 3. Översikt över vindstyrka och färdhastighet

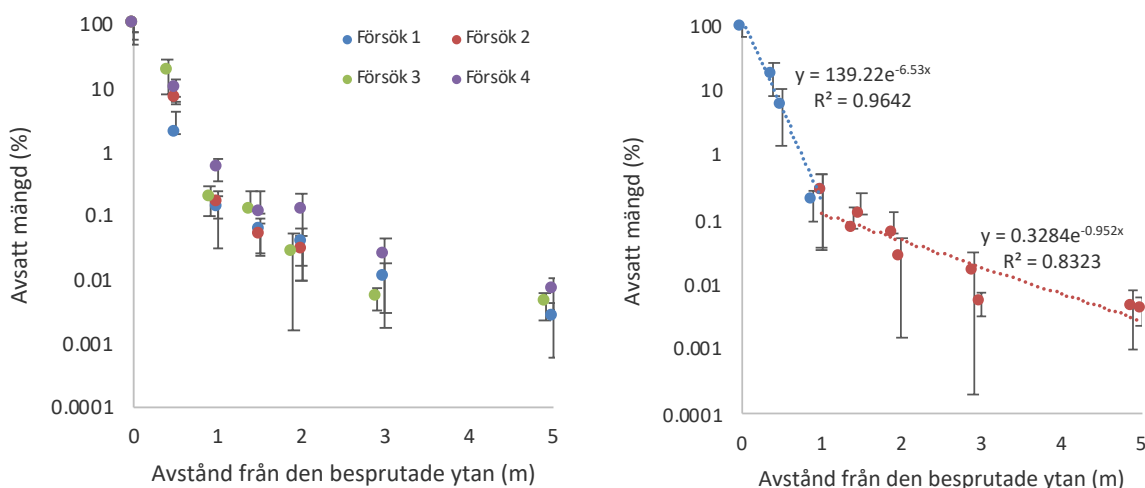
	Uppmätt vindstyrka – anemometer (m/s)	Uppmätt vindstyrka – ogrästtåget (m/s)	Tågets hastighet (km/h)	Uppmätt genomsnittlig dos (g/ha)
Försök 1	Vindstill	0,9	48	1756
Försök 2	0,5	1,3	46	1977
Försök 3	1	2	41	1573
Försök 4	Vindstill	1,8	33	1795

Doserna som uppmättes uppe i själva spåret varierade ganska mycket mellan olika filtrerpapper – vilket inte är helt oväntat med tanke på den begränsade upptagsytan på varje papper och den huvudsakligen grova droppstorleken. Den genomsnittliga uppmätta dosen ligger dock ganska nära den föreskrivna (1800 g glyfosat/ha; Tabell 3). I flera av försöken såg det dock ut som att mer glyfosat spreds ut på den ena sidan av banvallen än den andra. I försök 1 där avdriften mättes på båda sidor om banvallen var den uppmätta dosen på vänster sida (1200 g/ha) betydligt lägre än på höger sida (2500 g/ha) (Figur 78). I försök 2 såg dosen ut att vara lägre och i försök 3 och 4 högre på den sidan av banvallen där avdriften mättes.



Figur 78. Uppmätta ha-doser utifrån vad som fångats upp på filtrerpappren i själva spåret.

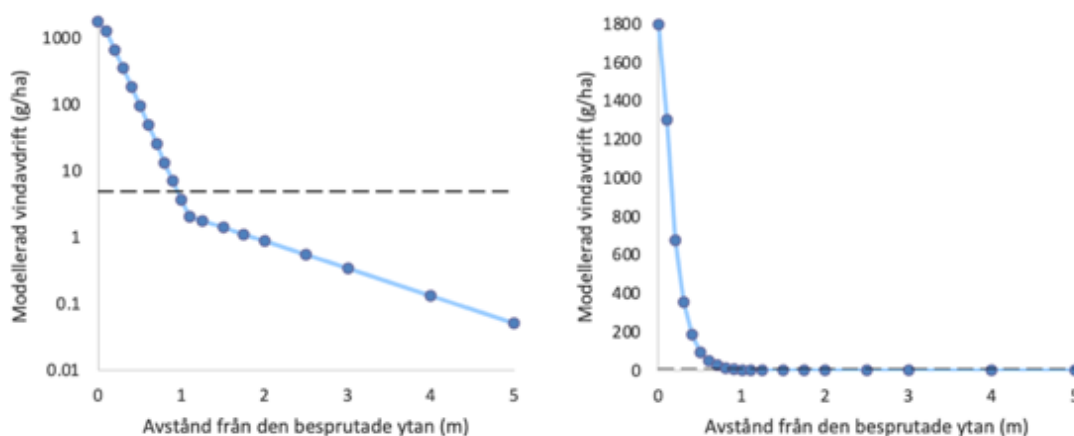
För att normalisera för eventuella skillnader i dos och skillnader i besprutningsmönster uttrycktes avdriftresultaten därför för samtliga försök som % av den dos som uppmättes i kanten av det besprutade området (på 2,5 m från spårmittpunkt) (Figur 78).



Figur 79. Genomsnittlig vindavdrift från samtliga försök \pm standardavvikelse uttryckt som % av den avsatta mängden som uppmättes i kanten av det besprutade området i respektive försök och plottade med log-skala. Till vänster visas resultaten för de individuella försöken och till höger har samtliga resultat räknats samman och delats upp i två zoner 0–1 m och 1–5 m.

Resultaten visar att huvuddelen av preparatet avsätts inom den första metern (Figur 79). På en meters avstånd från det besprutade området har den deponerade mängden minskat till i genomsnitt $0,3 \pm 0,2$ % av den använda dosen, motsvarande 5 ± 4 g/ha med den föreskrivna dosen på 1800 g glyfosat/ha. Därefter fortsätter den deponerade mängden att avta men med en lägre minskningshastighet. Avdriftskurvorna kan beskrivas väl med exponentiella funktioner för dessa båda faser (Figur 79). En tolkning är att huvuddelen av sprutvätskan (> 99%) består av relativt stora droppar som sedimenterar hastigt inom den första metern, men att en liten fraktion består av finare droppar som inte sedimenterar lika hastigt och därmed kan röra sig längre bort från banvallen.

Modellerna kan användas för att beräkna avdriften för godtyckliga avstånd från järnvägen vilket kan användas som ett verktyg för riskkaraktärisering och riskbedömning av avdriften. För riskkaraktäriseringen är det dock förmodligen rimligt att utgå från den 90:e percentilen för avdriftsvärdena snarare än från genomsnittsvärdena som visas här (Figur 80).



Figur 80. Visar ett exempel på skattade typiska avdriftsvärden i g glyfosat/ha baserat på en anpassning av de genomsnittliga uppmätta avdriftsvärdena. Den streckade linjen visar 5 g/ha vilket är det värde som i en metaanalys av påverkan på vegetation från vindavdrift av glyfosat bedömdes ge 95% skyddsvärde för växter (Cederlund 2017).

Den tidigare genomförda riskkaraktäriseringen (Cederlund 2015b) baserades på avdriftsdata uppmätta från Bayers ogräsbekämpningståg (Wygoda et al. 2006). Värdena som har uppmätts inom detta FOI-projekt visar inte på högre avdrift men kompletterar de tidigare mätningarna med information om avdriften på avstånd mindre än 3 m från besprutningsgränsen (dvs. från den zon där effekter på omgivningen är mest sannolik). Resultaten indikerar tentativt att det är rimligt att förvänta sig påverkan på vegetationen upp till 1 m från gränsen till det besprutade området. Detta stämmer väl med observationerna från projektdel 3 där effekter på täckningsgraden kunde observeras i zonen 0,4 – 1,45 m utanför det besprutade området (Figur 68 och 70).

6 Slutsatser och rekommendationer

Tidigare undersökningar har identifierat ett antal icke-kemiska metoder för vegetationsbekämpning i spårmiljö. Dessa metoder är generellt långsammare och dyrare än den normala kemiska bekämpningen. Det finns även en generell uppfattning att flera av de icke-kemiska metoderna har påverkan på räls, slipers, signalsystem eller arbetsmiljö och att de därför inte kan användas mer än i undantagsfall.

I de fall som kemisk bekämpning inte får eller kan utföras är givetvis icke-kemisk bekämpning det enda alternativet. Det finns ingen möjlighet att välja ut en särskild metod som under alla omständigheter är den mest optimala. De termiska metoderna kräver alla en stor insats av bränsle för att producera hetvatten eller ånga. De mekaniska metoderna är förhållandevis långsamma, men kan monteras på antingen rälsgående arbetsfordon eller vanliga arbetsfordon för bekämpning utanför spårområdet. Vissa mekaniska metoder ger effekter som också är positiva för den biologiska mångfalden (skrapning och rotryckning), varför det är angeläget att just dessa metoder undersöks vidare och utvecklas.

Sammantaget innebär dock en övergång till ökad icke-kemisk vegetations-bekämpning att Trafikverket måste ha tillgång till flera olika verktyg beroende på:

- a) vilken yta som skall bekämpas (i spår, utanför spår, på uppställningsspår med få vagnrörelser eller på starkt trafikerade spår).
- b) vilken typ av effekt man vill åstadkomma med behandlingen (engångsinsats mot sly, åtgärd för att främja biologisk mångfald, regelbunden bekämpning av ogräs)
- c) utgångsläget för åtgärden (underhåll av tidigare välskött yta, återställning av kraftigt vegetationsbevuxen yta).
- d) hur ofta man vill eller avser utföra åtgärden (kostnadsstyrd, effektstyrd, platsspecifik).
- e) vem som skall ansvara för att åtgärden utförs och därmed styr över åtgärderna över tid och därmed väljer metoder att använda.

Flera av dessa frågeställningar hänger mycket tätt ihop och behöver lösas samtidigt som man utvecklar eller genomför ytterligare provningar i fält.

6.1 Icke-kemiska metoder generellt

Det finns dåligt underlag för att kunna bedöma de olika icke-kemiska metodernas effekt över tid, på olika underlag (grus-makadambanvall) och med olika utgångsläge vad gäller ogräsförekomst. Det vore därför bra om man på några platser i landet kan anlägga testytor där man genomför bekämpningsåtgärder för att över tid se effekter, arbetsinsats, påverkan på flora och tekniska installationer. Ytorna behöver inte nödvändigtvis vara stora, men skall kunna skötas med maskiner och representera typiska spårmiljöer. Utförandet sker lämpligast i samarbete mellan SLU, RISE, Trafikverket och valda entreprenörer.

Vi har under 2019–2021 genomfört utveckling och provning av några metoder i spår. Syftet har varit att erhålla kunskap om redskapens tillämpbarhet i spår samt studera långtidseffekter (veckor-månader) av de utförda åtgärderna. Förslagsvis väljs 1–3 platser ut i landet där man kan studera frågor såsom effekterna av rotryckning (andra metoder också) på banvallar med

grus respektive makadam; arbetskostnader och påverkan på ogräsfloran; återetablering av vegetation, effekter av antalet behandlingar, arbetsinsats, maskinsystem mm. Platserna kan också användas för intern utbildning av personal vid Trafikverket.

6.2 Teknik för skrapning och rotryckning

Vi har utvecklat två prototyper för rotryckning och skrapning/krattning. Båda dessa verktyg förefaller vara användbara, men prototyperna behöver förbättras vad gäller design och materialval. Denna utveckling sker lämpligast i nära samarbete med några entreprenörer som erbjuder tjänsten samt med upphandlade enhet vid Trafikverket.

I projektet TRIEKOL har man undersökt effekten av rotryckning på den biologiska mångfalden (Henrik Weibull, presentation TRIEKOL seminarium 2019-01-15). Såväl Henrik Weibull vid Naturcentrum AB som Jörgen Wissman vid Centrum för Biologisk Mångfald vid SLU poängterade att rotryckning ger bäst resultat av de tre metoderna röjning, skrapning och rotryckning. Man kunde inte bedöma kostnaderna för rotryckning eftersom entreprenörerna inte registrerar så detaljerat hur mycket tid eller exakt vilka maskiner som används.

6.3 Teknik för ballastplogning

Ballastplogning kan genomföras med olika metoder. Den enklaste metoden är med olika fasta redskap (Figur 81) som kopplas till olika typer av spårburna arbetsfordon. Äldre typer av ballastplogning med Q20 vagnar kan också modifieras för dagens behov, men främst bör naturligtvis modern teknik i form av ballastplogar från Plasser & Theurer, Matisa eller Kershaw användas med viss modifiering vad gäller utformning av borstar och vingbredd. Därmed bör ballastplogning med befintliga maskiner utgöra den grundläggande delen i att avlägsna vegetation från spåret på grusbanor.

En intressant utveckling vore att kombinera radiostyrda redskapsbärare som t ex Roberines Tool Carrier CR10 (www.roberine.com) med hjul för rälskörning, och en kraftig borste alternativt med räslivborstar, för att därmed kunna genomföra enklare vegetationsröjning på spår utan insats av spårgående ballastplogar.



Figur 81. Exempel på ballastplog från RF-System

6.4 Teknik för hetvatten och/eller ånga

Vår utvärdering av hetvatten bekräftar att det krävs ett antal upprepningar under en säsong för att tekniken ska ge tillräckligt god effekt. Den oväntat låga vattentemperaturen vid behandlingen av våra försökssträckor har dock sannolikt försvagat effekten och det faktum att utvärderingen bara kunde genomföras på en mindre försökssträcka gör resultaten svårtolkade.

Generellt gäller att begränsad arbetshastighet och hög vattenförbrukning gör att metoden i dagsläget främst är intressant för driftplatser. För att tekniken skall vara tillgänglig för större ytor krävs att ett spårburet aggregat utvecklas som kan behandla längre sträckor utan behov av vattenpåfyllnad eller större manuell betjäning. Ett sådant hetvattenbekämpande ogräståg har utvecklats av SBB men det finns i dagsläget inte så mycket uppgifter på hur effektiv den utrustningen är. Vid vidare utveckling av hetvatten som metod bör man jämföra effekten mot andra metoder i provytor. En fråga är t ex hur stora ogräs som kan bekämpas och om metoden kan kombineras med andra metoder för en sammantaget större effekt. Det vore också bra att få fram en bättre uppfattning om vilken energidos (i princip temperatur x vattenmängd per ytenhet) som är optimal att använda ur effektivitets- såväl som miljösynpunkt.

Ångning förefaller vara användbart som en del i ett system för vegetationsbekämpning, men det finns idag ingen färdig lösning på marknaden, varför teknikutveckling krävs. En ofta förekommande invändning mot termiska metoder är deras behov av bränsle (diesel) för värmning av vatten till hetvatten eller ånga. Denna invändning kan mötas genom att använda elektricitet eller fossilfria bränslen (HVO, vätgas, biogas) som energiförsörjning. Tekniken för att värma vatten till ånga är för övrigt välkänd.

6.5 Tillståndsanalys, uppföljning och effektsamband med hjälp av insamlade ogräsdata

Datamaterialet över ogräsen täckningsgrader som samlas in av ogräståget utgör värdefull information om anläggningens status. I stort bekräftar ogräsmätningarna det som vi redan visste – att det finns mer vegetation på banvallens kanter än mitt i spåret, mer ogräs på banor med grusballast etc. Nu går det dock att få konkreta sifferuppgifter på hur mycket ogräs som finns för varje bandel, segment och i princip meter. Med ogräsmätningarna inlagda i *Optram* går det enkelt att översiktligt studera hur status ser ut på enskilda bandelar och undersöka särskilt intressanta avsnitt närmare i den upplösning som önskas. Genom att köra skript i *Optram* kan data sedan exporteras i önskad upplösningnivå för att göra enklare, eller grundligare analyser. T.ex. kan uppgifterna användas för att på ett objektivt sätt prioritera mellan vilka bandelar som bör bekämpas.

Inom projektet har vi valt att undersöka gränsszonerna kring restriktionsytor närmare för att kunna visa hur väl den kemiska ogräsbekämpningen fungerar långsiktigt. Detta har visat sig fungera relativt väl. Vi har till och med kunnat påvisa att det finns en signifikant påverkan av vindavdrift på vegetationen närmast det besprutade området. Under 2022 kommer vi att arbeta vidare med att beskriva status och att undersöka effektsamband – dvs. vilka faktorer (förutom bekämpning) som styr förekomsten av ogräs, samt vilka problem (om några) som ogräs förorsakar.

6.6 Vindavdrift

Vi har genomfört 4 fältförsök där vi har uppmätt vindavdriften på mellan 0,5–5 m avstånd från det besprutade områdets gräns. Resultaten visar att på 1 m avstånd från det besprutade områdets gräns så har den deponerade mängden minskat till i genomsnitt $0,3 \pm 0,2$ % av den använda dosen, vilket motsvarar som mest 5 ± 4 g glyfosat/ha med den föreskrivna dosen på 1800 g glyfosat/ha. Resultaten är i linje med tidigare genomförda mätningar av vindavdrift från ogräståg i Tyskland och Ungern men lite mer högupplösta på avstånd som ligger nära spåret vilket ger ett bättre underlag för riskbedömning.

7 Litteratur

Cederlund, H. 2015a. Ogräsbekämpning med hetvattenskum – Resultat från en fältstudie på en av järnvägens driftplatser. Rapport från Institutionen för mikrobiologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Cederlund, H. 2015b. "Riskkaraktärisering Av Oavsiktlig Spridning Av Glyfosat Vid Ogräsbekämpning På Järnväg." Rapport från Institutionen för mikrobiologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

http://pub.epsilon.slu.se/12391/1/cederlund_h_150622.pdf.

Cederlund, H. 2016. Studier av ogräsbekämpning på banvallar 2006–2015 – Resultat och slutsatser från 10 års tillämpad forskning. Rapport från Institutionen för mikrobiologi, SLU, Uppsala.

Cederlund, H. 2017. "Effects of Spray Drift of Glyphosate on Nontarget Terrestrial Plants-A Critical Review." *Environmental Toxicology and Chemistry* 36: 2879–86.

<https://doi.org/10.1002/etc.3925>.

Cederlund, H, Fogelberg F, Hansson D, Nyberg R & Schroeder, H. 2014. Utveckling av metoder för att bedöma behovet av ogräsbekämpning i spår. Rapport 2014:7. Institutionen för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.

https://pub.epsilon.slu.se/11065/7/cederlund_h_etal_140319.pdf

Magnusson, Clara. 2020. "Ogräsbekämpning På Järnväg - En Jämförande Studie Av Alternativ till Glyfosat." Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet.

http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Clara_Magnusson.pdf.

Fogelberg, F. 2011. Teknik för bedömning av vegetationsbekämpningsbehovet på banvallar – en förstudie. Uppdragsrapport JTI

Hansson, D; Mattsson, B. & Schroeder, H. 1995. Vegetationsbekämpning på banvallar – en förstudie om förebyggande åtgärder samt icke-kemiska metoder. Institutionen för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet. Rapport 191.

Huisman, M. 2001. Reglering av vedartad vegetation utmed järnvägar och vägar – en litteraturstudie över kunskapsläget. Institutionen för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet. Rapport 247.

Wygoda, H-J, D Rautmann, H Ganzelmeier, P Zwerger, and S Gebauer. 2006. "Ergebnisse Aus Abdriftmessungen Mit Einem Spritzzug." *Nachrichtenblatt Des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 58: 323–26.

