



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för mikrobiologi



Studier av ogräsbekämpning på banvallar 2006-2015 – resultat och slutsatser från 10 års tillämpad forskning

Harald Cederlund, Institutionen för mikrobiologi

ISBN 978-91-576-9432-4

Referera gärna till rapporten på följande sätt:

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

Omslagsfoto: Styvmorsviol som växer utmed en räl på bangården i Värnamo, 2015.

Tryckår: 2016

Kontakt

harald.cederlund@slu.se

www.slu.se/

Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning	6
Summary	7
1 Bakgrund.....	8
1.1 Varför ogräsbekämpar man på banvallar?.....	8
1.2 Var ogräsbekämpar man?.....	9
1.2.1 Sträckor som inte ogräsbekämpas	10
1.3 Hur bedrivs ogräsbekämpningen?.....	10
1.4 Vilka bekämpningsmedel använder man?.....	11
1.4.1 En historisk översikt.....	11
1.5 Vilken dos använder man och hur har den bestämts?	15
1.6 Hur bryts glyphosat ned i banvallen?.....	17
1.7 Hur fungerar glyphosat?	18
1.7.1 Biokemisk verkan	18
1.7.2 Upptag i växten	18
1.7.3 Resistens hos vissa växter	19
1.8 Hur stor är spridningen i miljön och vilka är riskerna?.....	20
1.8.1 Miljökontrollprogram.....	20
1.8.2 Riskerna med utlakning.....	20
1.8.3 Vindavdrift	21
1.9 Integrerat växtskydd.....	21
1.9.1 Hur kan principerna om integrerat växtskydd tillämpas vid ogräsbekämpning på järnväg?.....	22
2 Forskningen kring ogräsbekämpning på järnväg 2006-2015.....	25
2.1 Målsättningar med forskningen.....	25
2.2 Fältförsökens utformning och utveckling.....	27
2.2.1 Utläggning av fältförsök	27
2.2.2 Utvärdering av ogräseffekter.....	29
2.2.3 Undersökningar av nedbrytning och utlakning	30
2.3 Resultat från fältförsök och labstudier	31
2.3.1 MCPA	31
2.3.2 Fluroxipyr.....	32
2.3.3 Glufosinat.....	33
2.3.4 Diflufenikan	35
2.3.5 Karfentrazonetyl.....	36
2.3.6 Flazasulfuron.....	37
2.3.7 Ättiksyra.....	38
2.3.8 Bekämpning med hetvattenskum	41
3 Slutsatser och rekommendationer för framtiden	43

Referenser	45
Bilaga 1 Översikt över utförda fältförsök	49

Förord

Syftet med denna rapport är att sammanfatta och beskriva de studier rörande ogräsbekämpning som genomförts hos Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) som först Banverket och sedan Trafikverket har finansierat under de senaste 10 åren. Dessa studier har avrapporterats på årsbasis till Banverket (BV)/Trafikverket (TRV), men rapporterna från enskilda fältförsök finns inte lätt tillgängliga för allmänheten och är hursomhelst svåra att överblicka. Forskning som har bedrivits inom ramen för samarbetet mellan SLU och Banverket innan år 2006 har tidigare förtjänstfullt sammanfattats i en rapport av Prof. Lennart Torstensson (Torstensson, 2007).

Ett ytterligare fokus för rapporten är att på ett överskådligt vis sammanställa information kring hur kemisk ogräsbekämpning på Svenska järnvägar utförs idag, och den kunskap som finns rörande preparatens effektivitet och miljöpåverkan. Tanken är att dokumentet ska kunna användas både internt på Trafikverket för att fortbilda personal som på något sätt kommer i kontakt med frågan ogräsbekämpning, och externt i kommunikationen med t.ex. kommuner som handlägger anmälningsärenden, eller en intresserad och stundvis frågvis allmänhet.

Den som sitter bakom tangentbordet är forskaren Harald Cederlund som tillhör Institutionen för mikrobiologi, på BioCentrum vid SLU i Uppsala. Jag disputerade 2006 på en avhandling rörande banvallarnas mikrobiologi och har sedan dess varit ansvarig för den forskning som har bedrivits och beskrivs i rapporten. Medverkat i forskningsstudierna har under hela tidsperioden forskningsingenjör Elisabet Börjesson som har arbetat med avläsningar, provtagning, utveckla metoder och utföra analyser av de substanser som har studerats. Vid fältförsöken har också Carl Westberg varit till ovärderlig hjälp som tekniskt ansvarig för sprututrustningen.

Sammanfattning

Den här rapporten beskriver och sammanfattar resultaten från den forskning som på uppdrag av Banverket och Trafikverket har bedrivits mellan 2006-2015 med syfte att utvärdera metoder för ogräsbekämpning på svenska järnvägar. Som en bakgrund ges såväl en historisk överblick som en översikt över hur ogräsbekämpning utförs på svenska järnvägar idag. I bakgrundsavsnittet sammanfattas också kortfattat den kunskap som finns rörande hur glyfosat, som är den enda aktiva beståndsdel som är godkänd för användning på järnväg i Sverige idag, verkar, bryts ned och sprids i järnvägs miljön. Forskningen har omfattat såväl fältstudier som olika typer av labstudier och har inbegripit utvärdering av både kemiska bekämpningsmedel och alternativa metoder som bekämpning med ättika och hetvatten. Forskningen har varit inriktad på att identifiera bekämpningsmedel som skulle kunna ersätta eller användas som blandningspartner till glyfosat för att bredda effekten eller för att förebygga resistensutveckling hos ogräsen. Det har dock visat sig svårt att identifiera metoder som är tillräckligt effektiva och samtidigt inte är alltför utlakningskänsliga. Substanser som karfentrazonetyl och flazasulfuron skulle kunna utgöra framtida blandningspartners till glyfosat men deras nedbrytning i banvallen är än så länge otillräckligt studerad. Bekämpning med hetvattenskemikalier skulle kunna utgöra en alternativ metod för vissa mindre områden där kemisk bekämpning är otillåten men är knappast användbar i större skala. I rapporten rekommenderas Trafikverket att på ett mer systematiskt sätt mäta ogräsförekomst och utvärdera bekämpningens effektivitet, att undersöka om anläggning av *gröna spår*, dvs. spår med lågväxande vegetation, skulle kunna ersätta ogräsbekämpning på vissa stadsnära sträckor samt att arbeta fram en långsiktig strategi för hur man vill utveckla sättet som ogräsbekämpning bedrivs på.

Summary

This report describes and summarizes the results from research that evaluated methods for weed control on railways, conducted during 2006-2015, and funded by the Swedish Rail Administration (Banverket) and later by the Swedish Transport Administration (Trafikverket). As a background, an historical overview, as well as an overview of how weed control on Swedish railways is conducted today, is provided. Available information on how glyphosate, the only active substance in use today, functions, and on its environmental fate, is also briefly summarized. The research has comprised both field and lab studies and both chemical pesticides and alternative methods, such as acetic acid and hot water, have been evaluated. The focus has been on identifying herbicides with the potential to replace or complement glyphosate in order to broaden its effect, or as a tool for resistance management. However, it has become apparent that it is difficult to find herbicides which are both effective and do not pose an unacceptable risk for contamination of groundwater. Active substances such as carfentrazone-ethyl and flazasulfuron could potentially function as future mixing partners for glyphosate but their environmental fate in the railway embankment is thus far insufficiently studied. Weed control by hot foam could be an alternative for smaller areas where pesticide use is prohibited but large scale usage is hardly possible. The Transport Administration is recommended to work more systematically with how they evaluate weed presence and the effectiveness of the weed control measures used; to investigate if vegetation covered *green tracks* could replace weeded tracks in certain urban areas and to establish a long-term research strategy for weed control.

1 Bakgrund

1.1 Varför ogräsbekämpar man på banvallar?

Ogräsbekämpning är en integral del av järnvägsunderhållet. Vegetationen utmed ett trafikerat spår som inte ogräsbekämpas blir så småningom i princip tågformad och spår som inte trafikeras regelbundet blir förvånansvärt snabbt oframkomliga. Det finns t.o.m. exempel på att ogräsbekämpning inte har kunnat genomföras på vissa spår eftersom det tåg som sköter ogräsbekämpningen inte längre kunnat ta sig fram på grund av för högväxta ogräs. I grund och botten handlar ogräsbekämpningen om att förebygga att en sådan återgång till det naturliga går för långt.



Figur 1. Ett avsnitt av järnvägssträckan Bollnäs-Orsa på väg att återgå till skog, fotograferad år 2010. Trafikverket fattade först år 2015 formellt beslut om att sluta underhålla sträckan, ett första steg mot nedläggning. Sträckan har dock inte trafikerats sedan 2004 och uppenbarligen inte underhållits särskilt väl.

Tillväxt av ogräs i spåret för med sig flera olika konsekvenser och vilka av dessa man väljer att framhålla som viktigast för att motivera varför man ska ogräsbekämpa har delvis skiftat över tid. Idag framhåller man främst konsekvenserna för trafiksäkerhet och arbetsmiljö. På Trafikverkets hemsida kan man läsa:

Ogräs och annan växtlighet på driftplatser och banvallar är dels ett trafiksäkerhetsproblem, dels ett arbetsmiljöproblem för växlings- och underhållspersonal. Växtligheten kan skymma signaler och öka risken för att personalen halkar eller snubblar. Växtlighet gör det också svårare att underhålls- och säkerhetsbesikta spåranläggningen och försvårar vissa typer av underhållsarbeten.

Arbetsmiljöfrågan är viktig och kan skapa konkreta problem, det händer att skyddsombud ställer in arbetet på bangårdar på grund av för mycket ogräs till dess att en kemisk eller mekanisk rensning kunnat genomföras.

En annan anledning som förs fram, och som tidigare ofta framhölls 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 bärkraft 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.

1.2 Var ogräsbekämpar man?

Vilka sträckor och driftplatser (dvs. stationer, bangårdar etc.) som bekämpas bestäms av Trafikverkets underhållsingenjörer som har ansvar för att sammanställa behovslistor för sina respektive regioner. Underhållsingenjörerna använder bl.a. önskemål från de entreprenörer som sköter det övriga underhållet av sträckorna och filmupptagningar av spåret inspelade med mätvagn som underlag för sina beslut. Behovslistorna skickas sedan till den entreprenör som utför bekämpningen som tillsammans med Trafikverket planerar ett körschema för årets bekämpning. Under Banverkstiden fanns ett styrdokument (BVH 827.2: *Behovsanalys inför vegetationsreglering*) som gav ett visst stöd för bedömningen av om en sträcka behövde ogräsbekämpas eller inte. Idag finns dock inga fastslagna riktlinjer för hur behovet ska bedömas och inga tröskelvärden för hur mycket ogräs som kan tolereras på en sträcka innan den ska bekämpas kemiskt. Detta medför att behovet kan bedömas olika i olika regioner. Med den sprutteknik som används idag där preparatet automatiskt enbart sprids där det växer ogräs i spåret (se avsnitt 1.3) är dock denna bedömning mindre kritisk än på den tiden då ogräsmedlet spreds över hela eller

hela sektioner av banvallen – preparat kommer inte att spridas ut i onödan även om ogräsbekämpning sker på en bana med mycket lite ogräspåväxt.

1.2.1 Sträckor som inte ogräsbekämpas

Vissa sträckor eller delar av sträckor får inte ogräsbekämpas kemiskt, t.ex. på grund av närhet till vattendrag, att sträckan löper över ett vattenskyddsområde eller annat känsligt område. Dessa ytor kallas för *restriktionsytor* i Trafikverkets egen terminologi och ingår i det körschema som entreprenören använder sig av för att säkerhetsställa att ingen spridning sker på känsliga områden. Var restriktionsytor inrättas har tidigare styrts delvis av lagkrav men också av kommunala önskemål om var sprutning inte ska ske vilket har resulterat i stora lokala skillnader. Den totala sträckan som räknas som restriktionsyta har under de senaste åren uppgått till omkring 1800 km järnväg. Under 2014 och 2015 har dock Trafikverket arbetat med att upprätta en instruktion för hantering av restriktionsytor med syfte att standardisera hanteringen så att samma skyddsnivå uppnås över hela landet (Trafikverket, 2016).

Tabell 1. De områden som inte besprutas idag och vilka skyddsområden som hålls till dem, från Trafikverkets instruktion för hantering av restriktionsytor (Trafikverket, 2016).

Typ av känsligt område	Skyddsavstånd från besprutningsgränsen
Vattentäkter med och utan skyddsområden	12 meter
Öppna vattenytor, vattendrag, sjöar, dammar och hav Sumpskogar och områden enligt Ramsarkonventionen Biotopskyddsområden (mark- och vattenområden) Naturreservat, Nationalpark och Natura 2000-områden Naturminnen Nyckelbiotoper	6 meter
Öppna diken, dagvatten- och dräneringsbrunnar Trafikverkets artrika järnvägsmiljöer Ekologiska odlingar	2 meter

1.3 Hur bedrivs ogräsbekämpningen?

Idag sker ogräsbekämpningen huvudsakligen med kemiska bekämpningsmedel. Besprutning sker med speciella ogräståg ute på linjen och med fyrhjuling eller ryggspruta på driftplatser. På Banverkets tid drevs ogräsbekämpningen till att börja med i egen regi men idag upphandlas ogräsbekämpningen av Trafikverket så vilka entreprenörer som arbetar med bekämpningen kan skifta. Sedan 2012 är det olika entreprenörer som sköter ogräsbekämpningen på linjen respektive på driftplatser.

Den tekniska utrustningen har utvecklats under 10-årsperioden. Det spruttåg som sköter bekämpningen idag är försett med IR-sensorer som avläser var det växer ogräs på banan och styr aktiveringen av individuella sprutmunstycken. Detta gör att sprutvätskan endast fördelas där det växer ogräs i spåret vilket bidrar till att minska

den totala förbrukningen av bekämpningsmedel. Även hur man arbetar med att undvika besprutning på restriktionsytor har utvecklats betydligt. Med hjälp av GPS-teknik och det faktum att restriktionsytorna nu finns inlagda i GIS kan operatören idag direkt visualisera var man befinner sig i förhållande till restriktionsytorna på en karta. Tidigare utgick man ifrån listor där restriktionsytorna lägen var angivna i spårkilometer som jämfördes med en kilometerräknare på tåget. Detta system krävde full uppmärksamhet hos operatören på tåget, speciellt när tåget färdades i motsatt riktning mot spårets kilometerräkning.

I vissa fall, t.ex. där kemisk ogräsbekämpning inte är tillåten eller inte hjälper av olika skäl, sker även mekanisk röjning för att möjliggöra fortsatt drift. Mekaniska metoder är dock både långsamma och många gånger dyrare än den kemiska bekämpningen vilket gör att det kan vara svårare att hitta spårtider och att de i normalfallet endast kan vara alternativ för mindre områden. Vid trädsäkring och rensning av sly och buskvegetation vid sidan av spåret används dock enbart mekaniska metoder idag. Alternativa metoder som bekämpning med ättiksyra eller hetvatten har testats men har av olika anledningar, bl.a. farhågor om risk för påverkan på spåraneläggningen och brist på lämpligt utformad utrustning, ännu inte kommit till användning på järnvägen (se även avsnitt 2.3.7 och 2.3.8 där testerna av dessa metoder beskrivs).

1.4 Vilka bekämpningsmedel använder man?

Sedan 70-talet står det klart att de bekämpningsmedel som används inte bara måste vara tillräckligt effektiva utan också vara acceptabla ur miljö- och arbetsmiljösynvinkel. Det finns idag också en betydligt mer omfattande lagstiftning som reglerar användningen av bekämpningsmedel och som Trafikverket måste följa. För att se till så att kraven efterlevs utvärderas därför bekämpningsmedlens effektivitet, nedbrytning och utlakningskänslighet i fältförsök och miljökontrollprogram som bedrivs i samarbete med forskare på Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Så har det dock inte alltid varit.

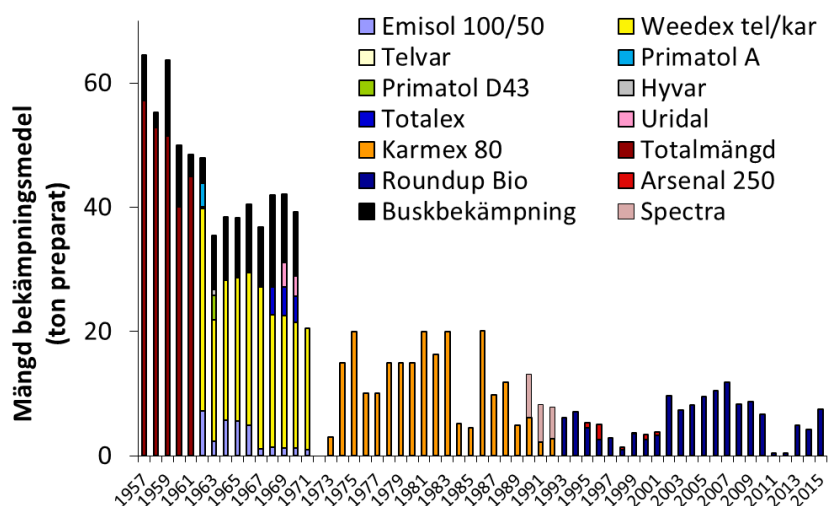
1.4.1 En historisk översikt

Fram till 1925 skedde ogräsbekämpningen uteslutande manuellt eller mekaniskt på banorna. Banvakter som bodde med några kilometers mellanrum utmed banorna hade ansvar för att hålla sina banavsnitt i gott skick och bland deras arbetsuppgifter ingick ogrärensning (Lindmark, 1991). Från 1925 fram till 1957 användes preparatet *Klorex 55* med den aktiva beståndsdeln natriumklorat. Det finns en uppgift om att SJ köpte in 68 ton *Klorex 55* år 1928 men utöver det finns inte någon statistik tillgänglig över förbrukningen (Skoog, 1999). Natriumkloratet var kontaktverkande och hade därmed dålig långtidsverkan mot ogräsen och var dessutom farligt att hantera då det var både brandfarligt och explosivt. I mitten av 50-talet inleddes därför arbetet med att hitta effektivare och mindre farliga ersättare bland de då nya organiska bekämpningsmedlen (Beinhauer, 1962).

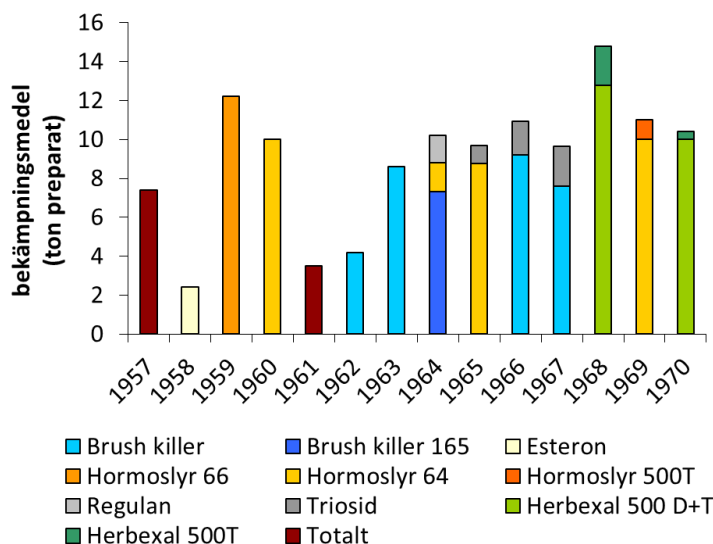
Från 1957 och under 1960-talet användes en uppsjö olika preparat för ogräsbekämpning av såväl ogräs i spåret som buskvegetation vid sidan av banan. De aktiva beståndsdelar som huvudsakligen användes under den här tidsperioden var amitrol för ogräsbekämpning i spåret och preparat innehållande blandningar av fenoxysyrorna 2,4-D och 2,4,5-T mot buskvegetationen vid sidan om spåret. Det mest kända av dessa är tveklöst *Hormoslyr*, men som framgår av den översikt över förbrukningen som presenteras i Figur 2 och Figur 3 och den fullständiga lista över preparat och aktiva beståndsdelar som presenteras i Tabell 2 så var det andra preparat som stod för huvuddelen av SJ:s användning.

Utifrån Figur 2 är det tydligt att den övergripande tendensen att användningen av bekämpningsmedel på svenska järnvägar har minskat över tid. Denna utveckling har flera orsaker, förutom en ökad medvetenhet om hälso- och miljöeffekter och större hänsynstagande till miljön så ger modernare ogräsmedel ofta lika bra effekt i lägre doser. Det faktum att vissa sträckor har rustats upp medan andra, mindre trafikerade grusbänor, har lagts ned har också medfört att arealen som behöver bekämpas har minskat över tid. Under de senaste åren har förbrukningen främst fluktuerat som en följd av varierande anslagsnivåer för järnvägsunderhåll och byten av entreprenörer.

År 1971 skedde ett fullständigt stopp för ogräsbekämpningen på grund av farhågor om att preparaten som användes kunde förorsaka cancer hos dem som arbetade med bekämpningen. De bekämpningsmedel som främst var misstänkta var amitrol och fenoxisyrorna 2,4,5-T (Axelson et al., 1980, 1974). Från och med 1972 och fram till 90-talet användes därför bara *Karmex 80*, med den verksamma beståndsdelen diuron, som ansågs vara säker ur hälsosynpunkt och all kemisk bekämpning av sly och buskar vid sidan av spåret upphörde. En utförligare beskrivning av detta skeende hittar den intresserade i kappan till min avhandling (Cederlund, 2006)



Figur 2. Total användning av bekämpningsmedel på och kring svenska banvallar 1957-2015, angivet i ton preparat för att möjliggöra jämförelse över hela tidsperioden. Preparatet Totex strö, med de aktiva beståndsdelarna atrazin och diklobenil användes av SJ fram till 1976 för ogräsbekämpning på driftplatser och stationsområden men är inte med i figuren då det inte finns någon statistik tillgänglig över förbrukningen. Ingen förbrukningsstatistik finns heller för glyfosat-preparat mellan 1986-1989. De första åren (1957-1961) finns bara uppgifter på den totala förbrukningen men inga uppgifter på fördelningen mellan de preparat som användes. Det svarta i toppen av staplarna (1957-1970) är Hormoslyr eller Hormoslyr-liknande preparat för buskbekämpning; dessa är närmare definierade i Figur 3. Åren 1990-92 användes preparatet Spectra med 240 g glyfosat/l. I figuren är förbrukningen av Spectra framräknad utifrån uppgifter på förbrukningen av glyfosat och med ett antagande om att preparatets densitet är densamma som för Roundup Bio.



Figur 3. Preparat använda av SJ för buskbekämpning under åren 1957-1970, angivet i ton preparat (det svarta i toppen av staplarna i Figur 2). Samtliga preparat innehöll antingen den aktiva beståndsdel 2,4,5-T eller en blandning av 2,4,5-T och 2,4-D. 1957 användes pre-

paraten *Brush killer* och *Esteron* i oklara proportioner, och 1961 användes *Brush killer* och *Hormoslyr 64*. Efter 1970 har ingen buskbekämpning skett med kemiska metoder.

Diuron är ett långtidsverkande bekämpningsmedel som är tänkt att ligga kvar i banvallen under längre tid och förebygga uppkomsten av nya ogräs. Under slutet av 70-talet och början av 80-talet uppträdde plötsligt massdöd hos tallar utmed spåren. Undersökningar av detta fenomen initierades av Naturvårdsverket och de visade att tallarnas rötter sökte sig in i banvallen från relativt långt avstånd och att tallarna därmed under vissa år fick i sig dödliga doser diuron. Undersökningarna demonstrerade också att diuron var mycket persistent och dessutom utlakningskänsligt i banvallen (Torstensson, 1985, 1983). Dessa studier belyste det faktum att det är viktigt att förstå vad som händer långsiktigt med bekämpningsmedlen i banvallen och blev startskottet för samarbetet mellan dåvarande SJ och SLU när det gällde att undersöka de bekämpningsmedel som används och de som skulle kunna komma till användning.

Sedan 20 år tillbaka används huvudsakligen glyfosatpreparat för ogräsbekämpning på svenska järnvägar. De första åren användes *Roundup* och sedan en formulering som kallades *Spectra (Monsanto)* men från 90-talets början har Trafikverket främst använt sig av en formulering som heter *Roundup Bio (Monsanto)*. I princip gäller dock att det är den verksamma beståndsdelen glyfosat som är godkänd av EU och Kemikalieinspektionen (KemI) för användning på järnväg så preparatet kan komma att bytas ut. Glyfosatpreparaten har visat sig vara både relativt effektiva och ha gynnsamma miljöegenskaper.

Tabell 2. Förteckning över herbicider som har använts för ogräs- eller buskbe-
kämpning under tidsperioden 1957-2015 i alfabetisk ordning.

Preparatnamn	Aktiv(a) substans(er)	Användningsår ¹
Arsenal 250	imazapyr	1994-2002
Brush killer/Brush killer 165	2,4-D + 2,4,5-T	1957; 1961-64; 1967-68
Emisol 100/Emisol 50	amitrol	1958-71
Esteron	2,4,5-T	1958; 1967
Herbexal 500D+T	2,4-D + 2,4,5-T	1968
Herbexal 500T	2,4,5-T	1970
Hormoslyr 64	2,4-D + 2,4,5-T	1959-61; 1964-65; 1969
Hormoslyr 500T	2,4,5-T	1964; 1969
Hyvar ²	isocil	1963
Karmex 80/Karmex 80 df	diuron	1973-90/1990-92
Klorex 55	natriumklorat	1925-57
Mota Asp	2,4-D, picloram	1969
Primatol A	atrazin	1959-62
Primatol D43	atrazin + mecoprop + 2,4,5-T	1963
Regulan	2,4,5-T	1964
Roundup	glyfosat	1986-87 ³
Roundup Bio	glyfosat	1993-
Spectra	glyfosat	1988-92 ³
Telvar	monuron	1959-62
Totex	simazin + dalapon ⁴	1957-1958
Totalex Extra slampulver	atrazin + diklorprop + 2,4-D + 2,3,6-TBA	1968-70
Totex strö ⁵	atrazin + diklobenil	fram till 1976
Triosid	2,4,5-T	1965
Ureabor	dinatriumtetraborat + monuron	1958-60
Uridal	diuron + diklorprop	1969-70
Weedex tel/kar	amitrol + monuron/diuron	1961-1971

¹Uppgifter från Skoog (1999) och Torstensson (2007).

²Kan också ha varit preparatet *Hyvar X* med den aktiva beståndsdelen bromacil

³Uppgifter från Torstensson (2007), inga förbrukningsdata finns dock mellan 1986-1989

⁴Representerar en kvalificerad gissning, finns inget preparat listat med namnet *Totex* för den aktuella tidsperioden i Keml:s bekämpningsmedelregister. Beinhauer (1962) omnämner dock ett *Totex III* med de aktiva beståndsdelarna simazin och dalapon.

⁵Användes för ogräsbekämpning runt signaler, arbetsskjul etc.

1.5 Vilken dos använder man och hur har den bestämts?

Dosen som används är sedan flera år tillbaka 1800 g glyfosat/ha vilket motsvarar 5 l produkt/ha och den kan sägas vara en avvägning mellan effektivitet och miljöhän-

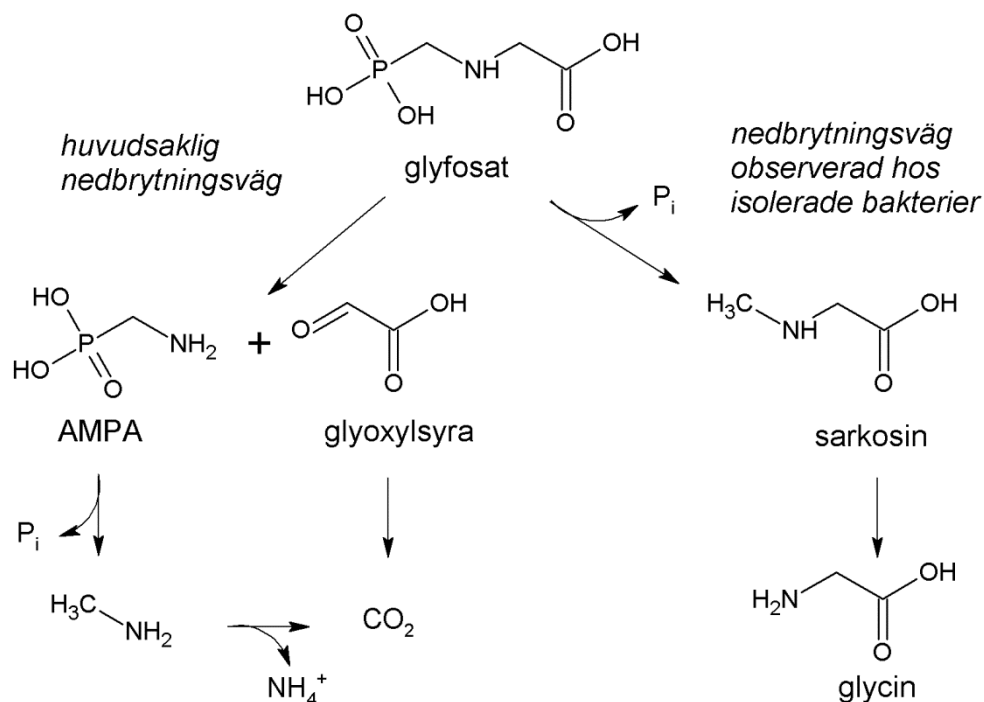
syn. Vätskemängden har vanligtvis varit 200 l/ha, dvs. koncentrationen i spruttanken är 2.5% preparat eller 9 g glyfosat/l, men detta har varierat något över åren och beroende på spridningsmetod. Effekterna mot ogräs utprovades i fältförsök utförda mellan åren 1986-1994. I testerna ingick såväl olika doser som flera olika glyfosat-formuleringar: *Avans*, *Spectra*, *Roundup* och *Roundup Bio*. En översikt över utförda försök ges av Torstensson (2007) och resultaten finns delvis redovisade i en vetenskaplig artikel som slår fast att dosen 5 l *Roundup Bio*/ha ger utmärkt resultat, medan lägre doser ger otillräcklig effekt (Torstensson et al., 2005). Då ogräseffekten är i högsta grad beroende av faktorer som ogrässammansättning och bekämpningstidpunkt är denna dosrekommendation dock knappast huggen i sten. De data som ligger till grund för slutsatsen är heller inte helt enkla att analysera närmare i efterhand. Även om resultaten från fältförsöken finns bevarade är det svårt att på ett systematiskt sätt jämföra resultat från fältförsök bedrivna under olika år och på olika platser med olika ogrässammansättning, i synnerhet som den 5-gradiga skalan som användes vid ogräsbedömningarna (se vidare i avsnitt 2.2) inte lämpar sig särskilt väl för statistisk bearbetning. I en utredning av om det gick att reducera dosen med bibehållen effekt som jag utförde på Banverkets uppdrag 2009, då jag gick igenom resultaten från samtliga fältförsök, kom jag fram till att det utifrån de data som föreligger inte går att säga säkert att en reduktion av dosen från 5 till 4 l/ha skulle ge sämre resultat men att detta förmodligen snarare beror på den stora variationen i bedömningarna än på att effekten inte blir sämre med lägre dos. En vidare reduktion till 3 l/ha ger dock en tydlig försämring.

I samma artikel (Torstensson et al., 2005) dras också slutsatsen att då utlakningsrisken är beroende av mängden som appliceras så bör dosen glyfosat inte överstiga 3 l *Roundup Bio*/ha om man helt vill undvika förorening av grundvattnet. De data som presenteras i artikeln ger dock vid handen att det är först vid dosen 6 l *Roundup Bio*/ha som man hittar glyfosat i grundvattnet direkt under banvallen i koncentrationer som överstiger gränsvärdet för dricksvatten 0,1 µg/l. Resultaten från miljökontrollprogrammet som bedrevs 2007-2010 bekräftade också senare att även om utlakning av glyfosat från banvallen i vissa fall kan påvisas så är den i normalfallet mycket liten vid användande av dosen 5 l/ha. Rekommendationen att reducera dosen till 3 l/ha genom att kombinera glyfosat med en blandningspartner så att effekten fortfarande blir tillräckligt god fick dock stor betydelse för inriktningen på de fälttester som bedrevs efter 2005 (se avsnitt 2.1.).

Även om dosen är 1800 g glyfosat/ha så är det viktigt att förstå att mängden som sprutas ut på järnvägen i praktiken är lägre än så idag. Som det beskrivs ovan (avsnitt 1.3.) sprids preparatet idag inte ut över hela banan när man sprutar utan bara där det växer ogräs. Förbrukningsdata visar t.ex. att under 2013 var den genomsnittliga förbrukningen av preparat på bekämpade sträckor 1008 g/ha (med ogräståg) och 1476 g/ha på driftsplatser (med ryggsprutor, 4-hjuling) vilket återspeglar såväl skillnader mellan teknikerna som det faktum att det oftast växer mer ogräs på driftplatser.

1.6 Hur bryts glyfosat ned i banvallen?

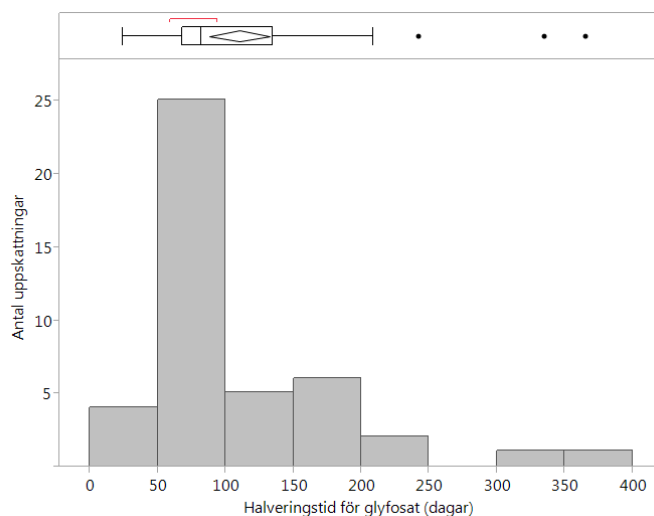
I marken kan glyfosat brytas ned via två olika nedbrytningsvägar. Den huvudsakliga nedbrytningsvägen är vanligtvis via en spjälkning till nedbrytningsprodukten aminometyl-fosfonsyra (AMPA) och glyoxylsyra som sedan i sin tur bryts vidare ned till koldioxid och ammonium, men man har också visat att det finns en alternativ nedbrytningsväg via sarkosin och aminosyran glycin. Den nedbrytningsprodukt som brukar påvisas i signifikanta mängder och anses relevant att följa i fältstudier är dock AMPA (FOOTPRINT, 2008).



Figur 4. Mikrobiell nedbrytning av glyfosat. Den vänstra nedbrytningsvägen brukar betraktas som den huvudsakliga i mark och det verkar gälla även för nedbrytningen i banvallar där bildning av nedbrytningsprodukten AMPA brukar kunna observeras en tid efter utförd bekämpning.

Nedbrytningen av glyfosat i banvallar har studerats av oss på SLU i flertalet fältförsök, de allra flesta genomförda innan 2006. Torstensson et al. (2005) anger halveringstiden för glyfosat som generellt sett < 5 månader och som 3 ± 1 månader. Om källmaterialet går igenom och samtliga tillgängliga försöksresultat vägs samman, dvs. totalt 45 olika skattningar av halveringstiden utifrån fältförsök besprutade med något av preparaten *Folar 460 SC*, *Spectra* eller *Roundup Bio*, och utförda mellan 1989-1998 på någon av 10 olika järnvägssträckningar, blir den genomsnittliga halveringstiden för glyfosat 110 ± 73 dagar. Om bara resultaten för *Roundup Bio* vägs in i analysen (17 skattningar från 5 olika järnvägssträckningar) blir halveringstiden 119 ± 63 dagar dvs. en bra uppskattning är att halveringstiden är ungefär 4 ± 2 månader. Ett histogram (Figur 5) visar dock att uppskattningarna är skevfördelade med några förmodade outliers med långa halveringstider som drar

upp medelvärde och därmed är förmodligen medianvärdet 82 dagar ett mer representativt värde för hur snabb halveringstiden är.



Figur 5. Histogram över uppskattningar av halveringstiden för glyfosat utifrån fältförsök utförda mellan 1989-1998.

Då nedbrytningsprodukten AMPA bildas från glyfosat så kommer AMPA ofrånkomligen finnas kvar i marken under en längre tid än glyfosat. Ofta ser man också uppgifter på att AMPA:s nedbrytningshastighet är långsammare än glyfosatets (se t.ex. FOOTPRINT, 2008). Om hänsyn tas till att AMPA samtidigt bildas och bryts ned när halveringstiden skattas från experimentella resultat visar det sig dock att detta inte nödvändigtvis stämmer (Bergström et al., 2010). Nedbrytningshastigheten för AMPA i banvallen har inte uppskattats men inga tecken har setts på att AMPA skulle ansamlas i banvallen över tid (Torstensson et al., 2005).

1.7 Hur fungerar glyfosat?

1.7.1 Biokemisk verkan

Glyfosat är en så kallad EPSPS-inhibitor. Det innebär att glyfosatet huvudsakligen verkar i växten genom att hämma aktiviteten hos enzymet 5-enol-pyruvylshikimat-3-fosfat-syntas (EPSPS) och därigenom syntesen av korismat och den vidare syntesen av aminosyrorna fenylalanin, tyrosin och tryptofan (Amrhein et al., 1980). Den syntesvägen är generell för växter men finns inte hos däggdjur och detta är anledningen till att glyfosat är ett effektivt bredverkande ogräsmedel men bara har en måttlig akut toxicitet för människor (FOOTPRINT, 2008).

1.7.2 Upptag i växten

Glyfosatet är beroende av att tas upp via växtens ovanjordsdelar för att därefter translokeras i hela växten. I marken adsorberar glyfosatet däremot starkt till mineraler vilket innebär att det i stort sett inte alls tas upp via rötterna. En behandling med glyfosat har därför ingen eller åtminstone mycket liten förebyggande verkan på uppkomsten av nya ogräs. Glyfosat är också verkningslöst om det inte applice-

ras på en aktivt växande växt (med aktiv metabolism). Behandling för tidigt (innan ogräsen har kommit upp) eller för sent på växtsäsongen (när tillväxten har avstannat) är därför inte att rekommendera. Den svaga långtidsverkan gör att det kan vara nödvändigt att upprepa behandlingen av ett banavsnitt under en och samma säsong för att hålla ogräsen nere.

1.7.3 Resistens hos vissa växter

Vissa växter har ytskikt som gör att upptaget av glyfosat begränsas och gör dem naturligt motståndskraftiga. Barren hos barrträd har t.ex. tjocka vaxskikt och lämnas oftast opåverkade av en besprutning, med undantag av årsskotten, och fräkenväxter har högt innehåll av kisel i ytskiktet (Holzhüter et al., 2003) vilket bidrar till att göra dem okänsliga. Dessa växter gynnas naturligtvis av en upprepad behandling med glyfosatpreparat och kan ses spridas utmed vissa banavsnitt.



Figur 6. Åkerfräken är ett exempel på ett ogräs som gynnas av en upprepad behandling med glyfosat och trivs på banvallar. Vänster: vårskott av åkerfräken skjuter upp genom makadamen, Viskadalsbanan, 2010. Höger: opåverkad åkerfräken finns kvar efter besprutning med Roundup Bio. Sträckan Ätvidaberg-Västervik, 2006.

Det höga och ensidiga selektionstrycket bidrar även till att nya glyfosatresistenta ogräs skulle kunna uppkomma och få spridning utmed järnvägarna vilket potentiellt skulle kunna ställa till problem även för svenska lantbrukare som använder glyfosat. En nyligen publicerad studie undersökte spridningen av genetiskt modifierad glyfosatresistent raps utmed Schweiziska järnvägar (Schoenenberger and D'Andrea, 2012). Man fann i den studien inte några tecken på en storskalig spridning men slog fast att järnvägen utgör ett idealiskt system för spridning av herbicidresistenta växter.

Flertalet olika mekanismer för hur glyfosatresistens kan uppstå hos ogräs har beskrivits, t.ex. mutationer i eller duplicering av genen som kodar för EPSPS eller förändrad transport av glyfosat i växten (Sammons and Gaines, 2014). Ett exempel på en växt som har fått stor spridning utmed järnvägarna i södra Sverige de senaste åren och som eventuellt utvecklat resistens mot glyfosat är Natthjus (*Oenothera biennis*). Erfarenheter från jordbruket visar att bekämpning med glyfosat måste

varvas med bekämpningsmedel med andra verkningsmekanismer eller alternativa bekämpningsmetoder för att vara långsiktigt hållbar (Powles, 2008).

1.8 Hur stor är spridningen i miljön och vilka är riskerna?

Glyfosat kan sprida sig i miljön via utlakning genom bankroppen eller genom vindavdrift vid själva bekämpningen. Utlakningen skulle kunna leda till att grundvattnet under banan kontamineras och att därmed potentiellt gränsvärdet på 0,1 µg/l för dricksvatten överskrids i något fall där vatten tas ut i nära anslutning till banvallen. Vindavdriften skulle kunna tänkas ha en mer direkt påverkan på framförallt omkringliggande vegetation.

1.8.1 Miljökontrollprogram

Som diskuterats i avsnitt 1.5 så har det funnits farhågor om att glyfosat kan spridas till grundvattnet under banvallen vid de doser som används. För att få en bättre uppfattning om riskerna med utlakning av glyfosat och AMPA inrättade Banverket 2007, på inrådan från SLU, ett miljökontrollprogram för kemisk ogräsbekämpning. Inom ramen för programmet installerades grundvattenrör, i och i nära anslutning till ett antal olika typbanvallar, och koncentrationerna glyfosat och AMPA följdes över tid. Tanken med programmet var att det skulle utgöra en egenkontroll och ge ett underlag för att på en nationell nivå kunna bedöma risken för påverkan på grundvattnet från den faktiska driften. Resultaten visade att risken för utlakning av glyfosat inte var så stor som tidigare befarats även om glyfosat och AMPA i vissa fall kunde återfinnas i grundvattenprover (Jonsson, 2011). Miljökontrollprogrammet gav värdefulla erfarenheter och insikter om utlakningsrisken men var egentligen inte optimalt utformat för att besvara själva grundfrågeställningen. Den största bristen var att provplatserna inte var ogräsbevuxna och alltså i normalfallet inte skulle ha ogräsbekämpats alls. För att få någonting att mäta fick man därför fatta beslut om att samtliga provplatser skulle bekämpas med full dos. Därmed blev miljökontrollprogrammet mer av en forskningsstudie som studerade ett worst-case scenario än ett egentligt kontrollprogram. I några fall gick det heller inte, på grund av provplatsernas läge i landskapet, att säkert bestämma om de fynd som gjordes i grundvattnet härrörde från Banverkets egen användning eller berodde på påverkan från kringliggande jordbruksmark. I det förnyade miljökontrollprogrammet som startade under 2015 valdes därför provplatser ut som var ogräsbevuxna och regelbundet besprutade med glyfosat men inte låg i nära anslutning till jordbruksmark.

1.8.2 Riskerna med utlakning

Även om utlakningen är liten så kan man inte utesluta att koncentrationen glyfosat eller AMPA i något fall överstiger gränsvärdet för dricksvatten på 0,1 µg/l direkt under eller i nära anslutning till banvallen. På grund av utspädning är det förmodligen framförallt mindre grundvattenreservoarer som ligger i nära anslutning till banvallen som skulle kunna tänkas påverkas. Någon risk för människors hälsa uti-

från konsumtion av ett sådant hypotetiskt förorenat grundvatten bör dock inte föreligga med tanke på att ADI-värdet (acceptabelt dagligt intag) för glyfosat är satt till 0,3 mg/kg kroppsvikt och dag (Cederlund, 2015a).

1.8.3 Vindavdrift

En fråga som har varit aktuell på sistone i och med översynen av hur restriktionsytor hanteras på järnvägen är vindavdriften. För att kunna se till så att man har rätt skyddsavstånd till olika skyddsvärda områden är det viktigt att bedöma både hur stor vindavdriften är och hur känslig omgivningen är för preparatet.

De mätvärden som finns på vindavdrift från ogräsbekämpning med ogräståg på järnväg indikerar att den mängd som transporteras ≥ 3 m bort från det bekämpade området är mycket låg, motsvarande 0,02-0,04 % av den utlagda dosen, men att mängden som avsätts på bara någon meters avstånd kan motsvara 4-5 % av utlagd dos (László, 2014; Wygoda et al., 2006). Vid upphandling av ny entreprenör från och med 2016 har Trafikverket ställt som krav att den sedimenterade vindavdriften 3 m från sprutområdets yttre gräns inte får överstiga 0,2 % av använd dos. Förutsatt att vindavdriften håller sig kring de värden som har uppmätts och inte överstiger de krav som Trafikverket har ställt så kommer påverkan på omgivningen att vara liten och de skyddsavstånd som hålls till känsliga områden vara tillräckliga (Cederlund, 2015a). Då glyfosat är ett ogräsbekämpningsmedel är riskerna störst för (potentiellt skyddsvärda) växter som växer nära banvallen. Mängden preparat som avsätts på avstånd mindre än 2 m från besprutat område skulle kunna vara tillräckligt hög för att påverka tillväxten hos känsliga växtarter negativt och orsaka förändringar i växtsammansättningen.

1.9 Integrerat växtskydd

Alla yrkesmässiga användare av växtskyddsmedel är sedan 1 januari 2014 skyldiga att tillämpa de allmänna principerna om integrerat växtskydd så som de definieras i bilaga III till Direktiv 2009/128/EG. Detta krav gäller även Trafikverkets entreprenörer trots att lagstiftningen i mångt och mycket är skriven för att reglera användningen av bekämpningsmedel inom jordbruket och i vissa delar är svår att tillämpa. Ingen egentlig vägledning om hur integrerat växtskydd bör bedrivas på järnväg ges heller av den nationella handlingsplanen (Landsbyggsdepartementet, 2013) som enligt direktivet bör beskriva hur medlemsstaterna ser till att principerna om integrerat växtskydd genomförs.



Figur 7. Översikt över de allmänna principerna för integrerat växtskydd så som de beskrivs i bilaga III till Direktiv 2009/128/EG.

1.9.1 Hur kan principerna om integrerat växtskydd tillämpas vid ogräsbekämpning på järnväg?

Nedan följer en genomgång av hur väl Trafikverket idag uppfyller principerna om integrerat växtskydd och några funderingar från min sida om vad man skulle kunna förbättra i sitt arbete.

1. Den första punkten som listas i de allmänna principerna anger att den som överväger att använda kemiska bekämpningsmedel i första hand ska använda sig av förebyggande åtgärder. Bland de åtgärder som listas i bilaga III och i Jordbruksverkets föreskrifter och allmänna råd om integrerat växtskydd (Jordbruksverket, 2014) som de som framförallt ska användas (val av växtföljd, lämpliga odlingstekniker, sort- och växtmaterial etc.) är dock egentligen ingen användbar för att minska förekomsten av ogräs på banvallar.

Ett grundläggande problem med att förebygga ogräs på banvallar är att på de flesta av de banor som ogräsbekämpas idag är ogräsfloran redan väl etablerad. Det är svårt att förebygga ett problem som redan finns. Att rensa ballasten från finmaterial kan vara ett sätt att både förebygga och bekämpa ogräs och få till en nystart för en bana. Organiskt material i ballasten är som tidigare diskuterats lika mycket en följd av som en orsak till att ogräs växer på järnvägen. Ballastrensning är dock en mycket dyr åtgärd och idag utförs ogräsbekämpningen egentligen mer för att förebygga behovet av ballastrensning än tvärtom.

De förebyggande åtgärder som kan användas på järnvägar handlar mer om att metodiskt arbeta med i olika grad underhållna zoner och barriärer utmed järnvägen för att förhindra spridningen av ogräs in i banan (Müller, 2001). I Sverige finns det dock i dagsläget knappast pengar i underhållsbudgeten till att underhålla zonerna nära järnvägen på ett alltför grundligt sätt. Man kan också tänka sig att vid upp- rustning eller konstruktion av ny järnväg introducera tätskikt som t.ex. geotextiler som hindrar uppkomst av ogräs. Det är dock viktigt att sådana åtgärder inte försäm- rar banvallens dränerande funktion eller förhindrar driften. En översikt över några olika förebyggande metoder som används eller skulle kunna användas på järnväg ges av Eriksson et al. (2004).

Ett alternativt, om än något paradoxalt, sätt att förebygga ogräs, som är väl värt att undersöka närmare, är att använda sig av lågväxande växter som tätskikt. Samma typ av Sedumvegetation som används för gröna tak eller andra lågväxande gräs och örter skulle kunna användas. Sådana *gröna spår* kan utöver att hindra uppkomst av högväxande ogräs också ha andra positiva effekter som att minska buller och parti- kelutsläpp och dessutom vara estetiskt tilltalande (Grüngleis Netzwerk, 2014). Speciellt på stationer och i tätbebyggda områden skulle detta kunna vara ett alter- nativ väl värt att testa. Så kallad ”*Gleisbettnaturierung*” eller ”*Gleisbegrünung*” är vanligt förekommande på spårvägar i Tyskland och erfarenheter rörande t.ex. an- lägnings-kostnad och underhållsbehov kan inhämtas därifrån.

2, 3 och 8. Punkt 2 handlar om att skadliga organismer ska övervakas med lämpliga metoder och verktyg, punkt 3 om att beslut om vilka åtgärder som ska sättas in ska fattas baserat på resultat från den övervakningen. Särskilt framhålls att ”*Tillförlit- liga och vetenskapligt välunderbyggda tröskelvärden är väsentliga för beslutsfat- tandet.*” Punkt 8 anger att nyttan med de växtskyddsåtgärder som vidtas ska utvär- deras med hjälp av resultat från övervakningen. Dessa punkter hänger alltså sam- man.

Som beskrivits i avsnitt 1.2 är det idag underhållsingenjörer på Trafikverket som ställer samman listorna över vilka sträckor som behöver bekämpas utifrån rapporter från entreprenörer som jobbar i spåret, filmat material och erfarenhet. Detta system fungerar hyfsat men kan leda till att behovet av ogräsbekämpning prioriteras olika i olika delar av landet. Någon egentlig övervakning av mängden eller vilken typ av ogräs som växer på banvallar sker dock inte idag och det finns heller inga egentliga tröskelvärden för hur mycket ogräs som kan tolereras på en banvall. Övervakning- en av hur väl ogräsbekämpningen fungerar sker idag genom relativt sporadiska fältkontroller. Här finns det alltså mycket förbättringspotential.

I ett forskningsprojekt som slutfördes under 2013 undersökte och jämförde vi några olika metoder som på ett objektiva sätt skulle kunna mäta förekomsten av ogräs i spåret och som skulle kunna användas för såväl planering som utvärdering av un- derhållsåtgärder (Cederlund et al., 2014). Samma teknik som används för att styra sprutmunstyckena på tåget (IR-sensorer) kan redan idag användas för att mäta fö- rekomst på banan och utrustningen kan även monteras på andra tåg än ogräståget.

Även om tekniken för att mäta ogräsförekomst finns så är det dock fortfarande en utmaning hur man ser till att sådana mätningar kan genomföras på alla banor, vid lämpliga tidpunkter på året och hur informationen kan sammanställas så att den kan analyseras på ett bra sätt. En sådan mätning kan också bara ge kvantitativ information om hur mycket ogräs det finns eller hur effektiv en bekämpningsåtgärd är men ingen information om hur ogrässammansättningen utvecklas över tid, om vissa arter utvecklar resistens etc. För att ett framtida *ogräskontrollprogram* ska kunna generera ett heltäckande beslutsunderlag är det viktigt att inhämta även sådan mer kvalitativ information. Ett förslag är att inrätta ett antal fasta ytor spridda över landet som följs upp under varje år genom att bedöma såväl artsammansättning som täckningsgrader enligt ett standardiserat protokoll.

4. Punkt 4 anger att ”*Hållbara biologiska, fysiska och andra icke-kemiska metoder ska ges företräde framför kemiska metoder om de leder till tillfredställande bekämpning av skadegörare och ogräs.*” Hittills har alternativa metoder inte betraktats som tillräckligt effektiva av Trafikverket för att komma till användning. Undantaget är mekanisk rensning som tillämpas på vissa ytor där kemisk bekämpning inte kan utföras. Mekaniska metoder som inte inbegriper att ogräsen rycks upp med rötterna har dock i normalfallet mycket kortvarig effekt. Forskning kring alternativa preparat fortgår dock och har t.ex. visat att bekämpning med hetvattenskum kan ge tillfredställande resultat för åtminstone mindre ytor på järnvägen (se avsnitt 2.3.8). Huruvida den stora energidosen som krävs ska betraktas som hållbar är en annan fråga.

5. Punkt 5 anger att ”*De växtskyddsmedel som används ska vara så målspecifika som möjligt och ha minsta möjliga biverkningar för människors hälsa, icke-målorganismer och miljön.*” Den forskning som vi på SLU har bedrivit om ogräsbekämpning på järnväg har till stor del handlat om att utvärdera effektivitet och spridning i miljön av de bekämpningsmedel som ska användas på järnväg (se avsnitt 2). Att hjälpa Trafikverket bedöma riskerna för miljö och hälsa med användningen av bekämpningsmedel har också varit en ständigt återkommande uppgift. Störst risk för påverkan från glyfosat bedöms utifrån utförd riskkaraktärisering finnas för växter i nära anslutning till spåret (1-2 m från besprutat område; se avsnitt 1.8.3) och riskerna för vattenlevande organismer och människors hälsa bedöms vara små (Cederlund, 2015a).

6. Punkt 6 anger att användningen av växtskyddsmedel ska vara så låg som möjligt. Ett av exemplen på hur användningen kan minskas är genom ”partiell spridning” vilket är precis vad Trafikverkets entreprenörer tillämpar när de bara sprider ogräsmiddel på ogräsbevuxna fläckar. Användandet av ogräståg där sprutmunstyckena styrs av IR-sensorer har avsevärt minskat förbrukningen per spårmeter (se avsnitt 1.5).

7. Punkt 7 handlar om att man måste arbeta med att förebygga resistensutvecklingen hos skadliga organismer. Specifikt anges att ”*Detta kan inbegripa användning av flera olika växtskyddsmedel med olika verkningsätt.*” Här har Trafikverket

vissa problem då man med undantag av några år under 90-talet enbart har använt sig av glyfosat-baserade preparat de senaste 22 åren och därför definitivt inte kan sägas ha använt sig av ”*tillgängliga strategier mot resistens*”. Eventuellt måste man för att förebygga resistensutvecklingen under vissa år börja använda andra preparat med andra verkningsmekanismer även om dessa i dagsläget inte anses vara fullvärldiga ersättare till glyfosat (jämför avsnitten 1.7.3 om resistens och avsnitt 2.3. som beskriver resultaten från preparattesterna).

2 Forskningen kring ogräsbekämpning på järnväg 2006-2015

2.1 Målsättningar med forskningen

Forskningen som har bedrivits vid SLU har reglerats av ett övergripande avtal som tecknades mellan SLU och Banverket 1998 och som anger att man vid institutionen för mikrobiologi ska ”utföra studier av bekämpningsmedel lämpade för vegetationsbekämpning på banvallar och övriga bekämpningsytor”. Avtalet ställde upp följande kravspecifikation på de bekämpningsmedel som Banverket önskade sig:

- Preparatet skall ha god effekt vid låga doser på alla typer av ogräs som kan förekomma på en banvall. Preparatet skall vara effektivt både mot uppvuxet ogräs (bladverkan) och mot groende ogräsfrön (jordverkan). Det är också önskvärt att effekten kvarstår längre tid än ett år.
- Preparatet skall inte ge några humantoxikologiska effekter.
- Preparatet skall inte förorsaka ekotoxikologiska problem, ha liten rörlighet och ”lagom” lång persistens.
- Preparatet skall inte förorsaka skador på spårmaterial, exempelvis korrosion.

Forskningens konkreta inriktning och omfattning har varierat över tid och har reglerats i arbetsprogram som upprättats för varje enskilt år efter diskussion mellan SLU och BV/TrV. En huvudinriktning har varit att identifiera och jämföra aktiva beståndsdelar, preparat och/eller metoder som kan vara intressanta att använda som ersättning, komplement eller blandningspartner till glyfosat - för att förbättra ogräseffekten, bredda ogrässpektrumet, eller som verktyg för att förhindra resistensutvecklingen.

En utgångspunkt har varit att de flesta ogräsbekämpningsmedel är utformade för användning inom jordbruket och att därför de dosrekommendationer och uppgifter

om nedbrytningshastighet och rörlighet som tillhandahålls av tillverkare eller finns tillgängliga i databaser inte är direkt tillämpbara vid användning på järnväg utan behöver undersökas i järnvägs miljön. Dosrekommendationerna för jordbruket är ofta baserade på ett antagande om att bekämpningsmedlet ska appliceras tidigt på säsongen, innan grödans uppkomst, då ogräsen fortfarande är relativt späda. På järnvägen är ogräsen däremot ofta perenna och redan relativt väletablerade när bekämpningen utförs. På grund av logistiska skäl genomförs ogräsbekämpningen också ofta senare under växtsäsongen än vad som vore optimalt vilket medför att också annuella ogräs kan ha hunnit tillväxa mer. Sammantaget kräver detta ofta att man måste använda högre doser för att uppnå tillräcklig effekt. På grund av banvallens låga mikrobiella aktivitet (Cederlund et al., 2008; Cederlund and Stenström, 2004) är däremot bekämpningsmedlens nedbrytningshastighet ofta lägre i en banvall än i jordbruksmarken (Cederlund et al., 2007; Torstensson, 1983; Torstensson et al., 2005). Den grova texturen och den låga halten organiskt material gör också att banvallar generellt sett betraktas som utlakningskänsliga (Cederlund et al., 2012; Jarvis et al., 2006).

Kombinationen av behovet av att applicera en högre dos än vad som oftast används inom jordbruket, långsam nedbrytning och utlakningskänslig miljö har gjort det svårt att hitta kandidater som helt uppfyller den kravspecifikation som har ställts upp. Utöver de miljökrav som ställs i avtalet regleras detta också av Trafikverkets styrdokument TDOK 2010:310 (Trafikverket, 2015b)).

Arbetet med att hitta ett nytt preparat är en flerstegsprocess där preparat sällas bort i varje steg. I ett första steg bedöms kandidater på teoretisk nivå genom att samla in och bedöma den information som redan finns tillgänglig om toxicitet, ogräsverkan, persistens och rörlighet i jordbruksmark och genom samråd med tillverkare om användning och lämpliga doser. De kandidater som bedöms lovande testas i fältförsök för att bedöma om deras ogräsverkan är tillräcklig i de doser som skulle kunna vara aktuella att använda. För substanser som visar sig ha tillräckligt god ogräseffekt utförs ytterligare fältstudier för att undersöka nedbrytningen i banvallen och bedöma utlakningsrisken. Ofta utförs också fördjupade labstudier för att bättre förstå nedbrytningsvägar och vilka faktorer som påverkar nedbrytningshastighet och utlakningsrisk. I förlängningen är tanken att resultaten från studierna ska kunna användas som underlag för att ansöka hos KemI om ett utvidgat användningsområde för det aktuella bekämpningsmedlet.

Ett tidigt fokus för studierna var att hitta en blandningspartner som skulle kunna möjliggöra att dosen glyfosat kan minskas. Tidigare forskning indikerade nämligen att dosen glyfosat inte borde överstiga 3 l *Roundup Bio* ha⁻¹ (motsvarande 1080 g glyfosat ha⁻¹) för att undvika utlakning från banvallen (Torstensson et al., 2005) (se avsnitt 1.5). En blandningspartner som uppfyllde kravet på att reducera glyfosatdosen och samtidigt bredda ogräseffekten var preparatet *Arsenal* med den aktiva beståndsdel imazapyr som användes mellan 1995-2001 (Torstensson and Börjesson, 2004). Imazapyr visade sig dock vara alltför utlakningskänsligt (Jarvis et al., 2006) och användningen upphörde. Sökandet efter ”ett nytt *Arsenal*” upp-

hörde dock inte. Till *Arsenals* fördelar hörde att det till skillnad från *Roundup Bio* var verksamt mot problemogräset åkerfräken och att det verkade genom rotupptag vilket gav bättre långtidsverkan generellt. Dessa egenskaper har därefter funnits med på ”önskelistan” för ett nytt preparat. Ett nytt preparat fick också gärna vara ett s.k. lågdospreparat eftersom detta bedömdes minska utlakningsrisken, en rekommendation som återfinns i Torstensson (2007).

Allteftersom mer information samlades in från miljökontrollprogrammet (se avsnitt 1.8.1) och den upplevda risken för glyfosatutlakning minskade skiftade också forskningens inriktning från att hitta en blandningspartner som bidrog till att glyfosatdosen kunde minskas till att hitta en som gav en bredare eller mer långvarig effekt. Särskilda studier genomfördes under vissa av åren t.ex. för att undersöka effekter mot åkerfräken och barrträd.

Intresset för alternativa metoder, som bekämpning med ättiksyra eller hetvatten, har också ökat och dessa har undersökts inom ramen för testprogrammet. Dessa metoder skulle potentiellt kunna ersätta delar av den kemiska bekämpningen, men kanske framförallt bli aktuella att använda på restriktionsytor där Trafikverket idag är hänvisade till mekanisk rensning.

2.2 Fältförsökens utformning och utveckling

2.2.1 Utläggning av fältförsök

Fältförsök för att testa ogräseffekter hos preparat och blandningar har oftast utförts som så kallade parcellförsök med en randomiserad blockdesign. Varje parcell (försöksruta) är 25 x 3 m och en parcell utplaceras på vardera sidan om spårmit. I normalfallet upprepas varje behandling i 5 block. Parcellerna brukar märkas upp med numrerade metallbrickor som spikas fast i sliprarna.

Vid utläggningen har en speciell tryckluftsdreven försöksspruta, med en 3 m lång vikbar sprutarm, som monteras på en öppen järnvägstralla använts. På järnvägstrallan blandas preparat till portionsvis i mängd och koncentration som gör att rätt dos med rätt vätskemängd läggs ut på precis 25 m förutsatt att järnvägstrallan förs fram med rätt hastighet (4 km/h). I normalfallet är vätskemängden 200 l/ha vilket motsvarar 1,5 l vatten per parcell/portion. Mellan varje par av parceller lämnas 5 m uppehåll för att ge möjlighet att tvätta sprututrustningen som används, blanda till och fylla på ett nytt preparat i sprutan. Ofta har försöken besprutats under nattetid för att inte störa tågtrafiken på trafikerade sträckor.



Figur 8. Vänster: sprutning med spårgående lastbil som dragfordon. På bilden sprutas vattnen för att föraren ska kunna öva in rätt färdhastighet på sträckan Kilafors-Söderhamn, 2007. Höger: sprutning av ättika i fältförsök på Bohusbanan, 2009. Tekniskt ansvarige Carl Westberg sköter sprututrustningen i båda fallen.

Vad som har fungerat som dragfordon har varierat över åren; mest praktiskt har det visat sig vara med en spårgående traktorgrävare som förutom att agera dragfordon också kan hjälpa till att lyfta sprututrustningen på och av spåret. Den typ av enkla öppna järnvägstrallor som används i försöken var tidigare vanligt förekommande och kunde fixas lokalt i anslutning till en försökssträcka men har efter avregleringen av järnvägen blivit allt svårare att få tag på. Vid de senaste fältförsöken har en tralla hyrts in från ett företag i Stockholm och transporterats till försökssträckan på lastbil.

I vissa fall, speciellt i försök där utlakningen av preparat har studerats, har försöken bedrivits som fullskaleförsök. I dessa fall har försökssträckan besprutats med det ogräståg som skötte ogräsbekämpningen på linjen för att så mycket som möjligt efterlikna den faktiska driften.

Där det är kritiskt kan dosen som läggs ut kontrolleras genom att sätta ut filtrerpapper på banan som samlas in och analyseras efter utförd besprutning. Detta tillvägagångssätt är mycket användbart inte minst när det gäller försök som ska bedöma utlakningsrisken.

En fullständig översikt över studier som har genomförts under perioden 2006-2015 ges i Bilaga 1 och en översikt över var de har bedrivits ges i Figur 9.



Figur 9. Översikt över var fältförsök har utförts under perioden 2006-2015. Sjuan på Viskadalsbanan indikerar att 7 st. olika fältförsök genomförts där under tidsperioden.

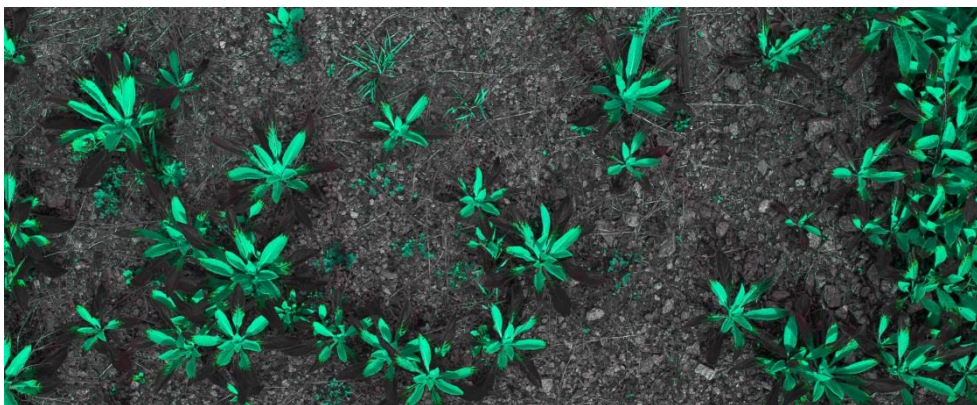
2.2.2 Utvärdering av ogräseffekter

Metoderna som används för att utvärdera ogräseffekterna har utvecklats under 10-årsperioden. I början gjordes visuella avläsningar av hela parceller enligt en skala graderad från 0-5 enligt följande:

- 0 = Lika med kontroll (inga synliga effekter)
- 1 = Tydliga effekter (< 25 % effekt)
- 2 = Mycket tydliga effekter (25-50 % effekt)
- 3 = Kraftiga effekter (50-75 % effekt)
- 4 = Mycket kraftiga effekter (> 75 % effekt)
- 5 = All vegetation död (100 % effekt)

Bedömningen av ogräseffekter kan med detta bedömningssätt göras ganska snabbt i fält vilket är en stor fördel på en trafikerad bana. Nackdelarna är dock flera: den grova skalan gör det svårt att skilja mellan preparat med likartad effekt och skalans utformning är olämplig för statistisk bearbetning. I en övergångsperiod gjordes därför istället visuella bedömningar på en kontinuerlig skala från 0 till 100 % effekt. Visuella bedömningar av hur ogräs växer på en banvall kan dock vara mycket subjektiva i sig (Nyberg et al., 2015) och den visuella bedömningen av ogräseffekter är svår att utföra på ett reproducerbart sätt även för en tränad bedömare. Generellt gäller också att det är lättare att se ogräs som vissnar som en följd av en bekämpning än att urskilja om ett preparat hämmar uppkomsten av nya ogräs långt efter utförd bekämpning vilket kan missgynna preparat med långtidsverkan när man gör visuella bedömningar.

Problemen med de visuella bedömningarna har gjort att vi gradvis övergått till att bedöma effekterna av bekämpningsmetoder främst genom att mäta ogräsen täckningsgrad i procent med hjälp av en enkel bildanalys som beskrivs närmare i Cederlund et al. (2014). Själva fotograferandet kan också utföras relativt snabbt i fält men kräver mer i form av efterbearbetning av det insamlade bildmaterialet. Fördelarna med bildanalysen är flera: resultaten är helt oavhängiga bedömarens träning i att göra ogräsbedömningar och förväntningar kring utfallet, ger mindre variation och kan tillförlitligt detektera även om ett preparat förhindrar uppkomst av nya ogräs. Det finns dock en del fallgropar även med bildanalysen. Var man tar sina bilder på banvallen och hur många man tar kan spela stor roll för hur representativt resultatet blir och bör noga övervägas. Metoden vi använt oss av mäter i princip grönhet vilket innebär att täckningsgraden hos en kraftigt blommande ogräsflora kan underskattas och den mäter inte höjdtillväxt vilket ibland kan vara missvisande (Cederlund, 2015b). Kraftigt solsken kan också förorsaka solreflexer vilket kan medföra en viss överskattning av täckningsgraden (Cederlund et al., 2014).



Figur 10. Exempel på en bild på ytan mellan två sliprar som används som underlag för att bedöma täckningsgraden. På bilden har färgmättnadsgrad och luminositet för färgen grönt satts till max samtidigt som de minimerats för övriga färger. Bilden processas sedan vidare så att andelen gröna pixlar kan kvantifieras och omvandlas till en täckningsgrad i %.

Bedömningen av täckningsgrader kompletteras även med en mer kvalitativ analys, dvs. en inventering av vilka ogräsarter som växer på platsen, vilka ogräs som inte tycks påverkas av preparatet etc.

2.2.3 Undersökningar av nedbrytning och utlakning

Hur ett bekämpningsmedel bryts ned i banvallen kan undersökas i såväl fält- som labstudier. Fältstudierna har den fördelen att de bättre återspeglar verkligheten och är därför omistliga. Å andra sidan är fältstudier mer arbetskrävande och ger ofta mindre reproducerbara resultat. Den totala mängden av ett bekämpningsmedel som finns i banvallen kan uppskattas genom att provta banvallen i väl definierade skikt i vilka koncentrationen sedan analyseras. Detta låter lätt men i praktiken kan det vara svårt att ta representativa prover från väldefinierade skikt, i synnerhet på makadamiserade banor. Hur snabbt bekämpningsmedlet bryts ned kan också variera mycket över korta avstånd på banvallen och då provtagningen är destruktiv går det inte att följa nedbrytningen i en och samma punkt över tid. För att få tillförlitliga

data är det istället nödvändigt att ta prover från flera olika punkter vid varje provtagningsstillfälle som slås samman innan eller räknas samman efter analys.

I labstudier har man mer väldefinierade förhållanden och mindre variation mellan prover, dessutom kan man ha en betydligt tätare provtagningsfrekvens vilket allt samverkar till att ge säkrare resultat. Labstudier är idealiska för att studera hur nedbrytningen beror av olika faktorer, vilka nedbrytningsprodukter som bildas etc. men en nedbrytningshastighet bestämd på labbet är inte nödvändigtvis fullständigt representativ för hur snabbt nedbrytningen sker i fält.

2.3 Resultat från fältförsök och labstudier

Under 10-årsperioden har ett flertal olika preparat och blandningar studerats i såväl fält- som labstudier. Jag har i det här avsnittet valt att sammanfatta huvudslutsatserna rörande de substanser och metoder som har bedömts vara mest intressanta och som därmed har studerats mer grundligt. En fullständig förteckning över vilka preparat och doser som studerats i fältförsök finns i Bilaga 1. En översikt över de kemiska strukturerna hos de substanser som avhandlas i avsnittet hittas i Figur 18 och en översiktlig sammanfattning av resultaten ges i Tabell 3.

2.3.1 MCPA

MCPA är en fenoxisyra och fungerar genom att efterlikna auxiner (tillväxthormoner) i växten. Preparatet är verksamt mot örtogräs men inte gräs. Preparatet MCPA750 med den verksamma beståndsdel MCPA testades som blandningspartier till glyfosat i flera fältförsök under 2006 (Bilaga I). Studierna av blandningar mellan glyfosat och MCPA startade redan 2002 och har delvis beskrivits redan (Torstensson, 2007). De studier som bedrevs under 2006 hade som inriktning att bedöma ogräsverkan av upprepade behandlingar samt att undersöka nedbrytning och utlakning till grundvattnet. Sammantaget bedömdes ogräseffekten som relativt god men utan att ha någon större långtidsverkan. Blandningen var även kortsiktigt effektiv mot problemogräset åkerfräken och en behandling slog ut ovanjordsbiomassan mer eller mindre fullständigt. Åkerfräken överlevde dock behandlingen och växte relativt snabbt tillbaka från rotskott (Figur 11).



Figur 11. Vänster: åkerträken skjuter nya skott efter att ha blivit behandlad med blandningen Roundup Bio 3 l/ha + MCPA 750 1.5 l/ha. Viskadalsbanan, 2006. Höger: spridning av MCPA-nedbrytande bakterier direkt efter besprutning med MCPA. Viskadalsbanan, 2007.

Nedbrytningen av MCPA i banvallen är relativt snabb, halveringstiden uppskattades vara ca 10 dagar i genomsnitt i de försök som bedrevs 2006 och 18 ± 13 dagar om resultaten från samtliga fältstudier som bedrivits vägs samman. Genom att jämföra nedbrytningshastigheterna i banvallsjord från olika banavsnitt gick det att konstatera att nedbrytningen accelererades av upprepade behandlingar. I labstudier gick det också att räkna fler MCPA-nedbrytande bakterier i jordprov från tidigare behandlade banor (Cederlund et al., 2007). MCPA kan alltså användas som kolkälla för tillväxt av bakterier och dessa bakterier finns i viss mån kvar i banvallen till nästkommande år. Grundvattenprovtagning vid två av försökssträckorna visade dock att MCPA var mycket rörlig och trots den snabba nedbrytningen nådde grundvattnet i höga koncentrationer ganska snart efter utförd bekämpning och MCPA blev därför aldrig aktuell att använda.

Under 2007 genomfördes, som en del av ett doktorandprojekt, ett pilotförsök på järnvägen där appliceringen av en MCPA-nedbrytande bakterie strax efter besprutningen med MCPA studerades. Tanken var att genom att sätta till aktiva bakterier som bryter ned MCPA så skulle man kunna garantera en mycket snabb nedbrytning, med en halveringstid på bara någon dag, i banvallen och därmed minska risken för utlakning. Eftersom MCPA också är främst bladverkande så påverkas däremot inte ogräseffekten i någon större utsträckning (Önneby et al., 2010). Tyvärr medförde en kombination av stor variation i fält och ett kraftigt regn direkt efter utläggningen att det var svårt att se några effekter av behandlingen i fältförsöket (Önneby, 2013). Senare demonstrerades det dock i labförsök att konceptet fungerar och potentiellt skulle kunna användas för att reducera utlakningen från sandiga jordar (Önneby et al., 2014).

2.3.2 Fluroxipyr

Fluroxipyr, formulerat som fluroxipyr-1-metylheptylester, ingick i bekämpningsmedlet *Starane 180* som studerades som blandningspartner till Roundup Bio i flera försök innan 2006. Fluroxipyr är också en auxinanalogue och har en ogräsverkan som mycket liknar MCPA:s. Data från de tidiga försöken indikerade att fluroxipyret

bröts ned ganska snabbt och hade en begränsad rörlighet i banvallsmaterialet. På grundval av resultaten skickade Banverket under 2008 in en så kallade off-label ansökan till KemI om att utöka användningsområdet av fluroxipyr till banvallar. Ansökan beviljades men tillverkaren av *Starane 180* (Dow Agrosiences) var inte intresserade av att sälja preparatet till Banverket. Istället fokuserades försök som utfördes under 2008 och 2009 på att grundligt studera preparatet *Tomahawk 180 EC* för att tillförsäkra sig om att preparatet inte utgjorde någon oacceptabel miljörisk. Detta preparat tillverkades av Makhteshim Agan som förklarade sig villiga att sälja preparatet.

Såväl fält- som labstudier som undersökte den mikrobiella nedbrytningen och utlakningen genomfördes under 2008-2010, och två av fyra provplatser i miljökontrollprogrammet besprutades under 2009 med blandningen *Roundup Bio 3 l/ha + Tomahawk 180 EC 2 l/ha* för att undersöka utlakningen av den blandning som var tänkt att användas (Jonsson, 2011). Resultaten av labstudierna visade att fluroxipyr bröts ned i banvallsmaterial med en halveringstid som varierade mellan 28-70 dagar och att framförallt vattenhalten var mycket viktig för att bestämma nedbrytningshastigheten. Under nedbrytningen bildades två nedbrytningsprodukter varav den ena bildades ganska långsamt men sedan inte bröts ned vidare. Samma mönster kunde även observeras i fält. Utlakningsförsöket och resultaten från miljökontrollprogrammet visade att fluroxipyr kunde detekteras i grundvattnet i koncentrationer som översteg 0,1 µg/l efter sprutning. Samtliga studier rörande fluroxipyrets nedbrytning och utlakning sammanfattades i en vetenskaplig artikel 2012 (Cederlund et al., 2012).

Resultaten från utlakningsförsöken i kombination med det faktum att produkten *Tomahawk 180 EC* var en formulering som innehöll lacknafta och därför betraktades som potentiellt hälsovådlig för dem som skulle hantera det medförde att Banverket beslutade att aldrig använda preparatet.

2.3.3 Glufosinat

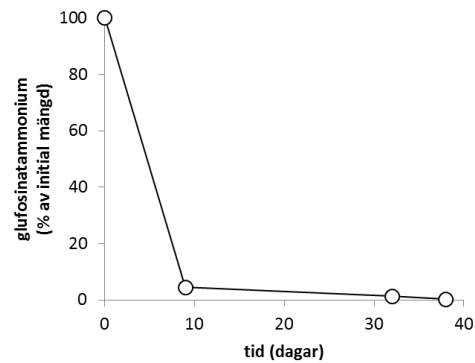
Glufosinat (kort för glufosinatammonium) hämmar enzymet glutaminsyntetas och därigenom ammoniummetabolismen vilket medför att ammoniak ackumuleras i cellerna och att fotosyntesen slås ut. Glufosinat har en bredverkande och kraftig effekt men translokeras inte i växten utan är helt kontaktverkande. Detta gör att rotsystemet kan överleva och växten i många fall kan återhämta sig efter utförd bekämpning. En fördel med glufosinat är att den är verksamt även mot barrträd som är svåra att bekämpa med glyfosat. Bekämpningsmedlet *Basta* med den verksamma beståndsdel glufosinat testades i Sverige och samma preparat användes även under flera år på järnvägarna i Norge med gott resultat, då under namnet *Finale*.



Figur 12. Vänster: tall delvis besprutad med 3 l Roundup Bio/ha + 3 l Basta/ha. Forsmo-Hoting, 2006. Höger: snedställda grundvattenrör installerade vid försökssträckan 2007.

Då erfarenheter av ogräseffekterna av preparatet *Basta* fanns från flera års tidigare tester liksom från användningen i Norge inriktades försöken som utfördes på sträckan Forsmo-Hoting under 2006 och 2007 mot att undersöka glufosinatets nedbrytning och utlakning i fullskaleförsök, besprutade med *Banverket produktions* ogrästtåg. Under 2007 genomfördes även studier parallellt på Gardermobanan i Norge i regi av Bioforsk och Jernbaneverket (Almvik et al., 2008).

Försöket under 2006 demonstrerade att nedbrytningen av glufosinat var mycket snabb i banvallen med en halveringstid på endast ca 5 dagar (Figur 13). Trots detta hittades koncentrationer av glufosinat i grundvattnet mer eller mindre direkt efter besprutningen. Det faktum att glufosinatet hittades i grundvattnet under banan orimligt snabbt efter sprutning väckte misstanken om att installationen av grundvattenrören skulle kunna ha introducerat preferentiella flödesvägar i banvallen. Därför beslutades det att försöket skulle upprepas under 2007 efter det att snedställda grundvattenrör, som provtar grundvattnet från sidan av banvallen och därför omöjligtvis skulle kunna introducera några flödesvägar, hade installerats i anslutning till de tidigare rören. Liknande problem med preferentiella flöden kring grundvattenrör installerade i en banvall kunde undvikas på detta sätt i en tysk studie (Schmidt et al., 1999).

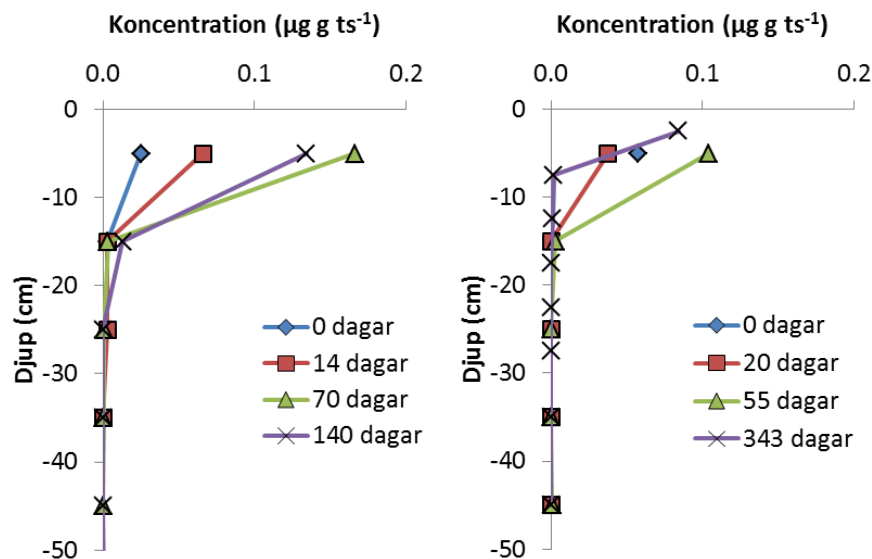


Figur 13. Vänster: besprutning av fältförsök med Banverket Produktions ogrästtåg som under 00-talet skötte ogräsbekämpningen i Sverige. Forsmo-Hoting, 2007. Höger: nedbrytning av glufosinatummonium i samma banvall vid fältförsöket 2006.

Fältförsöken som utfördes under 2007 utföll dock inte som förväntat. Nästan inga spår av glufosinat hittades i jord- och vattenprov och inte heller på de filterpapper som satts ut för att kontrollera den utlagda dosen. Det visade sig så småningom att ogrästtåget huvudsakligen hade besprutat sträckan med glyfosat istället för glufosinat trots att rätt mängd *Basta* förbrukades i sprutvagnen. Hur detta kunde gå till blev aldrig riktigt klarlagt men det troligaste är att preparatet helt enkelt kom ut ur tåget med större fördröjning än förväntat och därmed ”missade” provsträckan. Inte heller försöket med de snedställda grundvattenrören kunde utvärderas då grundvattenytan på platsen sjönk så att grundvattnet inte gick att provta. I den norska studien kunde inte mycket glufosinat påvisas i de markvattenprover som samlades in från olika djup och slutsatsen blev att risken för att glufosinat skulle kontaminera grundvattnet i koncentrationer som översteg gällande gränsvärden var ”svært liten” (Almvik et al., 2008). Farhågor om att glufosinat skulle kunna bli föremål för substituering när den nya bekämpningsmedelslagstiftningen introducerades i EU gjorde att studierna av glufosinat inte drevs vidare. Glufosinatet förbjöds aldrig inom EU även om substansen listades som kandidat för substituering, glufosinat förbjöds dock i Norge och tillverkaren valde att inte förnya produktgodkännandet av *Basta* i Sverige.

2.3.4 Diflufenikan

Diflufenikan (DFF) inhiberar karotenoider och fettsyrsyntes i växten och preparatet är tänkt att ligga kvar i markens ytskikt och verka under lång tid. Såväl innan 2006 som under den senaste 10-årsperioden har produkter med den verksamma beståndsdel DFF med jämna mellanrum studerats i försöken. I de produkter som testats har oftast DFF varit formulerat tillsammans med glyfosat för att ge såväl snabb som mer långsiktig verkan (som i preparaten *Zappa* och *Zeppelin* som testades under 90-talet och preparat *Pistol* som testades 2006-2007 och 2014).



Figur 14. Genomsnittliga koncentrationer diflufenikan i banvallen vid olika tidpunkter efter besprutning i två fältförsök. Vänster: efter besprutning med preparatet Pistol i dosen 4,5 l/ha i ett försök på sträckan Kilafors-Söderhamn 2007, N = 3. Höger: efter besprutning med samma preparat i dosen 3,1 l/ha i ett försök på sträckan Värnamo-Vaggeryd 2014, N = 3.

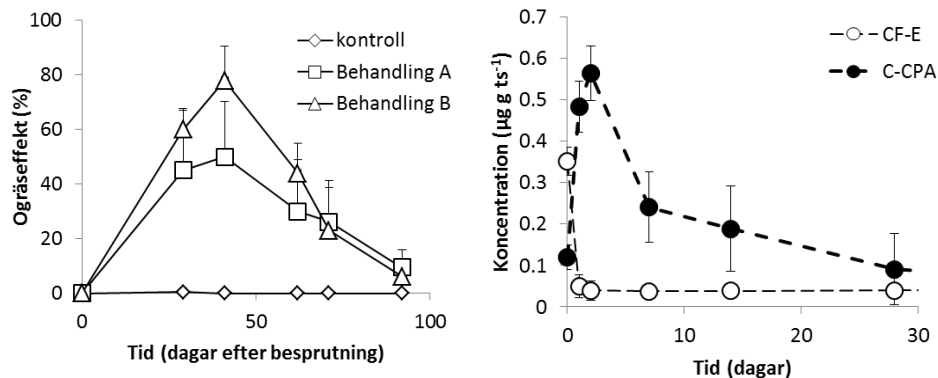
Försöken har visat att diflufenikanet har uppfört sig som förväntat i det att det har stannat i banvallens absoluta ytskikt (Figur 14), inte lakats ut till grundvattnet men inte heller brutits ned särskilt snabbt. Nedbrytningen har varit så långsam att halveringstiden inte gått att uppskatta i de senaste i fältstudierna. Utifrån studier med diflufenikaninnehållande preparat som utfördes innan 2006 uppskattas halveringstiden vara 265 ± 109 dagar. Däremot har den utlovade långsiktiga ogräseffekten som DFF skulle bidra med aldrig kunnat påvisas. Ofta har effekten av preparat innehållande DFF varit godtagbar men inte bättre än vad som kan förklaras av enbart glyfosatinnehållet i produkten. Erfarenheterna från effektivitetstesterna av preparat med DFF stämmer även överens med erfarenheter från tester på järnväg i Norge (Sjursen and Netland, 2013).

2.3.5 Karfentrazonetyl

Karfentrazonetyl är i likhet med glufosinat ett kontaktverkande bekämpningsmedel som tas upp via bladen. Preparatet är en PPO-hämmare (dvs. hämmar enzymet protoporfyrinogenoxidas) vilket medför att protoporfyrin IX ansamlas i växten. När protoporfyrin interagerar med solljus och syrgas bildas syreadikaler som bidrar till att slå sönder cellmembranen (Dayan et al., 1997). Preparatet är därför beroende av solljus för att fungera tillfredställande.

Effektiviteten hos preparaten Spotlight plus och Spotlight 24 EC som innehåller karfentrazonetyl testades i fältförsök under 2008-2010 både för sig själva och i blandningar med Roundup Bio. Resultaten från försöken har varit blandade där blandningar mellan karfentrazonetyl och glyfosat i vissa fall visat sig ge bättre effekt (Figur 15) än bara glyfosat men inte i andra fall vilket kan tänkas bero på skillnader i vädret. Karfentrazonetyl kan alltså vara en intressant blandningspartner

så länge vädret är soligt – vilket dock kan vara svårt att garantera. Då ogräskämpningen på järnvägens linje ofta sker på natten är det också av vikt att undersöka hur en nattlig besprutning skulle påverka effekten.



Figur 15. Vänster: jämförelse mellan ogräseffekter (visuellt bedömda) av en behandling med Roundup Bio i dosen 5 l/ha (Behandling A) med en blandning av Roundup Bio 3 l/ha + Spotlight 24 EC 0,25 l/ha (Behandling B). Data är sammanställt från två olika fältförsök utförda på Bohusbanan 2009, felstaplarna är standardavvikelser; N = 5. Höger: snabb nedbrytning av karfentrazonetyl (CF-E) i jordprover från två olika stället på Viskadalsbanan. Samtidigt som CF-E bryts ned bildas nedbrytningsprodukten karfentrazon-kloropropionsyra (C-CPA), felstaplarna är standardavvikelser; N = 4.

Nedbrytningen av karfentrazonetyl studerades i såväl en fältstudie som i en labstudie 2010. Hydrolysen av karfentrazonetyl till nedbrytningsprodukten karfentrazon-kloropropionsyra (C-CPA) gick snabbt både i fält och på lab med en uppskattad halveringstid på under 1 dag. Den vidare nedbrytningen av C-CPA, som ofta visar sig vara den huvudsakliga nedbrytningsprodukten (Elmarakby et al., 2001; Ngim and Crosby, 2001), var också relativt snabb. I fältstudien hade det mesta försvunnit efter 25 dagar och i labstudien uppmättes en halveringstid på 10 ± 3 dagar i jord från ett banavsnitt och på 19 ± 4 dagar i jord från ett annat (Figur 15). Vid nedbrytningen av karfentrazonetyl kan dock flera andra nedbrytningsprodukter bildas och dessa följdes inte i studien.

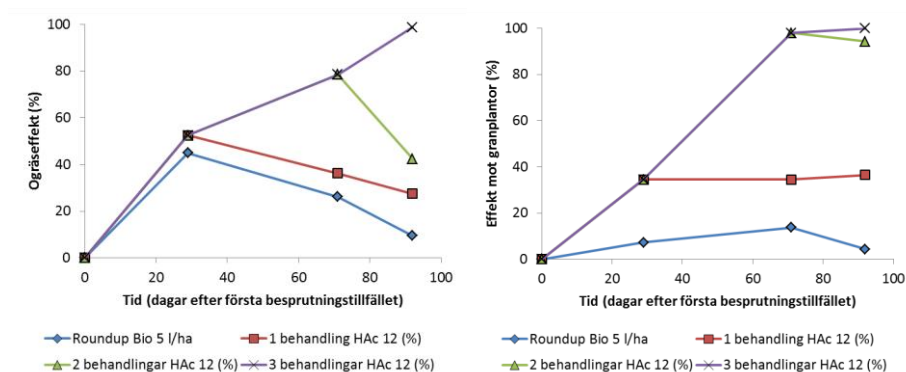
2.3.6 Flazasulfuron

Flazasulfuron är en bredverkande sulfonyleurea som tas upp via både växtens blad och rötter. Det är en så kallad ALS-hämmare (dvs. hämmar enzymet acetolaktatsyntas) vilket medför att aminosyrasyntesen störs i växten. Den testades i fältförsök under 2008, 2009 och 2013 under preparatnamnen Chikara WG/Chikara 25 WG. Blandningar med Roundup Bio i dosen 3 l/ha + Chikara i dosen 200 g/ha (motsvarande 50 g flazasulfuron/ha) har i två försök bedömts ha bättre och mer långvarig effekt än Roundup Bio i dosen 5 l/ha och i de två övriga försöken bedömts ha jämförbar effekt. Flazasulfuron skulle därmed kunna vara en intressant blandningspartner för ett glyfosatpreparat i framtiden. Än så länge har dock inte tillverkaren varit intresserad av att registrera preparatet i Sverige eller i den nordisk-baltiska zonen inom EU. Inga studier har heller genomförts av hur flazasulfuron bryts ned och rör sig i banvallen.

2.3.7 Ättiksyra

En kemikalie som ofta betraktas som mer miljövänlig än andra kemiska bekämpningsmedel är ogräsättika (dvs. ättiksyra). Ättiksyra verkar helt ospecifikt genom sin syraverkan mot både gräs och örter. Ättiksyran translokeras inte i växten vilket medför att rötterna ofta överlever en bekämpning med ättika. För att få ett långsiktigt effektivt resultat behöver bekämpningen därför återupprepas under säsongen för att trötta ut växten. Dosen behöver också vara hög jämfört med vanliga kemiska bekämpningsmedel för att ättikan ska vara tillräckligt effektivt (Hansson et al., 1994).

David Hansson på SLU i Alnarp har studerat ättikans ogräsverkan i flertalet försök och utförde under 2006-2007 på Banverkets uppdrag försök med ättika på en driftplats (Hansson and Schroeder, 2008). Då bedömningskriterierna skiljde sig åt mellan dessa studier och de som utvärderade de kemiska metoderna (på ett sätt som missgynnade ättiksyran) beslutades det att ett försök skulle utföras som direkt jämförde bekämpningen med ogräsättika och andra kemiska bekämpningsmedel. Försöket utfördes under 2009 tillsammans med David Hansson, på Bohusbanan, nära Dingle, och hade förutom att jämföra ättikan med den övriga kemiska bekämpningen fokus på att studera om ättikan hade effekter även mot barrträd. En bekämpning med 3000 l 12 % ättika/ha (Perstorps ogräsättika) bedömdes i försöket ha ungefär jämförbar effekt med en bekämpning med Roundup Bio 5 l/ha. Båda preparaten hade en måttlig effekt på kort sikt och dålig långtidsverkan. Om bekämpningen med ättika upprepades 1 eller 2 ggr under säsongen med ca en månads mellanrum var verkan god till mycket god även mot barrträd (Figur 16).



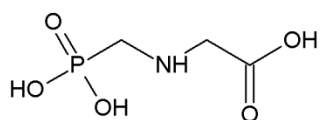
Figur 16. Jämförelse mellan ogräseffekten (visuellt bedömd, $N = 5$) av en behandling med Roundup Bio i dosen 5 l/ha och 1, 2 och 3 behandlingar med 12 % ättiksyra i dosen 3000 l/ha på en försökssträcka rikligt bevuxen med barrträd. Vänster: totala ogräseffekter. Höger: effekterna mot granplantor i spåret.

Den höga doseringen gör det dock svårt att använda ättika på annat än mycket små ytor på grund av att det är svårt att få med sig så stora vätskemängder. Befintlig sprututrustning hos Trafikverkets entreprenörer är heller inte anpassad för att sprida ättika. I en ogräsbekämpning med glyfosat-preparat ligger vätskemängden ofta runt 200 l/ha så användning av ättika kräver transport av och utrustning som klarar av att sprida en 15 ggr högre volym.

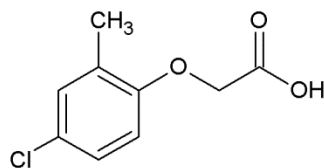


Figur 17. David Hansson gör ogräsbedömningar i en parcel som bekämpats 3 ggr med ättika under en sommar. Bohusbanan, 2009.

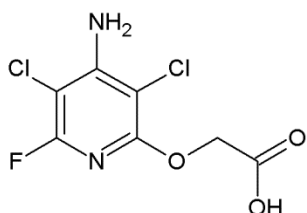
Ett annat problem är att ättiksyra verkar korroderande. Det finns därmed en risk att bekämpning med ättiksyra negativt kan påverka rälsinfästningar eller signalsystem på järnvägen. I ett tidigt stadium fattade man därför beslut om att ingen användning av ättika får förekomma på banor med betongslipers (då infästningarna på dessa bedömdes vara känsligare för påverkan). En studie av ättiksyrans korrosionspåverkan som genomfördes 2006 visade att korrosionshastigheten på kolstål ökar med ca 30-40 % efter besprutning med 12 % ättika (Sederholm, 2007). En studie genomfördes också av ättiksyrans påverkan på signalsystemen (Nilsson et al., 2006). I den studien fann man ingen påverkan på signalsystemen trots en hög dosering. Farhågor kring påverkan på anläggningen har dock kvarstått vilket gjort att man från Trafikverkets sida har fortsatt vara tveksam till att använda ättika.



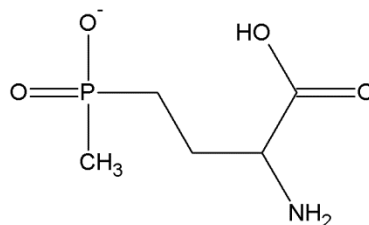
glyfosat



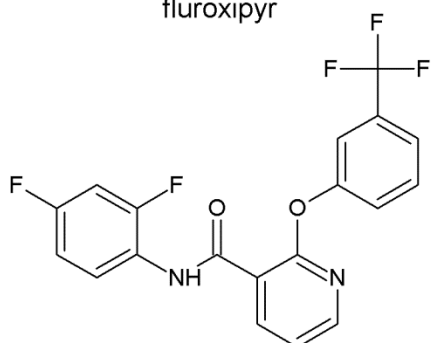
MCPA



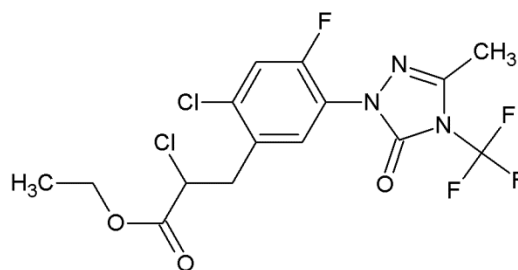
fluroxipyr



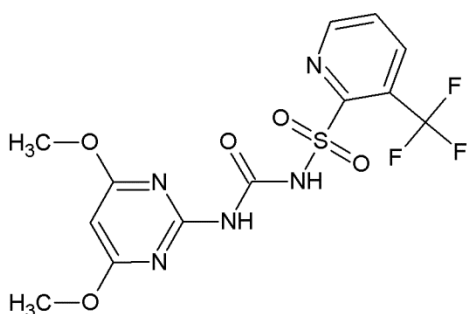
glufosinat



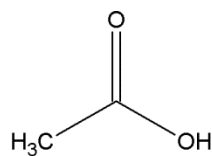
diflufenikan



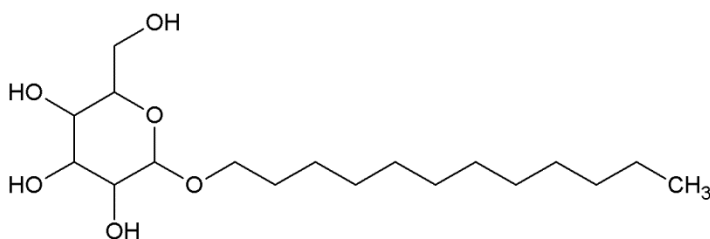
karfentrazonetyl



flazasulfuron



ättiksyra



alkylmonoglukosid (typisk)

Figur 18. Kemiska strukturer hos de bekämpningsmedel och substanser som har avhandlats i avsnitt 2.3.

2.3.8 Bekämpning med hetvattenscum

Termiska metoder (hetvatten, ångning, flaming etc.) dödar ogräs genom att hetta upp växten så att proteiner denaturerar och cellstrukturer förstörs. Samtliga dessa metoder är kontaktverkande och dödar bara växternas ovanjordsdelar vilket gör att behandlingen måste upprepas under flera gånger under en växtsäsong för att ge tillräckligt god effekt. Banverket har tidigare finansierat forskning kring hetvattenbekämpning på hårdgjorda ytor (Hansson, 2002) men metoden har inte bedömts vara tillräckligt effektiv eller mogen för att komma till användning. Behovet av alternativa metoder som skulle kunna användas på restriktionsytor är dock stort. Hetvattenbekämpning med skum är en vidareutveckling av en bekämpning med bara hetvatten, där skummets funktion är att isolera växten från den omkringliggande luften så att temperaturen hålls uppe lite längre. Detta i sin tur ska ge en större energiöverföring och bättre effekt. Ogräsbekämpning med hetvattenscum utvärderades i fältförsök under 2014 och 2015 på bangårdar i Kristianstad respektive Värnamo. Utvärderingen av försöket i Kristianstad har publicerats i en egen rapport (Cederlund, 2015b) och en sammanfattande avrapportering av erfarenheterna från försöken är planerad efter en kompletterande avläsning av försöket i Värnamo under sommaren 2016.



Figur 19. Spridning av hetvattenscum i ett fältförsök på Värnamo bangård, 2015.

Bedömningen är att ogräsbekämpning med hetvattenscum kan fungera väl i järnvägs miljön och ge relativt god effekt förutsatt att behandlingen upprepas med ett mellanrum av ca en månad. Vattenförbrukningen är dock mycket hög (uppskattas vara ca 15-17 000 l/ha), arbetstempot lågt och i dagsläget finns ingen spårgående utrustning vilket begränsar hur metoden skulle kunna användas. Bekämpning med hetvattenscum skulle dock mycket väl kunna vara ett alternativ för mindre driftplatser med stort behov av ogräsbekämpning och där användning av kemiska preparat är otillåten.

En farhåga som lyftes fram av Trafikverket var att appliceringen av skummet skulle kunna påverka utlakningen av föroreningar som finns i banvallen. Denna

frågeställning specialstuderades i labstudier som genomfördes under 2015. Skummet består av alkylpolyglukosider som har förmågan att bilda miceller och därmed öka organiska ämnens vattenlöslighet. Bedömningen är dock att med den koncentration som används vid ogräsbekämpningen är påverkan på organiska föroreningars rörlighet inte signifikant. Resultaten från dessa studier har sammanfattats i en vetenskaplig artikel (Cederlund and Börjesson, 2016).

Tabell 3. Sammanfattande bedömningar av de substanser och metoder som avhandlats i avsnitt 2.3.

Bekämpningsmedel (verkningsmekanism)	Ogräsverkan	Nedbrytnings- hastighet	Rörlighet
Glyfosat (EPSPS-hämmare)	Generellt bredverkande (men ingen effekt mot vissa ogräs). God-måttlig effekt. Dålig långtidsverkan.	Måttlig	Låg
MCPA (Syntetisk auxin)	Ger förbättrad ogräsverkan i blandning med glyfosat.	Snabb till måttlig. Går snabbare vid upprepad behandling.	Mycket rörlig
Fluroxypyr (Syntetisk auxin)	Ger förbättrad ogräsverkan i blandning med glyfosat.	Måttlig	Rörlig
Glufosinat (Glutaminsyntes-hämmare)	Bredverkande, verkar även mot barrträd. Växter kan dock återhämta sig snabbt.	Snabb	Oklart – förmodligen inte så rörlig
Diflufenikan (Hämmar karotenoider och fettsyrsyntes)	Otillräcklig	Mycket långsam	Mycket låg
Karfentrazonetyl (PPO-hämmare)	Ger förbättrad ogräsverkan i blandning med glyfosat om vädret är soligt.	Snabb – alla nedbrytningsprodukter har dock inte studerats	Inte studerad
Flazasulfuron (ALS-hämmare)	Ger förbättrad ogräsverkan i blandning med glyfosat.	Inte studerad	Inte studerad
Ättika (Frätande ospecifik verkan)	Upprepad behandling ger god effekt – även mot barrträd. Hög dos krävs.	Förmodat snabb	Inte studerad
Hetvattenskum (Värmeenergin förstör cellmembran och denaturerar proteiner)	Ganska god med upprepade behandling. 1 behandling otillräcklig.	Förmodat mycket snabb (alkylpolyglukosiderna i skummet)	Inte studerad Påverkar inte rörlighet av andra miljöföroreningar i de doser som används.

3 Slutsatser och rekommendationer för framtiden

Det faktum att glyfosat har använts som enda ogräsbekämpningsmedel under så lång tid på svenska järnvägar medför att behovet av att introducera substanser med andra verkningsmekanismer för att motverka resistensutvecklingen är stort och bara kommer att öka ytterligare över tid. Det har dock visat sig vara svårt att hitta bekämpningsmedel som, själva eller i blandning med glyfosat, ger en bredare och/eller mer långtidsverkande ogräseffekt och dessutom uppfyller de miljökrav som ställs på en produkt som ska användas för ogräsbekämpning på svensk järnväg. Många bekämpningsmedel som testats har helt enkelt för dålig effekt mot ogräsen, andra har visat sig vara för utlakningskänsliga (MCPA, fluroxipyr) och vissa har blivit avregistrerade (glufosinat) eller ännu inte blivit registrerade i Sverige (flazasulfuron). Av de substanser som studerats under 10-årsperioden är det närmast karfentrazonetyl eller flazasulfuron som skulle kunna bli aktuella som blandningspartner. Båda substanserna kan ge en acceptabel ogräseffekt i blandning med glyfosat men kunskapen om deras nedbrytning och utlakning är ännu ofullständig.

Att Trafikverket använder just glyfosat för ogräsbekämpningen kan sägas vara problematiskt även ur andra synvinklar. Glyfosat är tveklöst världens mest använda ogräsbekämpningsmedel, ett av världens mest vetenskapligt välstuderade bekämpningsmedel, men också ett bekämpningsmedel som av olika anledningar är politiskt omstritt. Under 2015 utvärderade WHO-organet International Agency for Research on Cancer (IARC) glyfosat och placerade glyfosat i grupp 2A "probably carcinogenic to humans" vilket fick stort genomslag. I den utvärdering som utfördes av Bundesamt für Risikobewertung (BfR) och European Food Safety Authority (EFSA) i samband med processen att omregistrera glyfosat inom EU blev slutsatsen dock att: "...glyphosate is unlikely to pose a carcinogenic hazard to humans...". IARC har ingen formell roll i EU:s utvärderingsprocess, men de motstridiga slutsatserna från expertorganen har trots det bidragit till att fördröja omregistreringen av glyfosat inom EU och har skapat osäkerhet rörande glyfosatets framtid i Europa. För närvarande har glyfosatet fått ett tillfälligt godkännande i EU i avvaktan på att den Europeiska kemikaliemyndigheten (Echa) ska fatta beslut om klassificering och märkning av glyfosatprodukter utifrån glyfosatets inneboende egenskaper. Några fullvärdiga alternativ som helt skulle kunna ersätta glyfosat finns dock inte idag.

Utöver behovet av introducera kemiska bekämpningsmedel finns ett behov av att hitta alternativa metoder för att hantera de ytor (restriktionsytor) där kemisk bekämpning av olika anledningar inte kan användas. Studier genomförda under 2014 och 2015 visar att hetvattenbekämpning med tillsats av skum skulle kunna vara ett alternativ för åtminstone en mindre del av dessa ytor. Den höga vattenförbrukningen, låga arbetstempot, högre kostnaden och begränsade kapaciteten som finns för att utföra denna typ av bekämpning idag är dock begränsande. I stadsmiljöer skulle

förebyggande vegetationsskikt (*gröna spår*) kunna vara en tilltalande lösning som dock också medför en anläggningskostnad och kräver en annan typ av skötsel.

Ett problem som uppmärksammas i den här rapporten är att kunskapen om hur ogräsfloras sammansättning och utbredning utvecklas över tid på svenska järnvägar är ofullständig. Det gör det svårt att uttala sig säkert om de metoder som man använder sig av för ogräsbekämpningen är effektiva, om problem med resistent ogräs ökar, om invasiva arter rör sig utmed järnvägsnätet etc. En mer metodisk och regelbunden mätning av ogräsförekomsten skulle kunna ge bättre information om effektiviteten och också hjälpa till med planeringen av bekämpningsåtgärder. En rekommendation är därför också att Trafikverket borde inrätta ett *ogräskontrollprogram* där såväl yttäckningen som artsammansättningen hos ogräsfloran följs över tid på ett antal geografiskt spridda platser som omfattar såväl bekämpade banavsnitt som restriktionsytor. Att mer systematiskt följa hur ogräsfloran utvecklar sig över tid och hur väl ogräsbekämpningen fungerar skulle också hjälpa Trafikverket att bättre efterleva principerna om integrerat växtskydd.

Utvärderingen och anpassningen av metoder för ogräsbekämpning på järnväg är ett långsiktigt arbete som kräver en viss uthållighet för att krönas av framgång. Då Banverket och senare Trafikverket under den senaste 10-årsperioden har utsatts för ständiga omorganisationer, byten av ansvariga och entreprenörer, känns det dock ibland som att det är SLU och förstas själva ogräsen som fått stå för kontinuiteten. En annan rekommendation är därför att Trafikverket borde ta fram ett strategidokument där man utvecklar sin syn på ogräsbekämpning och hur man långsiktigt vill utveckla sättet den bedrivs på. Genom att diskutera igenom och tydliggöra sin målbild blir det också enklare att identifiera vilken kunskap som krävs och var forskningsinsatser behöver sättas in för att nå fram.

Referenser

- Almvik, M., Bolli, R.I., Lode, O., Eklo, O.M., 2008. Undersøkelser av utlekking av herbicidet glufosinat-ammonium på Gardermobanen. Ås.
- Amrhein, N., Schab, J., Steinrücken, H.C., 1980. The mode of action of the herbicide glyphosate. *Naturwissenschaften* 67, 356–357.
- Axelsson, O., Rehn, M., Sundell, L., 1974. Exposure to herbicides - mortality and tumour incidence. An epidemiological investigation of Swedish railroad workers. *Lakartidningen* 71, 2466–2470.
- Axelsson, O., Sundell, L., Andersson, K., Edling, C., Högstedt, C., Kling, H., 1980. Herbicide exposure and tumour mortality. An updated epidemiologic investigation on Swedish railroad workers. *Scand. J. Work. Environ. Heal.* 6, 73–79.
- Beinhauer, H., 1962. Försök med bekämpning av buskar och ogräs längs vägar och banvallar.
- Bergström, L., Börjesson, E., Stenström, J., 2010. Laboratory and lysimeter studies of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a sand and a clay soil. *J. Environ. Qual.* 40, 98–108.
- Cederlund, H., 2006. The microbiology of railway tracks : towards a rational use of herbicides on Swedish railways (Thesis). Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Cederlund, H., 2015a. Riskkaraktisering av oavsiktlig spridning av glyfosat vid ogräsbekämpning på järnväg. Uppsala.
- Cederlund, H., 2015b. Ogräsbekämpning med hetvattenskum - resultat från en fältstudie på en av järnvägens driftplatser. Uppsala.
- Cederlund, H., Börjesson, E., 2016. Hot foam for weed control - do alkyl polyglucoside surfactants used as foaming agents affect the mobility of organic contaminants in soil? *J. Hazard. Mater.* 314, 312–317.
- Cederlund, H., Börjesson, E., Jonsson, E., Thierfelder, T., 2012. Degradation and leaching of fluroxypyr after application to railway tracks. *J. Environ. Qual.* 41, 1884–1892.
- Cederlund, H., Börjesson, E., Öneby, K., Stenström, J., 2007. Metabolic and cometabolic degradation of herbicides in the fine material of railway ballast. *Soil Biol. Biochem.* 39, 473–484.
- Cederlund, H., Fogelberg, F., Hansson, D., Nyberg, R., Schroeder, H., 2014. Utveckling av metod för att bedöma behovet av ogräsbekämpning i spår. Alnarp.
- Cederlund, H., Stenström, J., 2004. Microbial biomass and activity on railway track and embankments. *Pest Manag. Sci.* 60, 550–555.
- Cederlund, H., Thierfelder, T., Stenström, J., 2008. Functional microbial

- diversity of the railway track bed. *Sci. Total Environ.* 397, 205–214.
- Dayan, F.E., Duke, S.O., Weete, J.D., Hancock, H.G., 1997. Selectivity and mode of action of carfentrazone-ethyl, a novel phenyl triazolinone herbicide. *Pestic. Sci.* 51, 65–73.
- Direktiv 2009/128/EG, 2009. Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/128/EG av den 21 oktober 2009 om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder för att uppnå en hållbar användning av bekämpningsmedel.
- Elmarakby, S.A., Supplee, D., Cook, R., 2001. Degradation of [14C]Carfentrazone-ethyl under aerobic aquatic conditions. *J. Agric. Food Chem.* 49, 5285–5293.
- Eriksson, A.-M., Hansson, D., Huisman, M., Lundh, J.-E., 2004. Metoder för vegetationsbekämpning på banvallar - en summering av resultat från UICs Vegetation Control Project och erfarenheter från Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik.
- FOOTPRINT, 2008. The FOOTPRINT Pesticide Properties Database. Database collated by the University of Hertfordshire as part of the EU-funded FOOTPRINT project (FP6-SSP-022704).
- Grüngleis Netzwerk, 2014. Handbuch - Gleisbegrünung. Eurailpress, Rossdorf.
- Hansson, D., 2002. Hot water weed control on hard surface areas.
- Hansson, D., Ljungberg, S., Svensson, S.-E., 1994. Ättika som ogräsbekämpningsmedel på hårdgjorda ytor - förstudie angående konsekvenser för miljö, arbetsmiljö och omgivande vegetation. Alnarp.
- Hansson, D., Schroeder, H., 2008. Ogräsbekämpning med ättiksyra på banvallar med eftersatt ogräsbekämpning - Lägesrapport från försök i Vetlanda 2006 (FoU-projekt S01-3087/AL50). Alnarp.
- Holzhüter, G., Narayan, K., Gerber, T., 2003. Structure of silica in *Equisetum arvense*. *Anal. Bioanal. Chem.* 376, 512–517.
- Jarvis, N.J., Almqvist, S., Stenström, J., Börjesson, E., Jonsson, E., Torstensson, L., 2006. Modelling the leaching of imazapyr in a railway embankment. *Pest Manag. Sci.* 62, 940–946.
- Jonsson, E., 2011. Miljökontrollprogram för kemiska bekämpningsmedel - Slutrapport. Uppsala.
- Jordbruksverket, 2014. Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd om integrerat växtskydd SJVFS 2014:42.
- Landsbyggsdepartementet, 2013. Nationell handlingsplan för hållbar användning av växtskyddsmedel för perioden 2013-2017.
- László, A., 2014. Bericht - Über die Untersuchung der Umweltschutz- und Abdriftangaben einer Spritzanlage für chemische Vegetationskontrolle

- auf Gleisgebiet. Opublicerad rapport.
- Lindmark, U., 1991. Banvakts, banförmans- och banmästarminnen. Banverket, Borlänge.
- Müller, C., 2001. Vegetation control on railway tracks and grounds.
- Ngim, K.K., Crosby, D.G., 2001. Fate and kinetics of carfentrazone-ethyl herbicide in California, USA, flooded rice fields. *Environ. Toxicol. Chem.* 20, 485–490.
- Nilsson, J., Hansson, D., Schroeder, H., 2006. Ogräsättikas påverkan på järnvägens signalsystem (Report). Alnarp.
- Nyberg, R.G., Yella, S., Gupta, N.K., Dougherty, M., 2015. Inter-rater reliability in determining the types of vegetation on railway trackbeds, in: *Web Information Systems Engineering, WISE. Springer Lecture Notes in Computer Science*, Miami, Florida, pp. 379–390.
- Powles, S.B., 2008. Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Manag. Sci.* 64, 360–365.
- Sammons, R.D., Gaines, T.A., 2014. Glyphosate resistance: state of knowledge. *Pest Manag. Sci.* 70, 1367–1377.
- Schmidt, B., Siegesmund, B., Ehes, H., Zietz, E., Mersch, H., 1999. Risk of groundwater pollution from weed control on railway tracks, in: Del-Re, A.A.M., Brown, C., Capri, E., Trevisan, M. (Eds.), *La Goliardica Pavese s.r.l.; Pavia; Italy, Cremona, Italy*, pp. 591–597.
- Schoenenberger, N., D'Andrea, L., 2012. Surveying the occurrence of spontaneous glyphosate-tolerant genetically engineered *Brassica napus* L. (*Brassicaceae*) along Swiss railways. *Environ. Sci. Eur.* 24, 23.
- Sederholm, B., 2007. Korrosionshastigheten hos låglegerat kolstål efter besprutning med olika ogräsbekämpningsmedel (Report). Korrosions- och Metallforskningsinstitutet AB (KIMAB), Stockholm.
- Sjursen, H., Netland, J., 2013. Evaluering av Pistol - Oppdrag for Jernbaneverket 2013.
- Skoog, J., 1999. Opublicerad rapport sammanställd av Hanna Asplund på Banverkets miljösektion för Jan Skoogs räkning, baserad delvis på uppgifter från SJ:s och Banverkets arkiv. (Unpublished Work). Banverket.
- Torstensson, L., 1983. Undersökning av diurons rörlighet och nedbrytning i banvallar.
- Torstensson, L., 1985. Kompletterande undersökningar av diurons rörlighet och nedbrytning i banvallar.
- Torstensson, L., 2001. Use of herbicides on railway tracks in Sweden. *Pestic. Outlook* 12, 16–21.

- Torstensson, L., 2007. Samarbetet mellan banverket och Sveriges Lantbruksuniversitet rörande ogräsbekämpning på banvallar 1985-2005.
- Torstensson, L., Börjesson, E., 2004. Use of imazapyr against *Equisetum arvense* on Swedish railway tracks. *Pest Manag. Sci.* 60, 565–569.
- Torstensson, L., Börjesson, E., Stenström, J., 2005. Efficacy and fate of glyphosate on Swedish railway embankments. *Pest Manag. Sci.* 61, 881–886.
- Trafikverket, 2015a. Tjällossning på järnvägen [WWW Document]. Trafikverkets hemsida. URL <http://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/banarbeten/arstidsrelaterat-underhall/tjallossning-pa-jarnvagen/> (accessed 3.16.15).
- Trafikverket, 2015b. TDOK 2010:310 Kemiska produkter - granskningskriterier och krav för Trafikverket.
- Trafikverket, 2016. TDOK 2013:0621 version 2.0 Hantering av restriktionsytor vid kemisk ogräsbekämpning på järnväg.
- Wygoda, H.-J., Rautmann, D., Ganzelmeier, H., Zwerger, P., Gebauer, S., 2006. Ergebnisse aus Abdriftmessungen mit einem Spritzzug. *Nachrichtenblatt des Dtsch. Pflanzenschutzdienstes* 58, 323–326.
- Önneby, K., 2013. Bioaugmentation for Reduction of Diffuse Pesticide Contamination - A Bioprophylactic Concept. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Önneby, K., Håkansson, S., Pizzul, L., Stenström, J., 2014. Reduced leaching of the herbicide MCPA after bioaugmentation with a formulated and stored *Sphingobium* sp. *Biodegradation* 25, 291–300.
- Önneby, K., Jonsson, A., Stenström, J., 2010. A new concept for reduction of diffuse contamination by simultaneous application of pesticide-degrading microorganisms. *Biodegradation* 21, 21–29.

Bilaga 1 Översikt över utförda fältförsök

År	Linje	Spårkm.	Testade preparat	Dos(er)	Aktiv(a) substans(er)
2006	Borås-Varberg	200+800-200+900	Roundup Bio + MCPA 750	3 l/ha + 1,5 l/ha	glyfosat + MCPA
		201+000-202+000	Roundup Bio + MCPA 750	3 l/ha + 1,5 l/ha (upprepat 1-4 år)	glyfosat + MCPA
		213+000-215+000	Roundup Bio + MCPA 750	3 l/ha + 1,5 l/ha	glyfosat + MCPA
			Värna ogräsmedel	37,5 l/ha	pelargonsyra
			Pistol	4,5 l/ha	glyfosat + diflufenikan
			Roundup Bio + Logo	3 l/ha + 150 g/ha	glyfosat + foramsulfuron + jodosulfuron
			Logo	150 g/ha	foramsulfuron + jodosulfuron
2006	Åtvidaberg-Västervik	055+560-057+000	Roundup Bio + MCPA 750	3 l/ha + 1 l/ha; 3 l/ha + 1,5 l/ha (upprepat 1-2 år)	glyfosat + MCPA
	Åtvidaberg-Västervik	063-700+064+300	Roundup Bio + MCPA 750	3 l/ha + 1,5 l/ha	glyfosat + MCPA
2006	Forsmo-Hoting	055+400-056-150	Roundup Bio + Basta	3 l/ha + 3 l/ha	glyfosat + glufosinatammonium
2007	Borås-Varberg	213+000-215+000	Stomp	4,5 l/ha	pendimetalin
			Stomp + Roundup Bio	2,5 l/ha + 3 l/ha	pendimetalin + glyfosat
			Roundup Bio	5 l/ha	glyfosat
			Pistol	4,5 l/ha	glyfosat + diflufenikan
			Pistol + Checkker	4,5 l/ha + 240 g/ha	glyfosat + diflufenikan + amidosulfuron + jodsulfuronmetyl
			Checkker	240 g/ha	amidosulfuron + jodsulfuronmetyl

			MCPA 750 ± Spingomonas sp.	1,5 l/ha	MCPA + MCPA-nedbrytande bakterie
2007	Kilafors-Söderhamn		Pistol	4,5 l/ha	glyfosat + diflufenikan
2007	Forsmo-Hoting	055+400-056+150	Basta* OBS - fel preparat utlagt!	3 l/ha* (men i verkligheten ca 1,2 l Roundup Bio/ha)	glufosinatammonium
2008	Borås-Varberg	205+900-206+500 och 212+600-213+200	Roundup Bio	5 l/ha	glyfosat
			Roundup Bio + Tomahawk 180 EC3	l/ha + 2 l/ha	glyfosat + fluroxypyr
			Spotlight Plus	937,5 g/ha	karfentrazonetyl
			Roundup Bio + Spotlight Plus	3 l/ha + 937,5 g/ha	glyfosat + karfentrazonetyl
			Roundup Bio + Titus WSB	3 l/ha + 200 g/ha	glyfosat + rimsulfuron
			Tomahawk 180 EC + Spotlight Plus	2 l/ha + 937,5 g/ha	fluroxypyr + karfentrazonetyl
			Tomahawk 180 EC + Titus WSB	2 l/ha + 200 g/ha	fluroxypyr + rimsulfuron
			Roundup Bio + Chikara WG	3 l/ha + 200 g/ha	fluroxypyr + flazasulfuron
2008	Kilafors-Söderhamn	329+320-330+320	Roundup Bio	5 l/ha	glyfosat
			Roundup Bio + Tomahawk 180 EC3	l/ha + 2 l/ha	glyfosat + fluroxypyr
			Tomahawk 180 EC	2, 3, 4, och 5 l/ha	fluroxypyr
			Basta	3 och 5 l/ha	glufosinatammonium
2008	Forsmo-Hoting	055+400-056+150	Roundup Bio + Tomahawk 180 EC3	l/ha + 2 l/ha	glyfosat + fluroxypyr
2009	Uddevalla-Strömstad	120+000-121+000	Roundup Bio ± sargning	5 l/ha	glyfosat
			Perstorps ogräsättika	3000 l/ha (12 %) (1, 2 eller 3 upprepningar)	ättiksyra
			Roundup Bio + Chikara WG	3 l/ha + 200 g/ha	glyfosat + flazasulfuron
			Roundup Bio + Spotlight 24 EC	3 l/ha + 0,25 l/ha	glyfosat + karfentrazonetyl
2009	Uddevalla-Strömstad	155+920-156+800	Roundup Bio	5 l/ha	glyfosat

			Chikara WG	200 g/ha	flazasulfuron
			Spotlight 24 EC	0,25 l/ha; 0,5 l/ha	karfentrazonetyl
			Roundup Bio + Chikara WG	3 l/ha + 200 g/ha	glyfosat + flazasulfuron
			Roundup Bio + Spotlight 24 EC	3 l/ha + 0,25 l/ha; 3 l/ha + 0,5 l/ha	glyfosat + karfentrazonetyl
2010	Borås-Varberg	200+500-201+600	Glyfonova Bio	3 l/ha; 5 l/ha	glyfosat
			Roundup Bio	5 l/ha	glyfosat
			Callisto	1,5 l/ha	mesotrion
			Boxer	4 l/ha	prosulfokarb
			Glyfonova Bio + Callisto	3 l/ha + 1,5 l/ha	glyfosat + mesotrion
			Glyfonova Bio + Boxer	3 l/ha + 4 l/ha	glyfosat + prosulfokarb
			Glyfonova Bio + Fox 480 SC	3 l/ha + 1 l/ha	glyfosat + bifenox
2010	Borås-Varberg	184+750-185+500	Glyfonova Bio	3 l/ha; 5 l/ha	glyfosat
			Spotlight 24 EC	0,25 l/ha; 0,5 l/ha; 0,75 l/ha	karfentrazonetyl
			Glyfonova Bio + Spotlight 24 EC	3 l/ha + 0,25 l/ha, 0,5 l/ha eller 0,75 l/ha	glyfosat + karfentrazonetyl
2012	Hanaskog-Karpalund	30+750-31+500	Roundup Bio	5 l/ha	glyfosat
			Broadway	110 g/ha; 220 g/ha	pyroxsulam + florasulam
			Roundup Bio + Broadway	3 l/ha + 110 g/ha eller 220 g/ha	glyfosat + pyroxsulam + florasulam
			Thunderbolt	3, 4 och 5 l/ha	glyfosat + pyraflufenetyl
2013	Vetlanda-Kvillsfors	35+900-36+400	Roundup Bio	3, 4 och 5 l/ha	glyfosat
			Chikara 25 WG	200 g/ha	flazasulfuron
			Roundup Bio + Chikara WG	3 l/ha + 200 g/ha	glyfosat + flazasulfuron
2014	Värnamo-Vaggeryd	84+250-85+950	Roundup Bio ± vätmedel	5 l/ha	glyfosat
			Pistol	3.1 l/ha	glyfosat + diflufenikan

		Ronstar Expert	0,33 kg/ha	diflufenikan
		Pistol + Roundup Bio	3.1 l/ha + 3 eller 4 l/ha	glyfosat + diflufenikan + glyfosat
		Ronstar Expert + Roundup Bio	0,33 kg/ha + 4 l/ha	diflufenikan + glyfosat
2014	Kristianstads bangård	NCC Spuma	ca 15 - 17 000 l vatten/ha; ca 30-50 kg alkylnpolyglukosider/ha	hetvatten + alkylnpolyglukosider
2015	Värnamo godsbangård	NCC Spuma	ca 15 - 17 000 l vatten/ha; ca 30-50 kg alkylnpolyglukosider/ha	hetvatten + alkylnpolyglukosider