



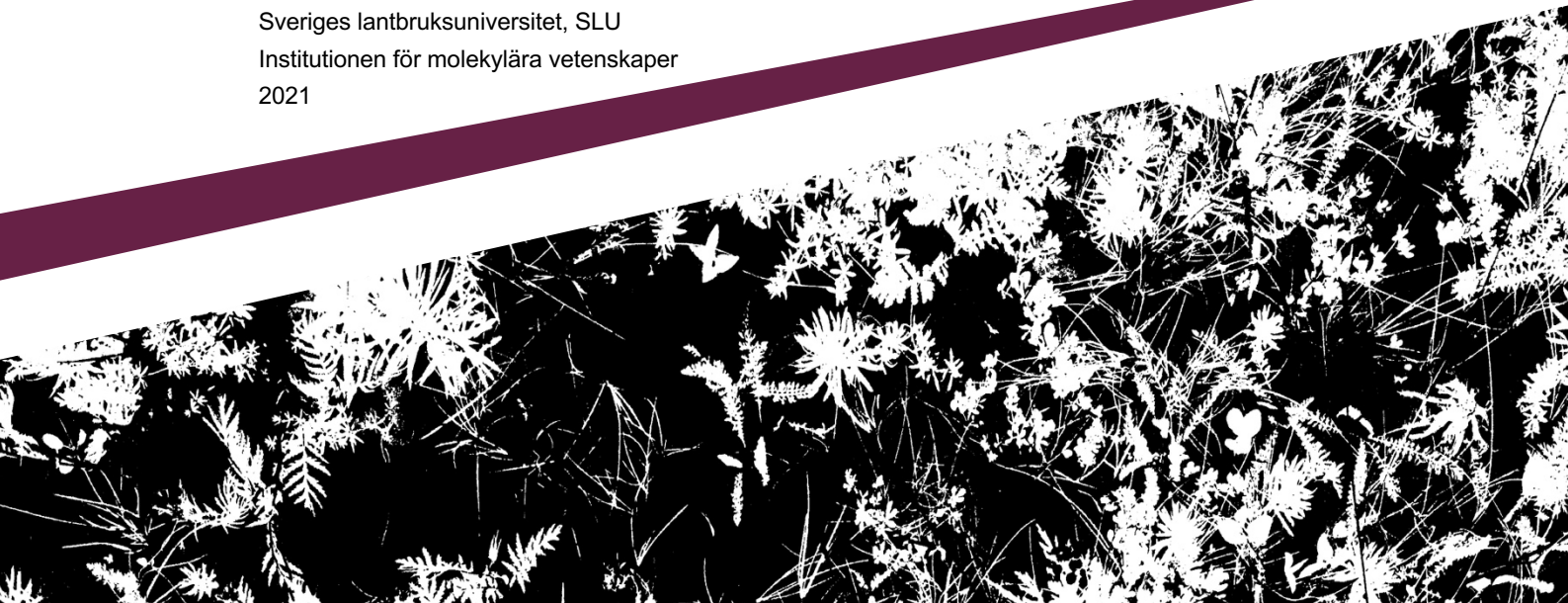
Koll på miljökontrollen

– en sammanställning av resultaten från det nationella miljökontrollprogrammet för kemisk ogräsbekämpning på järnväg 2006–2019

Evaluating the environmental control program – a summary of the results from the national environmental control program for chemical weed control on railways 2006-2019

Harald Cederlund

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för molekylära vetenskaper
2021



Koll på miljökontrollen – en sammanställning av resultaten från det nationella miljökontrollprogrammet för kemisk ogräsbekämpning på järnväg 2006–2019

Controlling the environmental control – a summary of the results from the national environmental control program for chemical weed control on railways 2006-2019

Harald Cederlund Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för molekylära vetenskaper

Utgivare: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionens för molekylära vetenskaper
Utgivningsår: **2021**
Utgivningsort: **Uppsala**
Illustration: Harald Cederlund
ISBN: 978-91-576-9821-6
Nyckelord: **miljöanalys, järnväg, ogräsbekämpning, glyfosat, AMPA, grundvatten**

Sammanfattning

Den här rapporten sammanställer resultaten från de miljökontrollprogram för kemisk ogräsbekämpning på järnväg som har bedrivits på uppdrag av Banverket och Trafikverket mellan åren 2006–2010 (period 1) och 2015–2019 (period 2). Inom ramen för miljökontrollprogrammen har koncentrationen av glyfosat och dess nedbrytningsprodukt AMPA analyserats i grundvatten från provtagningsrör installerade i eller vid sidan av järnvägen och under period 2 även halten glyfosat och AMPA i jordprover som tagits i närheten av rören. Totalt har strax över 600 grundvattenprover analyserats från 12 olika provplatser utspridda över landet och 645 jordprover från fem av dessa provplatser.

Glyfosat och AMPA detekterades i 16% respektive 14% av de grundvattenprover som tagits från provtagningsrör som installerats i själva spårområdet. De högsta koncentrationerna som uppmätts i några enskilda prover var 7 µg glyfosat/l respektive 1,1 µg AMPA/l i grundvatten direkt under spåret. Dessa värden är dock knappast representativa för hela datasetet vilket illustreras av att de 95:e percentilerna för grundvatten under spåret var 0,15 µg glyfosat/l och 0,037 µg AMPA/l. Spridningen till omgivningen tycks också vara relativt begränsad, glyfosat och AMPA detekterades bara i 1–3% av proverna som tagits i grundvattenrör utanför spårområdet. 2018 avviker som ett år med ovanligt förhöjda koncentrationer detekterade i grundvattnet under flera av provplatserna vilket förmodligen hänger samman med den ovanligt torra sommaren det året. Halterna i jordprover från tre av provplatserna var väldigt låga vilket indikerar att de endast har bekämpats i begränsad utsträckning (period 2) medan halterna för de två övriga platserna är rimliga utifrån den använda dosen och en förväntad halveringstid på 4 ± 2 månader. Rapporten diskuterar hur resultaten ska tolkas, hur miljökontrollprogrammet har bedrivits och hur det kan utvecklas framöver.

Nyckelord: miljöanalys, järnväg, ogräsbekämpning, glyfosat, AMPA, grundvatten

Abstract

This report summarizes results from the environmental monitoring programs for chemical weed control on railways that have been conducted by order from the Swedish Rail Administration (Banverket) and then the Swedish Transport Administration (Trafikverket) between 2006–2010 (period 1) and 2015–2019 (period 2). Within the monitoring program, groundwater samples from directly beneath the railway or from its vicinity were regularly analyzed for its content of glyphosate and its degradation product AMPA. In addition, during the second period, soil samples taken near the groundwater sampling tubes were also analyzed for glyphosate and AMPA. In total, just over 600 groundwater samples from 12 different monitoring sites have been analyzed and 645 soil samples from 5 of these sites.

Glyphosate and AMPA were detected in 16% and 14% of groundwater samples taken from directly beneath the track, respectively. The highest concentrations detected in single samples were 7 µg glyphosate/l and 1.1 µg AMPA/l. However, these concentrations were not very representative for the whole dataset, as illustrated by the fact that the 95% percentiles for groundwater from beneath the track were 0.15 µg glyphosate/l and 0.037 µg AMPA/l. Further horizontal spread in the groundwater zone appears to be limited as glyphosate and AMPA were only detected in 1–3% of the groundwater samples taken from outside the track area itself. The year 2018 was a year with unusually high concentrations detected in groundwater from beneath 3 out of the 5 then active test sites. This can probably be attributed to the unusually dry summer in Sweden that year. The contents of glyphosate and AMPA in soil samples from three of the test sites (period 2) were very low, indicating that they have probably only been sprayed to a limited degree, whereas the contents from two of the test sites were reasonable based on the used dose and a predicted half-life of about 4 ± 2 months. The report discusses the interpretation of the results, how the monitoring has been conducted and how the monitoring programs may develop in the future.

Keywords: environmental monitoring, railway, weed control, glyphosate, AMPA, groundwater

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	8
1.1. Miljökontrollprogrammets framväxt och evolution.....	8
1.1.1. Utformningen av miljökontrollprogrammet 2006–2010	11
1.1.2. Utformningen av miljökontrollprogrammet 2016–2019	12
1.1.3. Utformningen av miljökontrollprogrammet från och med 2020.....	14
1.1.4. Kemisk ogräsbekämpning på järnvägen 2006–2010 och 2015–2020.....	15
2. Metod.....	16
2.1. Sammanställning av data/beräkningar	16
3. Resultat och diskussion.....	17
3.1. Uppmätta koncentrationer av glyfosat och AMPA i grundvattnet.....	17
3.1.1. Hur snabbt når glyfosat och AMPA grundvattnet?.....	20
3.1.2. Vad förorsakade den ovanligt stora utlakningen under 2018?	20
3.1.3. Varför ser vi en begränsad horisontell transport?.....	21
3.2. Uppmätta halter glyfosat och AMPA i banvallen	23
3.2.1. Är de uppmätta halterna i banvallen rimliga?	25
3.3. Hur förhåller sig resultaten till lagstiftningens krav?	27
3.4. Utformningen av miljökontrollprogrammet idag och i framtiden	29
3.4.1. Bekämpningen av platserna i miljökontrollprogrammet.....	29
3.4.2. Provplatser, grundvattenrör och provtagning.....	31
3.5. Slutsatser.....	32
Referenser	33

1. Inledning

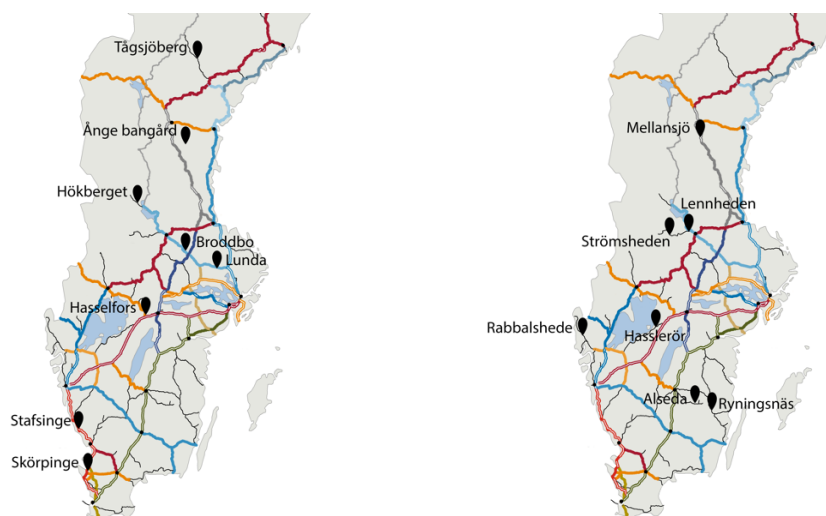
1.1. Miljökontrollprogrammets framväxt och evolution

Förslaget att inrätta ett miljökontrollprogram för den kemiska ogräsbekämpningen framfördes ursprungligen av Prof. Lennart Torstensson, som var ansvarig för Banverkets testprogram för kemiska bekämpningsmedel fram till och med år 2005. Han påpekade att det fanns ett behov av att långsiktigt följa upp sådana preparat som kommit till praktisk användning, både genom att utvärdera effekterna på vegetation i banvallen, för att upptäcka eventuella problem med okänsliga arter eller uppkommen resistens, samt genom att analysera halter i grundvattenrör och banvallsmaterial, för att upptäcka problem med utlakning eller hög persistens (Torstensson, 2007). De forskningsstudier som hade genomförts av SLU indikerade att glyfosat hade låg rörlighet i banvallen men att det under vissa förutsättningar kunde lakas ut till grundvattnet direkt under järnvägen (Torstensson et al., 2005). Då det råder anmälningsplikt till kommunen när man sprider växtskyddsmedel på järnväg förekom det också att enskilda kommuner ställde krav på att grundvattenrör skulle installeras för att mäta utlakningen på lokal nivå. Banverket ansåg dock av flera skäl att ett program som bedrevs på nationell nivå och som kunde ge samlad kunskap om spridningsrisken var att föredra.

En förstudie som undersökte förutsättningarna och lade fram en plan för genomförande av ett kontrollprogram för att undersöka spridningen i miljön togs under 2005 fram av *Sweco Viak* på uppdrag av Banverket (Jonsson & Werner, 2005). Förstudien föreslog att åtta provtagningsytor med 3 grundvattenrör på varje plats (varav ett referensrör) skulle inrättas för att övervaka spridningen från den ordinarie ogräsbekämpningen, samt att dessa skulle provtas 2 gånger per år (torrperiod – sommar, och våtperiod – vår/höst). Vid varje provtagningsyta skulle också spridningen via vindavdrift utvärderas indirekt genom att i anslutning till provplatserna visuellt bedöma om det fanns någon påverkan på vegetation vid sidan om spåret i jämförelse med obekämpade referensytor. Direkta mätningar av vindavdrift bedömdes som för svåra att genomföra inom ramen för programmet.

Ett första miljökontrollprogram löpte mellan åren 2006–2010 (se avsnitt 1.1.2), där potentiella provplatser inventerades i fält och grundvattenrör installerades under 2006–2007 och där provtagning genomfördes under 2007–2010. Programmet drevs av

konsulter från *Golder/Vectura* och en slutrapport togs fram 2011 (Jonsson, 2011). Därefter blev det några års fördröjning innan ett nytt miljökontrollprogram upphandlades av Trafikverket. En ny rapport rörande utformningen av detta miljökontrollprogram togs under 2015 fram av *Sweco* (SWECO, 2015), och provtagning av grundvatten och jordprover sköttes av konsulter från *HIFAB* under 2016 (HIFAB, 2016) och senare *NIRAS* 2017–2019 (NIRAS, 2017, 2019, 2020; se avsnitt 1.1.3). En tredje iteration av miljökontrollprogrammet startar under 2020 och är tänkt att löpa fram till 2022. Denna gång ställdes ytterligare krav rörande utformningen upp i ett internt framtaget PM (Birgersson & Cederlund, 2020) och det blev *Sweco* som upphandlades för att sköta provtagning och installation av nya grundvattenrör (se avsnitt 1.1.4).



Figur 1. Kartor som visar samtliga provplatser inom miljökontrollprogrammet. Till vänster: provplatserna som användes 2007–2010 och, till höger: provplatserna som användes 2015–2019 tillsammans med de två nya provplatser som etableras under 2020.

Tabell 1. Översikt över utformningen av miljökontrollprogrammen 2006–2020

	Antal provplatser	Platsurval	Antal GV-rör	Besprutning	Provtagning
Period 1 2006–2010	8 -> 4	Typ av banvall; hydrogeologiska förhållanden	1 uppströms 3 i spåret 2 nedströms	5 l/ha hela ytan; 4,5 m sprutbredd	2 -> 3 ggr/år grundvatten
Period 2 2015–2019	5 (4 på linjen och 1 driftplats)	Banvallar som normalt ogräsbekämpas men inte finns nära jordbruksmark, klimat, hydrogeologi	1 uppströms 3 i spårområdet 1 nedströms	5 l/ha enligt ordinarie drift*; 5,2 m sprutbredd	3 ggr/år grundvatten + jordprover
Period 3 2020–2023	5 (4 på linjen och 1 driftplats)	Banvallar som normalt ogräsbekämpas men inte finns nära jordbruksmark, klimat, hydrogeologi	1 uppströms 3 i spårområdet 1–2 nedströms	5 l/ha hela ytan, 5,2 m sprutbredd	3 ggr/år grundvatten + jordprover

* Uppgifter på faktiskt utspridd mängd preparat på provplatserna saknas för 2015–2017, mellan år 2018–2019 har den utspridda mängden på de olika provplatserna varierat mellan motsvarande 0 - 4,5 l/ha för de 100-m intervall som täcker in provplatserna

1.1.1. Utformningen av miljökontrollprogrammet 2006–2010

Kontrollprogrammet omfattade ursprungligen 8 platser med provtagning inplanerad 2 ggr per år (i enlighet med vad som föreslogs i förstudien). Antalet grundvattenrör utökades dock till 6 st. per provplats i de flesta fall, i typfallet placerades tre grundvattenrör mitt i spåret, ett referensrör uppströms banvallen i vad som bedömdes vara grundvattnets huvudsakliga flödesriktning och två stycken grundvattenrör nedström banvallen, ett rör på ca 5 m avstånd och ett längre bort på upp till 100 m avstånd (Tabell 1).

Platserna valdes ut för att täcka in ett antal representativa typmiljöer. Bland urvalskriterierna ingick en bedömning av den hydrogeologiska och hydrologiska miljön i omgivningen (fjärrzonen), typ av banvall och det geografiska läget i landet (Tabell 2). Ingen hänsyn togs dock till om provplatserna var ogräsbevuxna och därmed i normalfallet skulle ha ogräsbekämpats. För att inte riskera att mäta utlakningen på platser som inte besprutades beslöts det därför att platserna i programmet alltid skulle besprutas med den högsta använda dosen 5 l Roundup Bio/ha (motsvarande 1800 g glyfosat/ha) och full sprutbredd, oavsett om det växte vegetation på platsen eller inte, vilket med den dåvarande sprutbredden 4,5 m motsvarar 0,8 g glyfosat/spårmeter.

Då inga detektioner gjordes av vare sig glyfosat eller AMPA i något rör under 2007 förändrades upplägget från och med 2008 för att försöka maximera chanserna att detektera glyfosat. Antalet platser reducerades till 4 samtidigt som provtagningen utökades till 3 tillfällen per säsong. Provtagningarna kopplades också tidsmässigt till besprutningstillfället så att två provtagningar genomfördes inom två veckor efter det att ytorna hade bekämpats.

En av provplatserna (Tågsjöberg) sammanföll med en provplats där SLU redan hade installerat grundvattenrör och användes aldrig som en del av miljökontrollprogrammet utan för att utvärdera utlakningsbenägenheten hos nya preparat i fältförsök (Cederlund, 2016). Under år 2009 utnyttjades ytterligare två av provplatserna (Lunda och Hasselfors) för att i fullskala utvärdera utlakningsbenägenheten hos preparatblandningen Roundup Bio 3 l/ha + Tomahawk 180 EC 2 l/ha som hade uppvisat god effektivitet mot ogräsen i SLU:s testprogram. Testerna visade att fluroxipyr, den aktiva beståndsdel i bla. preparatet Tomahawk 180EC, var betydligt mer utlakningsbenägen än glyfosat, vilket validerade själva provtagningsupplägget och också bidrog till att fluroxipyr aldrig kom till storskalig användning på järnvägar i Sverige (Cederlund et al., 2012).

Tabell 2. Översikt över provplatserna i miljökontrollprogrammet 2007–2010

	Kommun	Beskrivning av fjärrzon	Djup till grundvatten (m)	Provtagningsår
Skörpinge	Ängelholm	siltig-lerig morän	1,5 m	2007–2010
Stafsinge	Falkenberg	grusig, sandig morän	2,9 m	2007–2010
Hassselfors	Laxå	siltig-lerig morän	1 m	2007–2010
Lunda	Uppsala	siltig-lerig morän	2–4 m	2007–2010
Broddbo	Sala	mindre moränområde med slutna grundvattenförhållanden	3,6 m	2007
Hökberget	Mora	öppna grundvattenförhållanden	6–7 m	2007
Ånge Bangård	Ånge	siltig-lerig morän	1,5 m	2007
Tågsjöberg	Sollefteå	öppna grundvattenförhållanden	2,9 m	2007–2008*

* Användes för test av utlakningsbenägenheten hos nya preparat i SLU:s regi.

Inom ramen för kontrollprogrammet togs också en spridningsmodell fram med hjälp av programvaran GoldSim (Vectura, 2011). Målsättningen var att modellen skulle kunna användas för att genomföra riskbedömningar av användning av bekämpningsmedel på olika typiska banvallar och omgivningar. Tanken var att resultaten från miljöövervakningen skulle användas för att kalibrera modellen. Detta visade sig dock vara svårt då så få detektioner av glyfosat och AMPA gjordes i grundvattenrören – istället användes data från SLU:s tidigare studier av utlakningen av bekämpningsmedlet imazapyr (Börjesson et al., 2004). Resultaten indikerade att det fanns en betydande osäkerhet när det gällde den konceptuella förståelsen för de processer som styr utlakningen vilket försvårade prediktionen av koncentrationer i grundvattnet. Senare, inom ramen för ett examensarbete, vidareutvecklades och testades spridningsmodellen även för Roundup Bio och modellen bedömdes då fungera bra för imazapyr men sämre för glyfosat och AMPA (Peters, 2012).

Någon indirekt utvärdering av påverkan från vindavdrift, så som den föreslogs i förstudien, kom aldrig att genomföras inom ramen för kontrollprogrammet.

1.1.2. Utformningen av miljökontrollprogrammet 2016–2019

Kontrollprogrammet omfattade 5 provplatser, 4 på linjen och 1 på en driftplats. Platserna valdes ut utifrån liknande kriterier som inom det första miljöprogrammet men det ställdes också krav på att platserna skulle vara ogräsbevuxna och inte fick ligga i direkt

anslutning till jordbruksmark för att undvika kontaminering från användning på åkermark. En översikt över platserna ges i Tabell 3.

På varje plats installerades tre grundvattenrör inom spårområdet, ett grundvattenrör placerat uppströms (på uppskattningsvis mellan 20–35 m avstånd från spårområdet) och ett rör placerat nedströms banvallen (på uppskattningsvis mellan ca 8–75 m avstånd från spårområdet) i vad som bedömdes vara grundvattnets huvudsakliga flödesriktning. Provtagning skedde 3 ggr per år, en provtagning tidigt på säsongen, innan besprutningen utfördes, en provtagning ca 10–15 dagar efter utförd bekämpning och en provtagning ca 3 månader efter utförd bekämpning.

Tabell 3. Översikt över provplatserna i miljökontrollprogrammet 2015–2019

	Kommun	Geologi	Djup till grundvatten (m)	Provtagningsår
Ryningsnäs	Hultsfred	sandig, siltig morän	1,5 m	2015–2019
Alseda	Vetlanda	grusig sand	4,5–5,5 m	2015–2019
Lennheden	Borlänge	sandig, siltig morän	4–5 m	2015–2019
Strömsheden	Vansbro	grovslut, finsand	2,8 m	2015–2019
Mellansjö	Ljusdal	grusig sand/finsand (morän)	0,7–2 m	2015–2019

Provtagningen inkluderade också provtagning av "ytjord" (0–30 cm djup) och "djupjord" (ca 0,3–0,8 m djup) i anslutning till grundvattenrören. Vid varje provtagningstillfälle togs tre prover av vardera ytjord och djupjord från banvallen vid varje provplats vilka analyserades separat.

Platserna besprutades i enlighet med ordinarie bekämpningsbehov. Då dagens ogräståg har IR-sensorer som styr aktiveringen av besprutningsmunstyckena innebär det alltså att den utlagda mängden stod i direkt proportion till mängden ogräs på platsen. Detta återspeglar ordinarie drift bättre men har också inneburit att de utlagda mängderna har varierat avsevärt mellan provplatser och år. Under programmets första år samlades heller inga uppgifter in på hur mycket bekämpningsmedel som spridits på platserna vilket gör det svårt att säkert veta i vilken utsträckning de bekämpades. Under 2018–2019 varierade den utlagda mängden på de besprutade försöksplatserna mellan 0,07 – 0,8 g/spårmeter, motsvarande 0,39 – 4,26 l/ha med sprutbredden 5,2 m, enligt uppgifter från entreprenören *WeedFree on track*. Under 2019 blev dock bekämpningen helt inställd på två platser.

Spridningen har också under hela perioden skett fläckvis över försöksytan vilket försvårar tolkningen av resultaten – inte minst av de uppmätta halterna i jordprover från banan som kan uppvisa hög eller låg halt beroende på om de kommer från ett avsnitt av banan som besprutats eller inte.

1.1.3. Utformningen av miljökontrollprogrammet från och med 2020

Kontrollprogrammet omfattar från och med 2021 5 platser varav 3 till att börja med är desamma som under perioden 2016–2019 och 2 platser nyetableras under 2020 (Tabell 4). Platsen Lennheden faller bort då det inrättats ett vattenskyddsområde på platsen och Ryningsnäs faller bort på grund av tekniska problem med grundvattenrören. De nya platserna har valts ut för att få en bättre geografisk spridning i landet, och bl.a. med avsikt att inkludera en plats som ligger i ett område med en högre årsmedelnederbörd än de befintliga platserna gör.

Platserna (± 50 m från där grundvattenrören sitter) kommer att besprutas med dosen 5 l/ha och sprutbredden 5,2 m och samtliga munstycken aktiverade oavsett om där växer ogräs eller inte. Detta motsvarar 0,9 g glyfosat/spårmeter. Under övergångsåret 2020 besprutades dock bara de gamla provplatserna (Alseda, Strömsheden och Mellansjö) på detta sätt, medan de nya provplatserna som anläggs under hösten/vintern 2020, besprutades enligt ordinarie drift för att kunna uppmäta bakgrundsvärden.

Tabell 4. Översikt över de planerade provplatserna i miljökontrollprogrammet 2020–2023

	Kommun	Geologi	Djup till grundvatten (m)	Provtagningsår
Alseda	Vetlanda	grusig sand	4,5–5,5 m	2015–2023
Strömsheden	Vansbro	grovsilt, finsand	2,8 m	2015–2023
Mellansjö	Ljusdal	grusig sand/finsand (morän)	0,7–2 m	2015–2023
Rabbalshede	Tanum	Glacial lera	0,5–1 m	2020–2023
Hasslerör*	Mariestad		-	2020–2023

*föreslagen provplats, kan komma att flyttas om fältförhållandena är olämpliga

Bland de förändringar som har föreskrivits i programmet jämfört med tidigare år kan nämnas att Trafikverket ställer tydligare krav på positiva och negativa kontroller för analyserna av grundvatten vilket tidigare har saknats. De nya provplatserna etableras under hösten/vintern 2020 och exakt vilken provtagning och vilka analyser som kommer att genomföras fastställs för närvarande i dialog med Sweco.

1.1.4. Kemisk ogräsbekämpning på järnvägen 2006–2010 och 2015–2020

Ogräsbekämpningen på provplatserna har under året utförts på olika sätt och av olika entreprenörer. Ursprungligen sköttes all ogräsbekämpning av *Banverket produktion* som under 2010 omvandlades till *Infranord*. Ogräsbekämpningen på linjen utfördes med ett ogräståg där aktiveringen av sprutmunstyckena skedde manuellt i tre olika zoner (höger, vänster, mitten). Sprutbredden under åren 2006–2010 var hela tiden 4,5 m. Driftplatserna bekämpades i första hand med ryggspruta eller fyrhjuling.

Bayer Crop Science tog över skötseln av linjebekämpningen 2012–2015 med ett ogräståg där aktiveringen av sprutmunstycken skedde automatiskt med hjälp av IR-sensorer som detekterar förekomst av ogräs. Sprutbredden var till att börja med 4,5 m men den ändrades år 2013 till 5,2 m efter beslut från Trafikverket. Från och med 2016 tog företaget *Weedfree on Track* över ogräsbekämpningen på linjen (likaså med IR-sensorer och sprutbredden 5,2 m) och *Bayer Crop Science* tog över skötseln av driftplatser via sin underleverantör *Actum Greentech* som bekämpar med ryggspruta eller ATV.

Dosen som använts har hela tiden varit 5 l av Roundup Bio/Roundup Ultra med glyfosat-isopropylaminsalt som verksam beståndsdel – detta motsvarar 1800 g glyfosat/ha och provplatserna har som mest bekämpats 1 gång/år.

2. Metod

2.1. Sammanställning av data/beräkningar

Resultaten från miljökontrollprogrammet 2015–2019 har fortlöpande rapporterats till Trafikverket i form av rapporter i PDF-format men också sammanställts i Excel och denna rapport har i första hand utgått från denna Excel-fil. Resultaten från miljökontrollprogrammet 2006–2010 har bara funnits tillgänglig i form av rapporter i PDF-format och de rapporterade koncentrationerna av glyfosat och AMPA har därför manuellt överförts till Excel för vidare bearbetning.

I de flesta vattenproverna har varken glyfosat eller AMPA uppmätts i koncentrationer som överstiger detektionsgränsen. I dessa fall har koncentrationen behandlats som detektionsgränsen/2 i de utförda analyserna. För att bedöma spridningspotentialen i grundvattnet har vattenprover från grundvattenrör som är placerade vid sidan av spåret i vad som av de utförande konsulterna bedömts vara uppströms och nedströms spåret i grundvattnets flödesriktning särbehandlats från vattenprover från grundvattenrör som står inom spårområdet, dvs. direkt under den besprutade ytan.

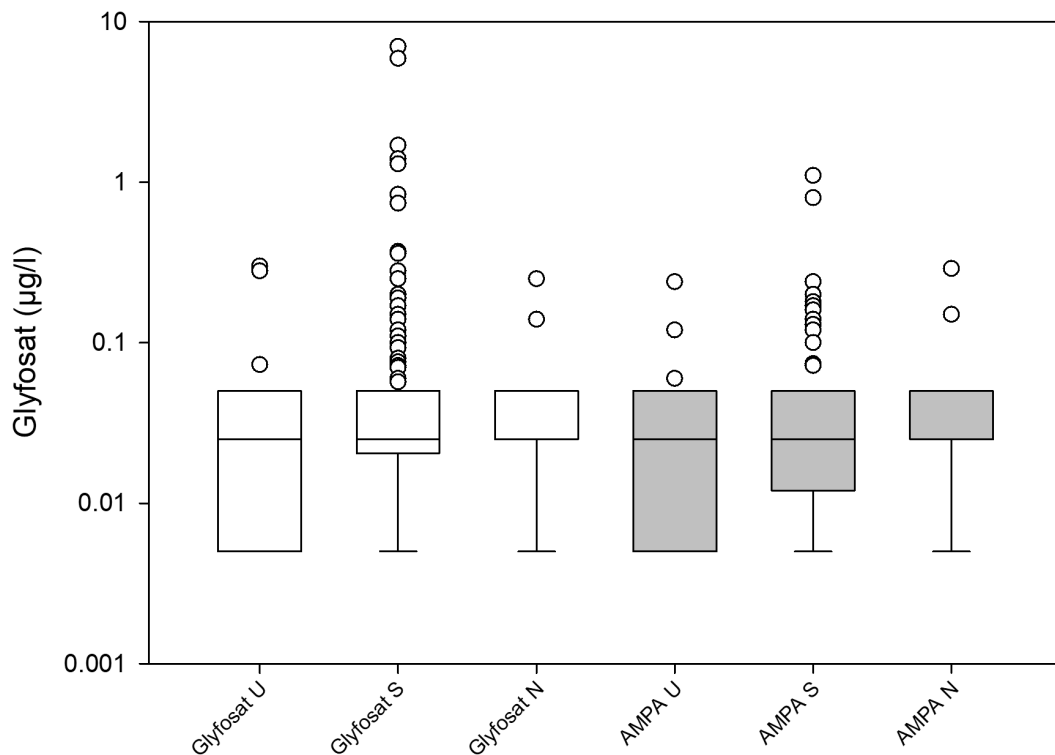
För att få en bättre uppfattning om totalhalten glyfosat och AMPA i banvallen och för att delvis motverka haltvariationerna som uppstår som en följd av det fläckvisa bekämpningsmönstret har uppmätta halter i ytprov och djupprov som tagits inom spårområdet räknats samman till en summahalt för varje provtagningspunkt (i Figur 6) och de tre replikaten från banvallen som ett genomsnittsvärde för varje provplats/provtagningsstillfälle. Liksom för vattenproverna behandlades halten i jordprover utan detekterbar halt som detektionsgränsen/2. Någon vidare analys av halter glyfosat och AMPA i jordprover som tagits utanför spårområdet har inte utförts.

Teoretiska beräkningar av den förväntade halten glyfosat i banvallen över tid utfördes med Excel i enlighet med de av FOCUS rekommenderade enkla beräkningsmodellerna (FOCUS, 1997) och verifierades även med hjälp av programvaran ESCAPE 2.0 (Klein, 2018).

3. Resultat och diskussion

3.1. Uppmätta koncentrationer av glyfosat och AMPA i grundvattnet

Det typiska resultatet av en analys av grundvattnet i anslutning till järnvägen är att varken glyfosat eller AMPA återfinns i halter som överstiger detektionsgränsen. Fördelningen av uppmätta koncentrationer i grundvattnet var kraftigt skevfördelad med många prov utan detekterbar koncentration och endast några få prov med högre koncentrationer (Figur 2). Med en viss regelbundenhet detekterades dock såväl glyfosat som AMPA i grundvattnet direkt under spåret. Glyfosat har detekterats i 16% av de prover som tagits från grundvattenrör som står i själva spårområdet men endast i 3% respektive 2% av proven från grundvattenrör placerade uppströms och nedströms banvallen i grundvattnets bedömda flödesriktning (Tabell 5). AMPA detekterades något mer sällan, i 14% av grundvattenproven från spårområdet och i 3 respektive 1% av proven från uppströms och nedströms rör (Tabell 6). Som en följd av den skeva fördelningen är medianvärdena och i de flesta fall även de 90:e och 95:e percentilerna identiska med detektionsgränserna för de analytiska metoderna som använts. Det är enbart glyfosat i grundvatten från direkt under spåret som avviker från detta mönster med en förhöjd 95:e percentil på 0,15 µg/l och en något förhöjd 90:e percentil (Tabell 5).



Figur 2. Låddiagram som visar fördelningen av samtliga koncentrationer glyfosat (vita lådor) och AMPA (gråa lådor) som uppmätts i enskilda prover från grundvattenrör under spåret/i spårområdet (S; 330 prover) samt uppströms (U; 93 prover) och nedströms (N; 173 prover) spåret i grundvattnets bedömda flödesriktning. Strecket i lådornas mitt visar medianvärdet, lådornas övre och undre kant visar kvartilerna och "morrhåren" visar de 90:e och 10:e percentilerna. Enskilda värden som är högre än den 90:e percentilen visas som cirklar. Observera att figurens y-axel har logskala.

Tabell 5. Översikt över utförda analyser och analysresultat för glyfosat i grundvatten

	Uppströms	Spårområdet	Nedströms
Antal genomförda analyser 2006–2019*	N = 93	N = 330	N = 173
Medelvärde (µg/l)	0,032	0,093	0,030
Median (µg/l)	< DG	< DG	< DG
95:e percentil (µg/l)	< DG	0,15	< DG
90:e percentil (µg/l)	< DG	0,057	< DG
Antal detektioner	3 (3%)	52 (16%)	3 (2%)
Antal detektioner över riktvärdet för grundvatten	2 (2%)	21 (6%)	2 (1%)

*exklusive extraanalyser genomförda hösten 2018

< DG = värdet är under detektionsgränsen

Tabell 6. Översikt över utförda analyser och analysresultat för AMPA i grundvatten

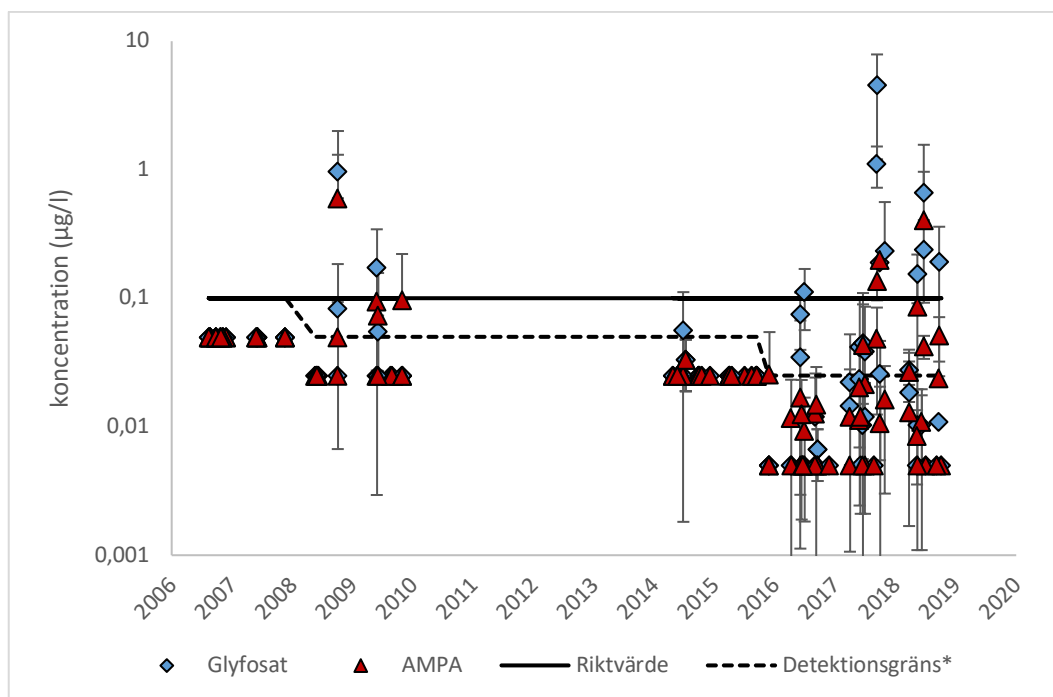
	Uppströms	Spårområdet	Nedströms
Antal genomförda analyser 2006–2019*	N = 93	N = 330	N = 173
Medelvärde (µg/l)	0,029	0,037	0,031
Median (µg/l)	< DG	< DG	< DG
95:e percentil (µg/l)	< DG	< DG	< DG
90:e percentil (µg/l)	< DG	< DG	< DG
Antal detektioner	3 (3%)	45 (14%)	2 (1%)
Antal detektioner över riktvärdet för grundvatten	2 (2%)	14 (4%)	2 (1%)

*exklusive extraanalyser genomförda hösten 2018

< DG = värdet är under detektionsgränsen

Den högsta koncentrationen glyfosat som rapporterats i något enskilt prov är 7 µg/l ($4,5 \pm 3,3$ µg/l i genomsnitt under spåret) som detekterades i grundvatten från provplatsen Strömsheden i september 2018. I detta fall utfördes en extra uppföljande provtagning i oktober samma år för att verifiera resultatet som då visade lägre koncentrationer: 0,61 µg/l i röret med högst koncentration och $0,2 \pm 0,3$ µg/l i genomsnitt under spåret. AMPA har generellt detekterats i lägre koncentrationer än glyfosat (Figur 2 och 3); det högsta enskilda värdet som har uppmätts var 1,1 µg/l ($0,6 \pm 0,7$ µg/l i genomsnitt under spåret) och detekterades i grundvatten från provplatsen Hasselfors i oktober 2009.

Ett generellt mönster är att antalet detektioner ökar över tid samtidigt som mediankoncentrationerna och medelkoncentrationerna sjunker, vilket till stor del kan förklaras av att detektionsgränserna har blivit lägre över tid på grund av bättre analystekniker. Dock avviker år 2018 på ett tydligt sätt från detta mönster som ett år med förhöjda koncentrationer i grundvatten från 3 av 5 provplatser (Figur 3). Under 2019 har uppmätta koncentrationer från dessa platser åter minskat men inte helt återgått till nivåerna som uppmättes innan 2018 (Figur 3 och 4).



Figur 3. Medelvärden för uppmätta koncentrationer av glyfosat och AMPA i de grundvattentrör som provtar grundvatten direkt under spåret/spårområdet för varje enskild provplats, mellan 2007–2019. *Detektionsgränsen har blivit lägre över åren från 0,1 µg/l år 2007 till 0,05 µg/l åren 2008–2015 och 0,01 µg/l från år 2016 och visas som en streckad linje i figuren. Detektionsgränsen kan dock vara högre i vissa enskilda prov på grund av t.ex. låg provmängd. För prover utan detektion av glyfosat eller AMPA visas koncentrationen som detektionsgräns/2. Den heldragna linjen visar riktvärdet för grundvatten på 0,1 µg/l. Observera att figurens y-axel har logskala.

3.1.1. Hur snabbt når glyfosat och AMPA grundvattnet?

En relevant fråga är hur snabbt glyfosat och AMPA når grundvattnet efter utförd bekämpning och hur man tidsmässigt bör utforma provtagningen för att bäst fånga upp utlakningen. Tidiga erfarenheter från SLU:s fältförsök indikerade att sannolikheten att detektera glyfosat i grundvattnet under spåret var som högst relativt snart efter utförd bekämpning, och en provtagning av grundvattentrören sker därför inom 2 veckor efter besprutningen (det var rentav 2 provtagningar inom 2 veckor under kontrollprogrammets första period). Resultaten tycks dock snarare indikera att det är vanligare att detektera glyfosat i de provtagningar som utförs ca 3–4 månader efter utförd bekämpning och det är också i dessa provtagningar som de högsta koncentrationerna har uppmätts.

3.1.2. Vad förorsakade den ovanligt stora utlakningen under 2018?

Det är troligt att den förhöjda utlakningen som observerades under 2018 kan kopplas till den extremt torra sommaren det året. Det är välkänt att torra förhållanden i marken hämmar mikrobiell nedbrytning av organiskt material beroende bl.a. på att transporten av organiska molekyler mellan markens porer hindras och eftersom mikroorganismerna

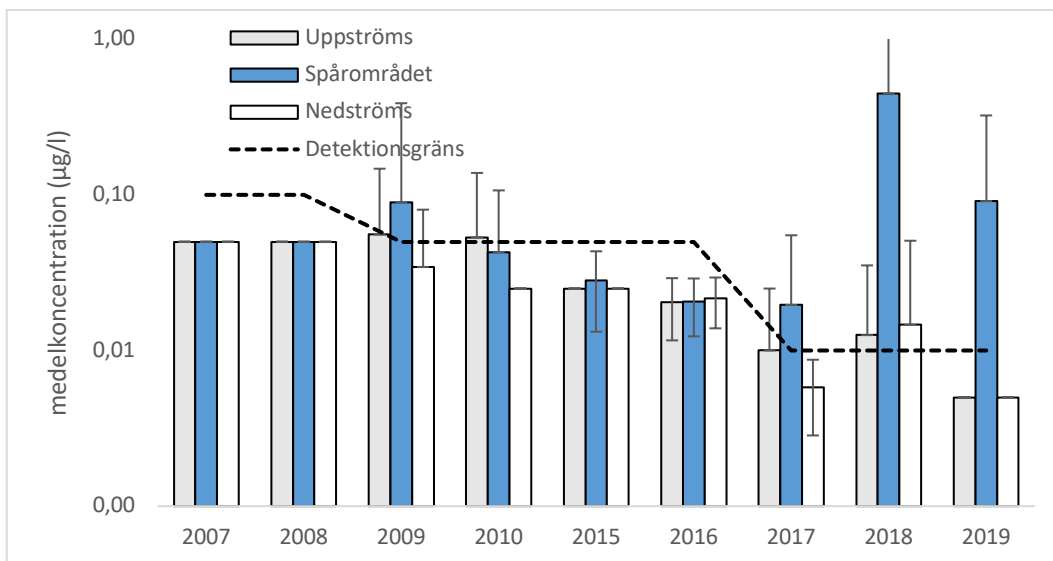
måste spendera mer energi för att upprätthålla osmotisk jämvikt (Moyano et al., 2013; Yan et al., 2016). Samma grundprinciper som gäller för nedbrytningen av organiskt material gäller också för nedbrytningen av bekämpningsmedel som glyfosat, som också hämmas av torra förhållanden (Bento et al., 2016; Schroll et al., 2006). I banvallsmaterial har vi tidigare visat att nedbrytningen av bekämpningsmedlet fluroxipyr hämmas kraftigt av torra förhållanden (Cederlund et al., 2012). För glyfosat finns inga studier utförda som specifikt undersöker effekten av vattenhalt på nedbrytningen i just banvallsmaterial – men de fältstudier som har genomförts visar att nedbrytningshastigheten kan variera kraftigt (Cederlund, 2016) och det är troligt att den variationen till viss del förklaras av klimatfaktorer som markfukt och temperatur.

Det är tänkbart att under en ovanligt torr sommar så hämmas glyfosatets nedbrytning så att halterna förblir höga i banvallen under längre tid, och om detta sedan följs av ett kraftigt regn eller en regnperiod kan det leda till att mängden glyfosat som utlakas till grundvattnet blir större än normalt senare på året. Torra förhållanden och låga grundvattennivåer kan också innebära att det glyfosat som når grundvattnet inte späds ut eller transporteras bort på samma sätt som normalt vilket i sig kan ge förhöjda halter.

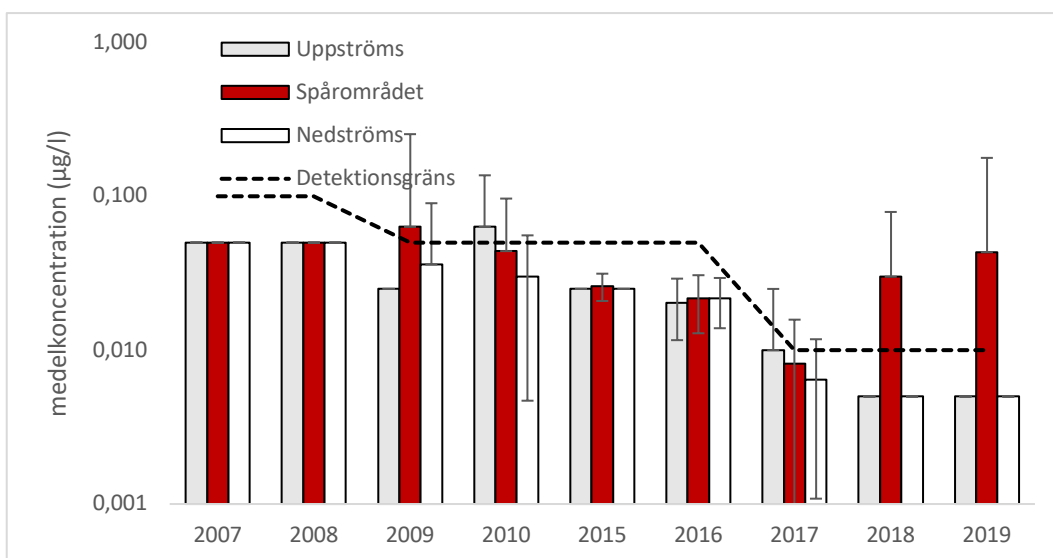
I analyserna från jordprover från 2018 går det dock inte att se några tendenser till att glyfosat skulle vara mer persistent än vanligt (se mer i avsnitt 3.2) – det går heller inte överlag att se något tydligt samband mellan höga halter glyfosat i banvallen och förhöjda halter i grundvattnet. Den högsta utlakningen år 2018 uppmättes t.ex. i Strömsheden och näst högst värden i Lennheden samtidigt som halterna som uppmätts i banvallen på dessa platser har varit mycket låga (Figur 6 och 7, Tabell 7). I Alseda och Ryningsnäs, där halterna i banvallen har varit högst har det däremot endast gjorts enstaka detektioner av glyfosat och AMPA i grundvattnet. Detta mönster är svårförklarligt – men då Strömsheden och Lennheden ligger nära varandra geografiskt (Figur 1) stärker det misstanken om att utlakningen har förorsakats av klimatrelaterade faktorer. Klimatdata från SMHI bekräftar att sommaren 2018 var ovanligt torr överlag men SMHI:s mätstationer ligger inte tillräckligt nära provplatserna för att det ska gå att verifiera förekomsten av t.ex. kraftiga (lokala) regnskuror i slutet av sommaren/början av hösten som skulle ha kunnat förorsaka utlakningen under 2018.

3.1.3. Varför ser vi en begränsad horisontell transport?

Spridningen i grundvattnet tycks ha varit begränsad, även under 2018; glyfosat och AMPA har endast i undantagsfall detekterats i de grundvattenrör som bedömts ligga nedströms banvallen i grundvattnets flödesriktning och varken antalet detektioner eller årsmedelvärdet kan anses skilja sig från de koncentrationer som uppmätts i referensrören som provtar grundvattnet uppströms banvallen (Figur 2, 4 och 5).



Figur 4. Årsmedelkoncentrationer glyfosat i grundvattenrör som provtar grundvattnet uppströms banvallen (referensrör), direkt under spåret/spårområdet och nedströms banvallen. Observera att figurens y-axel har logskala.



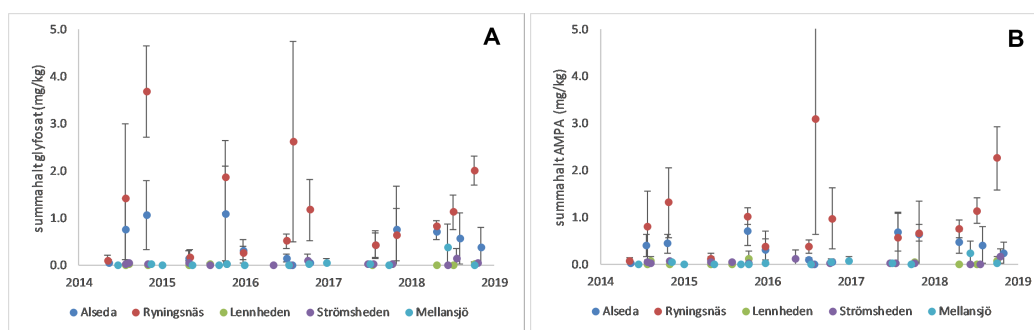
Figur 5. Årsmedelkoncentrationer AMPA i grundvattenrör som provtar grundvattnet uppströms banvallen (referensrör), direkt under spåret/spårområdet och nedströms banvallen. Observera att figurens y-axel har logskala.

En anledning till de låga halterna i nedströms rör kan vara utspädning, det är dock svårt att räkna på då vi inte känner till flödesvolymerna i grundvattenzonen. Det kan också vara så att processerna som styr utlakningen ned till grundvattenytan och den vidare transporten i grundvattenzonen skiljer sig åt. Utlakningen av starkt adsorberande bekämpningsmedel som glyfosat från banvallar har föreslagits vara partikelbunden eller partikel-faciliterad och ske genom preferentiella flödesvägar (Jarvis et al., 2006; Torstensson et al., 2005). Det är dock troligt att sådana processer påverkar den vertikala transporten mer jämfört med den vidare horisontella transporten. Installationen av

grundvattenrör i själva banvallen kan också i sig introducera preferentiella flödesvägar som leder till utlakning vilket demonstrerades av Schmidt et al (1999). Ett sätt att komma runt den problematiken är att provta grundvattnet under banvallen med hjälp av snedborrade grundvattenrör med öppningen utanför den besprutade zonen. Grundvattenrör som inte ligger mitt i spåret har även flera andra fördelar som gör att man skulle kunna överväga att använda dem. Om rören inte ligger inom spårområdet krävs inga spårtider eller någon tågvarning och man undviker även risken att kontaminera provtagningsutrustningen då man inte vistas inom den besprutade zonen. Snedställda grundvattenrör installerades under 2007 på provplatsen Tågsjöberg men tyvärr sjönk grundvattenytan på platsen så mycket att någon provtagning av grundvattnet inte var möjlig.

3.2. Uppmätta halter glyfosat och AMPA i banvallen

Det var främst i jordprover från två av provplatserna, Ryningsnäs och Alseda, som såväl glyfosat som AMPA detekterades i högre halter i jordproven (Figur 6, Tabell 7). På dessa båda platser detekterades också rutinmässigt såväl glyfosat som AMPA i djupproven. I jordprov från Strömsheden och Mellansjö var halterna som detekterades i ytprover generellt låga och detektionerna i djupprover gjordes endast sporadiskt. I jordprov från Lennheden detekterades glyfosat bara i 4 av 32 ytprover från spårområdet och AMPA i endast 6 av 32 (Tabell 7). En rimlig tolkning är att detta beror på att platserna Strömsheden, Mellansjö och Lennheden har besprutats mer sällan eller med lägre mängd glyfosat. Den besprutningsstatistik som samlades in för 2018–2019 bekräftar att preparatförbrukningen har varit lägre på just dessa platser – men statistik saknas fortfarande för perioden 2015–2017 (Tabell 8).



Figur 6. Summahalter (där halten i yt-och djupprov lagts samman) för glyfosat (A) och AMPA (B) uppmätta i de olika provplatserna mellan 2015–2019.

Tabell 7. Genomsnittshalter glyfosat och AMPA i ytprover och djupprover från spårområdet \pm standardavvikelse; 90:e percentil inom parentes.

	Ytprov (djup 0–0,3 m)		Djupprov (djup 0,4–0,8 m)	
	Glyfosat (mg/kg)	AMPA (mg/kg)	Glyfosat (mg/kg)	AMPA (mg/kg)
Ryningsnäs	0,84 \pm 1,1; (2,7)	0,64 \pm 0,8; (1,4)	0,43 \pm 0,44; (1,0)	0,38 \pm 0,44; (0,95)
Alseda	0,31 \pm 0,43; (0,73)	0,22 \pm 0,25; (0,50)	0,15 \pm 0,28; (0,36)	0,11 \pm 0,21; (0,26)
Lennheden	0,013 \pm 0,022; (0,028)	0,028 \pm 0,069; (0,049)	< DG*	< DG*
Strömsheden	0,032 \pm 0,064; (0,095)	0,041 \pm 0,068; (0,061)	< DG*	< DG*
Mellansjö	0,029 \pm 0,12; (0,026)	0,024 \pm 0,069; (0,042)	< DG*	< DG*

* Såväl medelvärdet som den 90:e percentilen är under detektionsgränsen i dessa fall.

Tabell 8. Besprutningsdata för de 100 m-intervall som täcker in provplatsen omräknat till motsvarande % av full dos, uppgifter från Weedfree on Track/Actum Greentech.

	Ryningsnäs	Alseda	Lennheden	Strömsheden*	Mellansjö**
2019	78%	8%	Obesprutad	Obesprutad	42%
2018	85%	51%	37%	28%	30%

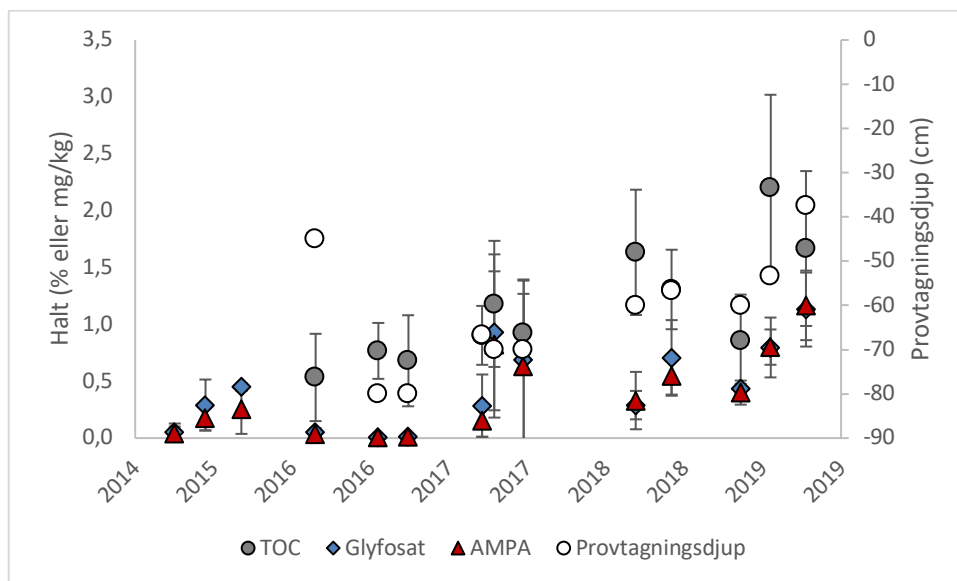
* Uppgifterna gäller för ett 100-m intervall som ligger i direkt anslutning till provplatsen men som inte täcker in själva provplatsen.

** Uppgifterna kommer från dagrapporter som dock täcker in ett större område än bara en 100-meterssträcka vid själva provplatsen vilket gör det svårt att säga i vilken utsträckning ytan kring rören har bekämpats.

Det går inte att se någon tydligt ökande eller minskande trend i summahalterna av glyfosat och AMPA i banvallen utan de tycks mer eller mindre slumpmässigt variera över tid (Figur 6). Till stor del förklaras detta av de IR-styrda sprutmunstyckena på ogräståget och det därmed fläckvisa besprutningsmönstret. Den tidsmässigt relativt glesa provtagningen och de varierande halterna gör att det är svårt att använda dessa mätvärden för att beräkna hur snabbt glyfosat eller AMPA bryts ned i banvallen. Tidigare fältstudier har varit bättre utformade för att undersöka nedbrytningshastigheten och har indikerat att glyfosat har en halveringstid på ca 4 ± 2 månader i svenska banvallar (Cederlund, 2016).

I Ryningsnäs där halterna är högst i banvallen överlag ser halterna av såväl glyfosat som AMPA ut att öka över tid i "djupproverna". Detta skulle potentiellt kunna förklaras av en viss nedtransport i kombination med högre persistens i banvallens djupare skikt – vilket man skulle kunna anta är fallet då den mikrobiella aktiviteten och funktionella

diversiteten generellt är lägre med djupet (Cederlund et al., 2008). En närmare granskning av analysrapporterna för dessa prover visar dock att det finns ett systematiskt fel i provtagningen: det angivna provtagningsdjupet för det som kallas "djupprov" har blivit allt lägre över tid. Samtidigt har också TOC-halten ökat, vilket styrker att allt ytligare jordprover har tagits (Figur 8). Att en ytligare provtagning leder till att högre halter glyfosat och AMPA detekteras är knappast förvånande och denna glidande förändring av provtagningsdjupet kan förmodligen till stor del förklara den observerade trenden. Vid de övriga provplatserna syns inga tendenser till att halten glyfosat eller AMPA skulle öka i djupproven över tid.



Figur 8. Halt glyfosat och AMPA i djupprover från Ryningnäs jämfört med de angivna provtagningsdjupen och uppmätt TOC-halt \pm en standardavvikelse. Halten glyfosat, AMPA och TOC ökar över tid samtidigt som det angivna provtagningsdjupet för "djupprov" blir allt ytligare. För 2015 upphittades inga angivelser av provtagningsdjup.

3.2.1. Är de uppmätta halterna i banvallen rimliga?

För att undersöka om de detekterade halterna i banvallen är i linje med vad som skulle kunna förväntas utifrån den tidigare uppskattningen av halveringstid utfördes en enkel teoretisk beräkning. Förutsatt att banvallen besprutas med samma dos varje år och att bekämpningsmedlet som används är relativt persistent och inte alltför rörligt så kommer halten i banvallen så småningom att stabiliseras vid en fluktuerande plåtå med ett maximum strax efter besprutning och ett minimum precis innan nästa bekämpning. Längre halveringstider leder till att det tar längre tid innan plåtån uppnås och till att halten stabiliseras vid en högre nivå. En enkel uppskattning av halten i ytskiktet av banvallen efter en första besprutning ges av (FOCUS, 1997):

$$Initialhalt = dos \times (1 - f_{int}) / (100 \times djup \times \rho)$$

där *initialhalt* anges i mg/kg, *dos* anges i g/ha, där f_{int} är fraktionen av bekämpningsmedlet som fastnar på vegetationen, där *djup* är inblandningsdjupet i cm och ρ är jordens skrymdensitet i g/cm³. Om vi sätter in dosen 1800 g/ha, antar att inget fastnar på vegetationen¹, ett inblandningsdjup på 5 cm och en skrymdensitet på 1,5 g/cm³ får vi en initialhalt på ca 2,4 mg/kg. Oftast detekteras i praktiken initialt lägre halter än så på grund av att delar av preparatet fastnar på växter, makadam etc.

Den förväntade maxhalten efter det att platån har uppnåtts ($Platå_{max}$) ges av (FOCUS, 1997):

$$Platå_{max} = \text{initialhalt} / (1 - e^{-k})$$

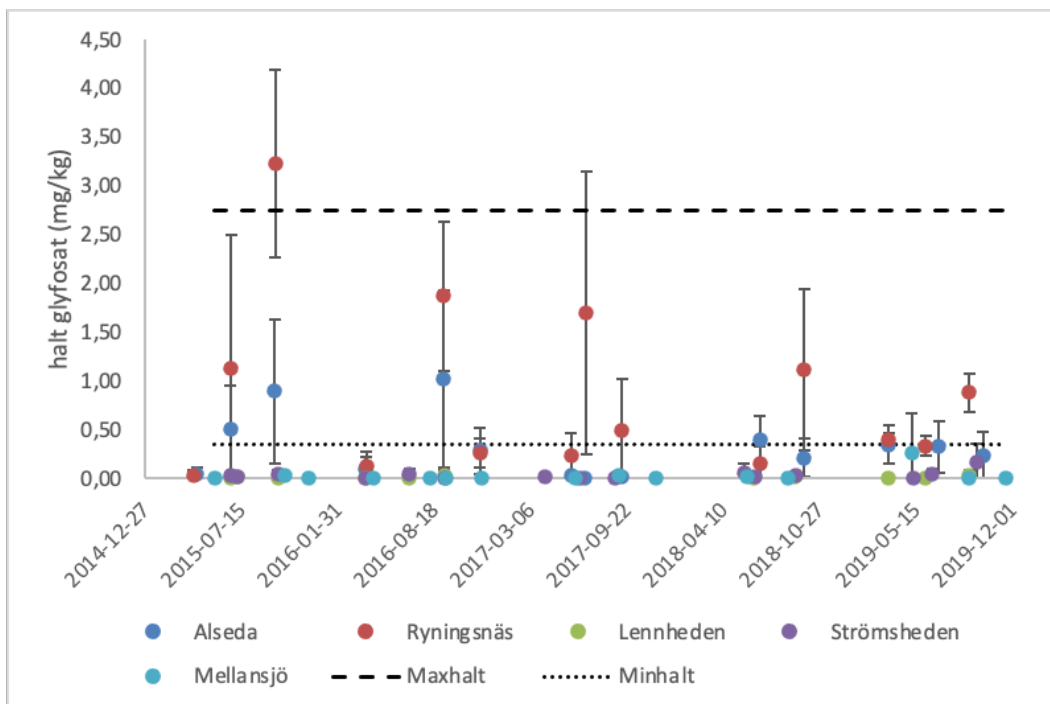
där k är första ordningens hastighetskonstant som i sin tur ges av:

$$k = \ln(2) / T_{1/2}$$

där $T_{1/2}$ är halveringstiden uttryckt i år.

Med en halveringstid på 4 månader förväntas halten under ett år kunna variera mellan 0,34 mg/kg (minimum) och 2,74 mg/kg (maximum) när platån har uppnåtts. Detta teoretiska maxvärde matchar ganska väl den 90:e percentilen för ytjord i Ryningsnäs som ligger på 2,7 mg/kg. Den högsta genomsnittshalten som detekterats vid något enskilt tillfälle var 3,2 mg/kg (också i Ryningsnäs) – vilket vore förenligt med en halveringstid på ungefär 6 månader om man räknar baklänges. Dvs. på det stora hela är halterna fullt rimliga utifrån en förväntad halveringstid på 4 ± 2 månader. Figur 9 illustrerar hur de flesta uppmätta halterna i Ryningsnäs ligger inom ramen för förväntade värden medan halterna i jordprov från de övriga platserna ligger lågt/lägre – troligtvis på grund av en betydligt lägre besprutningsgrad än den antagna maximala.

¹ Antagandet är rimligt – trots att aktiveringen av sprutmunstyckena styrs av detektionen av ogräs sprutar varje munstycke i en fix zon vilket medför att även den otäckta markytan bredvid ogräset blir besprutad.



Figur 9. Uppmätta genomsnittshalter glyfosat i banvallens ytskikt. Linjerna visar de förväntade maximum- och minimum-nivåerna med en halveringstid på 4 månader och baserat på de teoretiska antagandena ovan.

3.3. Hur förhåller sig resultaten till lagstiftningens krav?

Kriterierna för bedömning av kemisk grundvattenstatus regleras ytterst av det så kallade Vattendirektivet (DIREKTIV 2000/60/EG) om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område och av DIREKTIV 2006/118/EG om skydd för grundvatten mot föroreningar och försämring. Denna lagstiftning omsätts i svensk lag genom vattenförvaltningsförordningen (2004:660) om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön och genom Sveriges geologiska undersöknings föreskrifter om miljökvalitetsnormer och statusklassificering för grundvatten (SGU-FS 2013:2).

Vattenförvaltningen utgår från grundvattenförekomster. Varje medlemsland ska övervaka och förvalta sina grundvattenförekomster så att god kemisk status uppnås och så att deras kemiska status inte försämras. Grundvattenförekomster definieras i vattendirektivet som "en avgränsad volym grundvatten i en eller flera akviferer" där akvifer definieras som "ett eller flera lager under ytan, av berggrund eller andra geologiska skikt med tillräcklig porositet och genomsläpplighet för att medge antingen en betydande ström av grundvatten eller uttag av betydande mängder grundvatten.". SGU:s tolkning är att en grundvattenförekomst ska medge uttag av betydande mängder grundvatten, med 10 m³ per dygn som en undre gräns (SGU:s hemsida).

För bedömningen av grundvattenförekomsternas kemiska status har det inrättats miljökvalitetsnormer/riktvärden som är 0,1 µg/l för enskilda bekämpningsmedel och 0,5

µg/l för summan av bekämpningsmedel och nedbrytningsprodukter (DIREKTIV 2006/118/EG; SGU-FS 2013:2). Av direktiv 2006/118/EG framgår att en grundvattenförekomst kan betraktas ha god kemisk status om miljökvalitetsnormerna inte överskrids i något enskilt prov, men också att grundvattenförekomster där *”värdet för en kvalitetsnorm för grundvatten eller ett tröskelvärde överskrids vid en eller flera övervakningspunkter”* kan betraktas ha god kemisk status förutsatt att *”de koncentrationer av förorenande ämnen som överskrider kvalitetsnormerna för grundvatten eller tröskelvärdena inte anses utgöra en betydande miljörisk, om lämpligt med beaktande av hur stor del av grundvattenförekomsten som är drabbad”*. Av bilaga III till direktivet framgår att för en sådan bedömning ska medlemsstaterna *”om det är relevant och nödvändigt, på grundval av lämpliga aggregeringar av övervakningsresultaten, vid behov med stöd av uppskattningar av koncentrationerna som grundar sig på en begreppsmodell för grundvattenförekomsten eller gruppen av grundvattenförekomster, bedöma omfattningen av den grundvattenförekomst som har ett årligt aritmetiskt medelvärde för koncentrationen av ett förorenande ämne som är högre än en kvalitetsnorm för grundvatten eller ett tröskelvärde”* (DIREKTIV 2006/118/EG). Dvs. i klarspråk så behöver man för att fastställa om Trafikverkets ogräsbekämpning medför att grundvattenförekomsternas kemiska status försämras på ett oacceptabelt vis i lagstiftningens mening med hjälp av lämplig beräkning/begreppsmodell uppskatta det årliga aritmetiska medelvärdet för koncentrationen av glyfosat och AMPA i de grundvattenförekomster som järnvägen löper över eller ansluter till och se hur det förhåller sig till riktvärdet.

Trafikverkets kontrollprogram är dock knappast optimalt utformat för att ge ett bra underlag för en sådan uppskattning idag. Provpplatserna är inte utvalda med hänsyn tagen till hur grundvattenförekomster är utbredda i landskapet och av dagens provplatser är det bara Strömsheden som ligger i direkt anslutning till en grundvattenförekomst. För närvarande pågår ett arbete inom Trafikverket med att kvalitativt riskbedöma grundvattenförekomster utmed järnvägen med avseende på den kemiska ogräsbekämpningen. Det arbetet förväntas leda till att de grundvattenförekomster där risken för påverkan bedöms vara störst identifieras och i förlängningen kan man tänka sig att nya provplatser inom kontrollprogrammet bör etableras just i anslutning till sådana grundvattenförekomster. Grundvattenrörens placering inom varje provplats är inte heller utformad för att ge ett representativt värde för koncentrationen av förorenande ämnen i en grundvattenförekomst utan snarare för att maximera sannolikheten att hitta bekämpningsmedel som lakats ut från banvallen. Flera rör som provtar ytligt grundvatten är placerade i själva spåret, medan relativt få stickprov tas från andra delar av en eventuellt påverkad grundvattenförekomst och en enkel sammanvägning av dessa analysresultat ger därmed inte en rättvisande bild. En uppskattning av det årliga aritmetiska medelvärdet för Strömsheden år 2018 (platsen och året med högst uppmätta koncentrationer) utifrån enbart våra resultat ger t.ex. ett medelvärde på 0,15 µg/l, förutsatt att man räknar in vattenproven från uppströms och nedströms rör och viktat

analysresultaten utifrån antal utförda analyser i och utanför spåret, dvs. strax över riktvärdet. Provpplatsen Strömsheden ligger dock i ena kanten av en större sand-och grusförekomst som sträcker sig 20-talet km och har översiktligt bedömda uttagsvolymen på 2000–10 000 m³/dygn (VISS, 2020) så det är högst osannolikt att vårt lilla stickprov säger något alls om den genomsnittliga halten för hela grundvattenförekomsten.

Rent allmänt gäller att den som sprider bekämpningsmedel ska "1. göra det på ett sådant sätt att människors hälsa inte skadas eller människor vållas annan olägenhet och så att miljöpåverkan blir så liten som möjligt, och 2. vidta åtgärder för att motverka att medlet sprids utanför det avsedda spridningsområdet" (Miljöbalk (1998:08)). En tidigare utförd riskkaraktärisering visar att det är högst osannolikt att människors hälsa påverkas från Trafikverkets användning av glyfosatpreparat (Cederlund, 2015) och resultaten som sammanställts här förändrar inte den slutsatsen nämnvärt. Även om en del av de koncentrationer som uppmättes under 2018 var högre än dem som rapporterades inom miljökontrollprogrammets första period (och som beaktades i riskkaraktäriseringen) så rör det sig fortfarande om låga koncentrationer utifrån toxikologisk synvinkel. Värdet för acceptabelt dagligt intag (ADI-värdet) för glyfosat är för närvarande satt till 0,5 mg/kg kroppsvikt och det är inte möjligt för någon att få i sig så stora mängder genom att konsumera vatten med de koncentrationer som uppmätts inom ramen för miljökontrollprogrammet. Det finns dock alltjämt en risk att enskilda brunnar som ligger nära järnvägen skulle kunna kontamineras med koncentrationer som överskrider gränsvärdet för dricksvatten på 0,1 µg/l – speciellt gäller detta enskilda brunnar som ligger nära spåret och av någon anledning inte är kända för Trafikverket. Trafikverket arbetar på flera olika sätt för att motverka att medlet sprids utanför det avsedda spridningsområdet, bl.a. genom att använda sig av IR-styrd bekämpning som sprider preparatet bara där det växer ogräs, genom att inte bekämpa om det regnar eller blåser för mycket, genom att inte bekämpa i närheten av känsliga områden etc.

3.4. Utformningen av miljökontrollprogrammet idag och i framtiden

3.4.1. Bekämpningen av platserna i miljökontrollprogrammet

Bekämpningen av platserna som ingår i kontrollprogrammet har förändrats mellan de olika perioderna och dessa växlingar kan sägas representera en glidning fram och tillbaka mellan ett mer renodlat kontrollprogram och vad som skulle kunna karakteriseras mer som utlakningstester i fältskala (Gimsing et al., 2019).

Den ursprungliga tanken med miljökontrollprogrammet var att det främst skulle syfta till att utvärdera riskerna med den ordinarie ogräsbekämpningen. Utifrån ett sådant perspektiv är det rimligt att utforma programmet på ett sätt som mäter utlakningen på flera platser som besprutas så som de skulle ha besprutats i ordinarie drift. I idealfallet

informerar inte ens den bekämpande entreprenören om var platserna finns någonstans för att undvika att platserna särbehandlas på något vis. Ett sådant tillvägagångssätt är dock problematiskt om det misstänks att en del eller flera av provplatserna i normalfallet inte skulle bekämpas alls (t.ex. på grund av att där inte växer några ogräs) och det blir särskilt känsligt om endast ett fåtal platser ingår i miljökontrollprogrammet. Då det vid det ursprungliga urvalet av platser inte togs hänsyn till om platserna normalt sett skulle ha bekämpats beslutades i det första miljökontrollprogrammet att istället ändra upplägg och beordra bekämpning av samtliga platser med full dos – dvs. i praktiken mäta utlakningen i ett worst-case scenario snarare än att bedriva en kontroll av den ordinarie verksamheten. Detta ansågs dock vara ett bättre alternativ än att riskera att inte mäta något alls. Ett annat problem med urvalet av platser var att man inte beaktade om provplatserna låg nära andra potentiella användare av bekämpningsmedel. Detta ledde i ett fall till misstanke om att grundvattnets kontaminerats från en intilliggande jordbruksmark eftersom förhöjda halter detekterades även i referensrören.

Vid införandet av det andra miljökontrollprogrammet drogs ett antal lärdomar från den första omgången. Bl.a. valdes platser som var ogräsbevuxna och därmed normalt skulle bekämpas, som inte låg i nära anslutning till åkermark och idén om att mäta miljöpåverkan från den ordinarie driften, dvs. ett mer renodlat miljökontrollprogramstänk, återupptogs. En risk med ett sådant upplägg är dock att ogräsen på sträckan kan försvinna över tid som en följd av framgångsrik ogräsbekämpning eller andra typer av underhållsåtgärder. Då besprutningen är styrd av IR-sensorer som detekterar ogräs skulle det i värsta fall kunna innebära att inget ogräsbekämpningsmedel alls läggs ut på platserna. Fram till 2018 samlades inte heller in någon statistik över hur mycket glyfosat som spridits på provplatserna eller information om hur ogräsförekomsten förändrades över tid. Detta får anses vara en brist då mängden glyfosat som sprids ut torde vara den enskilda faktor som mest påverkar risken för utlakning till grundvatten och ansamling i ballast och underballast. Såväl insamlad besprutningsstatistik som de uppmätta halterna i banvallen indikerar också att flera av platserna inte har bekämpats i särskilt hög utsträckning under tidsperioden. Dessutom medför den IR-sensorstyrda bekämpningen att preparatet sprids ojämnt över banvallens yta beroende på var ogräsen växer. Detta representerar hur verkligheten ser ut men bedömningen är att det har gjort resultaten från miljökontrollprogrammet 2016–2019 svårtolkade.

För att underlätta tolkningen beslöt Trafikverket inför den tredje iterationen av miljökontrollprogrammet (2020–2023) att provplatserna åter skulle besprutas i enlighet med ett worst-case, dvs. hela försöksytan med full dos oavsett hur mycket ogräs som växer där. Då den utlagda mängden preparat per spårmeter är högre idag, på grund av den större sprutbredden, samtidigt som de i normalfallet utlagda mängderna är lägre, på grund av att IR-sensorstyrningen generellt reducerar förbrukningen per ytenhet, utgör detta worst-case ett mer extremt och mindre representativt scenario än motsvarande worst-case i det första miljökontrollprogrammet. Inför uppstarten fanns därför också en tanke om att bespruta provplatserna i enlighet med vad som vore ett "representativt

worst-case” – dvs. en hög (men inte helt osannolik) dos jämnt utspridd över provplatsen – kanske en dos som motsvarar den 95:e percentilen av utlagda mängder på normalt bekämpade 100-meters intervall. Detta hade dock förutsatt att det fanns information över den statistiska fördelningen av utlagda mängder tillgängliga och att ogräsbekämpningståget skulle behöva ställa om sin dosering varje gång den passerade en provplats, istället för att som idag bara manuellt aktivera all sprutmunstycken. Förutsatt att det är tekniskt möjligt att genomföra kan detta dock vara något att överväga i framtiden.

3.4.2. Provplatser, grundvattenrör och provtagning

Idag har miljökontrollprogrammet som huvudfokus att mäta utlakningen till grundvattnet direkt under spåret, med flera grundvattenrör placerade inom själva spårområdet. Men förutsatt att en målsättning med kontrollprogrammet är att undersöka om det finns en oacceptabel påverkan på *omgivningen* vore det rimligt att fokusera mer på att mäta hur glyfosat sprids från järnvägen, med fler provtagningspunkter i grundvattnet utanför själva spårområdet. Detta är inte nödvändigtvis helt oproblematiskt då det innebär att fler rör kan komma att behöva installeras utanför Trafikverkets egen fastighetsgräns. När fler rör installeras vid sidan av järnvägen blir det också viktigare att fundera över hur man bör gå tillväga för att demonstrera den hydrauliska konnektiviteten, t.ex. genom användning av en tracer (Gimsing et al., 2019) för att verifiera att grundvattnet verkligen flödar i förutspådd riktning och hur snabbt det flödar.

Med tanke på att vattenförvaltningen fokuserar på förvaltning av grundvattenförekomster känns det rimligt att tänka sig att man borde beakta det mer vid urvalet av platser och att en ny provtagningsyta skulle kunna etableras i anslutning till en grundvattenförekomst som bedöms ha förhöjd risk för påverkan. Data från provtagningen där skulle kunna fungera som underlag för en fördjupad riskbedömning. Det är förmodligen också nödvändigt att kombinera sådana mätdata med en konceptuell modell av hur grundvattenförekomsten sträcker sig utmed järnvägen, hur stor volym och omsättning grundvattenförekomster har etc. för att kunna bedöma risken.

Idag sker provtagning av provplatserna vid 3 tillfällen, en provtagning tidigt på säsongen, innan besprutningen utförs, en provtagning ca 10–15 dagar efter utförd bekämpning och en provtagning ca 3 månader efter utförd bekämpning. Resultaten visar att det är vid provtagningen efter ca 3 månader som de högsta koncentrationerna har uppmätts. Om detta beror på att det tar 3–4 månader för glyfosat att transporteras ned till grundvattenzonen eller om det snarare är så att utlakning är mer sannolik under höstmånaderna är oklart. Med tanke på att det är så stora skillnader i grundvattendjup mellan de olika platserna (Tabell 2,3 och 4) så skulle man också förvänta sig att det skulle kunna ta olika lång tid för glyfosatet att nå grundvattnet på olika platser – det är därför svårt att ge generella rekommendationer för när man borde provta för att maximera sannolikheten att hitta glyfosat och AMPA.

3.5. Slutsatser

Resultaten visar att även om koncentrationerna generellt är låga så kan glyfosat och AMPA i vissa fall nå (ytligt) grundvatten direkt under spåret. Koncentrationerna som uppmättes i grundvattnet under hösten 2018 var förhöjda på flera av provplatserna vilket förmodligen kan härledas till den extremt torra sommaren det året men det är svårt att definitivt bevisa att så är fallet. Den vidare spridningen i grundvattnet tycks vara begränsad då få detektioner av glyfosat och AMPA har gjorts i de grundvattenrör som ligger vid sidan av själva spårområdet. Även antalet grundvattenrör avsedda för att mäta spridningen i grundvattnet är dock begränsade och förutsatt att en målsättning med kontrollprogrammet är att uppskatta spridningen till omgivningen borde man förmodligen satsa på att installera fler grundvattenrör vid sidan om banvallen. För att helt utesluta att utlakad bekämpningsmedel i vissa fall skulle kunna försämra den kemiska statusen hos vissa grundvattenförekomster behöver detta studeras mer i detalj, kanske genom att etablera en ny provplats i någon av de grundvattenförekomster där risken för påverkan bedöms vara som störst och på sikt använda resultaten för att göra en fördjupad riskbedömning.

Halterna som uppmätts i själva banvallen under miljökontrollprogrammets andra period (2015–2019) visar inga tendenser till att öka över tid, och är inte orimliga utifrån använd dos och en förväntad halveringstid på 4 ± 2 månader. Låga halter på flera av provplatserna indikerar dock att de förmodligen har bekämpats endast i begränsad utsträckning och en identifierad brist med miljökontrollprogrammet andra period är just att kontrollen av i vilken utsträckning provplatserna som ingått i programmet *de facto* har besprutats har varit otillräcklig.

Det har visat sig svårt att hitta ett upplägg för hur provsträckorna ska bekämpas som uppfyller målsättningen att mäta miljöpåverkan från den ordinarie bekämpningen och som samtidigt kan ge ett resultat som är enkelt att tolka. Under miljökontrollprogrammets första period (2006–2010) valdes provplatser ut som inte hade någon ogräspåväxt men som i samtliga fall bekämpades som om de vore helt täckta av ogräs. Detta ledde förmodligen till en överskattning av risken för utlakning. I den andra perioden (2015–2019) bekämpades provplatserna utifrån ordinarie drift, med ett fläckvis besprutningsmönster styrt av ogräsförekomsten. Detta återspeglar hur ogräsbekämpningen har bedrivits men har å andra sidan gjort resultaten svårtolkade, inte minst eftersom man inte fullt ut har kontrollerat hur provplatserna har bekämpats.

Referenser

- Bento, C. P. M., Yang, X., Gort, G., Xue, S., van Dam, R., Zomer, P., Mol, H. G. J., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2016). Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. *Science of The Total Environment*, 572, 301–311.
- Birgersson, C., & Cederlund, H. (2020). *PM - Nationellt kontrollprogram för kemisk ogräsbekämpning med glyfosat på järnvägen 2020*. Trafikverket.
- Börjesson, E., Torstensson, L., & Stenström, J. (2004). The fate of imazapyr in a Swedish railway embankment. *Pest Management Science*, 60, 544–549.
- Cederlund, H. (2015). *Risikkaraktärisering av oavsiktlig spridning av glyfosat vid ogräsbekämpning på järnväg*.
http://pub.epsilon.slu.se/12391/1/cederlund_h_150622.pdf
- Cederlund, H. (2016). *Studier av ogräsbekämpning på banvallar 2006-2015 - resultat och slutsatser från 10 års tillämpad forskning*.
<https://pub.epsilon.slu.se/13674/>
- Cederlund, H., Börjesson, E., Jonsson, E., & Thierfelder, T. (2012). Degradation and leaching of fluroxypyr after application to railway tracks. *Journal of Environmental Quality*, 41, 1884–1892.
- Cederlund, H., Thierfelder, T., & Stenström, J. (2008). Functional microbial diversity of the railway track bed. *Science of the Total Environment*, 397, 205–214.
- EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2000/60/EG av den 23 oktober 2000 om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område, (2000).
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:02000L0060-20141120>
- EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2006/118/EG av den 12 december 2006 om skydd för grundvatten mot föroreningar och försämring, (2006).
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:02006L0118-20140711>
- FOCUS. (1997). *Soil persistence models and EU registration*.
https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_ppp_app-proc_guide_fate_soil-persistence-1997.pdf
- Gimsing, A. L., Agert, J., Baran, N., Boivin, A., Ferrari, F., Gibson, R., Hammond, L., Hegler, F., Jones, R. L., König, W., Kreuger, J., van der Linden, T., Liss, D., Loiseau, L., Massey, A., Miles, B., Monrozier, L., Newcombe, A., Poot, A., ... Ulrich, U. (2019). Conducting groundwater monitoring studies in Europe for pesticide active substances and their metabolites in the context of Regulation (EC) 1107/2009. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 14, S1–S93.
- HIFAB. (2016). *Nationellt kontrollprogram för provtagning av bekämpningsmedel*.
- Jarvis, N. J., Almqvist, S., Stenström, J., Börjesson, E., Jonsson, E., & Torstensson, L. (2006). Modelling the leaching of imazapyr in a railway embankment. *Pest Management*

- Science*, 62, 940–946.
- Jonsson, E. (2011). *Miljökontrollprogram för kemiska bekämpningsmedel - Slutrapport*.
- Jonsson, E., & Werner, K. (2005). *Miljökontrollprogram för kemisk ogräsbekämpning*.
- Klein, M. (2018). *ESCAPE - Estimation of Soil Concentration After Pesticide applications* (2.0). Fraunhofer Institut.
https://www.ime.fraunhofer.de/en/Research_Divisions/business_fields_AE_BR/Businessareas_AE/Software_E/Escape.html
- Förordning 2004:660 om förvaltning av kvaliteten på vattenmiljön, (2004).
https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2004660-om-forvaltning-av_sfs-2004-660
- Miljöbalk (1998:08). https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808
- Moyano, F. E., Manzoni, S., & Chenu, C. (2013). Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models. *Soil Biology & Biochemistry*, 59, 72–85.
- NIRAS. (2017). *Nationellt kontrollprogram bekämpningsmedel - Årsrapport 2017*.
- NIRAS. (2019). *Nationellt kontrollprogram bekämpningsmedel - Årsrapport 2018*.
- NIRAS. (2020). *Nationellt kontrollprogram bekämpningsmedel - Årsrapport 2019*.
- Peters, E. (2012). *Spridning av bekämpningsmedel i banvall - Modellutveckling och känslighetsanalys*. http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Erica_Peters.pdf
- Schmidt, B., Siegesmund, B., Eheses, H., Zietz, E., & Mersch, H. (1999). *Risk of groundwater pollution from weed control on railway tracks* (A. A. M. Del-Re, C. Brown, E. Capri, & M. Trevisan (Eds.); pp. 591–597). La Goliardica Pavese s.r.l.; Pavia; Italy.
- Schroll, R., Becher, H. H., Dörfler, U., Gayler, S., Grundmann, S., Hartmann, H. P., & Ruoss, J. (2006). Quantifying the effect of soil moisture on the aerobic microbial mineralization of selected pesticides in different soils. *Environmental Science & Technology*, 40, 3305–3312.
- SGU-FS 2013:2 Sveriges geologiska undersökning föreskrifter om miljö kvalitetsnormer och statusklassificering för grundvatten, (2013).
<http://resource.sgu.se/dokument/om-sgu/foreskrifter/sgu-fs-2013-2.pdf>
- Sveriges geologiska undersökning (SGU). (2020). *SGU:s hemsida - Grundvattenförekomster*.
<https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/vattenforvaltning-av-grundvatten/sgus-foreskrifter-om-kartlaggning-och-analys-sgu-fs-2013-1/grundvattenforekomster/>
- SWECO. (2015). *Nationellt kontrollprogram för provtagning av bekämpningsmedel*.
- Torstensson, L. (2007). *Samarbetet mellan banverket och Sveriges Lantbruksuniversitet rörande ogräsbekämpning på banvallar 1985-2005*. Institutionen för mikrobiologi, SLU.
- Torstensson, L., Börjesson, E., & Stenström, J. (2005). Efficacy and fate of glyphosate on Swedish railway embankments. *Pest Management Science*, 61, 881–886.
- Vectura. (2011). *Trafikverket kontrollprogram bekämpningsmedel - Simulering av imazapyrtransport i banvall*.
- VISS - Vatteninformationssystem Sverige. (n.d.).
viss.lansstyrelsen.se
- Yan, Z., Liu, C., Todd-Brown, K. E., Liu, Y., Bond-Lamberty, B., & Bailey, V. L. (2016). Pore-scale investigation on the response of heterotrophic respiration to moisture conditions in heterogeneous soils. *Biogeochemistry*, 131, 121–134.