



UPPSALA
UNIVERSITET



UPTEC W 2020

Examensarbete 30 hp
Juni 2020

Ogräsbekämpning på järnväg

En jämförande studie av alternativ till
glyfosat

Clara Magnusson

Referat

Ogräsbekämpning på järnväg - En jämförande studie av alternativ till glyfosat

Clara Magnusson

På Sveriges järnvägsnät bekämpas ogräs med det kemiska bekämpningsmedlet glyfosat. En omställning är nu på gång och fler bekämpningsmetoder behöver introduceras, bland annat för att motverka resistensutveckling hos ogräsen.

I detta arbete jämfördes bekämpning med pelargonsyra, hetvatten, vattenånga och elektricitet med avseende på effektivitet, kostnad, energi- och vattenåtgång. Glyfosat användes som referens. Jämförelsen gjordes genom att sammanställa tillgängliga forskningsrapporter. Bekämpningsmetodernas användbarhet analyserades genom att uppskatta resursåtgången för att ersätta den kemiska bekämpningen på linjen eller driftplatser, eller för att bekämpa restriktionsytor. Det undersöktes också huruvida kostnaden för ogräsbekämpning över tid har betydelse för val av ballastfri järnväg.

Resultatet visade att de alternativa metoderna är både dyrare och kräver en högre energi- och vattenåtgång än glyfosat. De ger också en mindre effektiv ogräsbekämpning och upprepade behandlingar behöver därför göras under växtsäsongen. Detta i kombination med att de med dagens teknik appliceras i låg hastighet gör bekämpningen dyr och tidskrävande.

För att kunna säga i vilken omfattning de alternativa bekämpningsmetoderna är möjliga att implementera behövs riktlinjer för vilken kostnad, effektivitet samt vatten- och energiåtgång som kan tolereras. Resultatet tyder på att det kan vara möjligt att införa alternativa bekämpningsmetoder på driftplatser och restriktionsytor. För att ersätta glyfosat längs hela järnvägslinjen behöver de utvecklas, speciellt med avseende på effektivitet. För bekämpning med hetvatten och vattenånga var den stora vattenåtgången en stor nackdel.

Bekämpningsmetodernas kostnad utgjorde under 5 % av det totala underhållsbehovet på en ny järnväg av ballast. Den ökade kostnaden för ogräsbekämpning ledde som mest till att en ballastfri järnväg blev lönsam två år tidigare för de alternativa metoderna än för glyfosat. Valet mellan en ballasterad och ballastfri järnväg bedömdes inte påverkas nämnvärt av detta. Dock identifierades faktorer som kan göra bekämpningskostnaden högre än vad den här rapporten har kunnat påvisa. Vid en omställning från glyfosat till alternativa metoder bör man därför vid lönsamhetsberäkningar för ny järnväg vara vaksam på vad bekämpningen på det ballasterade alternativet skulle kosta.

Nyckelord: Järnväg, ogräsbekämpning, underhåll, ballastfri, glyfosat, pelargonsyra, hetvatten, vattenånga, elektricitet

Institutionen för molekylära vetenskaper, Biocentrum, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Almars Allé 5, Box 7015, SE-750 07 Uppsala.

Abstract

Vegetation control on railway tracks - A comparative study of alternatives to glyphosate

Weeds are growing along the Swedish railway network. In order for them to not cause problems they are being removed chemically with the herbicide glyphosate. Due to problems such as a risk for an increase in weeds that are tolerant to glyphosate alternative methods for weed control are now being considered.

This report compared pelargonic acid, hot water, hot water steam and electricity as control methods in terms of efficacy, cost, energy and water consumption. Glyphosate was used as a reference. The comparison was made by reviewing available research articles. The usability of the control methods was then analysed by estimating the use of resources necessary to implement each method for three different scenarios. Whether the choice between a ballasted or fixed rail was affected or not by the cost for weed control was also investigated.

The results showed that the alternative weed control methods required more energy and water than glyphosate. They also provide less effective weed control which means repeated treatments are necessary during the growing season. This, combined with a low application speed, makes the weed control expensive and time consuming.

To be able to say to what extent each control method is possible to implement guidelines are needed for tolerated cost, effectiveness, energy- and water consumption. The result suggests that it is possible to introduce alternative control methods to a certain extent. However, in order to replace glyphosate along the entire main line, the methods all need to be developed, especially in terms of effectiveness. For hot water and steam treatment there is also a need for a decrease in water consumption.

The cost for weed control accounted for less than 5 % of the total cost for maintenance on a new ballasted railway. The rise in cost due to alternative weed management resulted in the fixed track becoming profitable up to two years earlier with the alternative management compared to glyphosate. The choice between a ballasted and fixed track was not considered to be significantly affected by this. However, factors were identified that could make the cost of weed control higher than this report showed. Therefore, when alternative methods are introduced, one should consider the cost for weed control on the ballasted track when making the choice between the two types of tracks.

Key words: Railway, weed management, weed control, maintenance, fixed track, slab-track, glyphosate, pelargonic acid, hot water, steam, electricity

Department of Molecular Sciences, BioCentre, The Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Almas allé 5, Box 7015, SE-750 07, Uppsala, Sweden.

Förord

Det här är ett examensarbete som omfattar 30 högskolepoäng och avslutar civilingenjörsutbildningen i miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet.Handledare för arbetet har varit Jonas Forsman på Iterio AB. Harald Cederlund på institutionen för mikrobiologi på Sveriges Lantbruksuniversitet har varit arbetets ämnesgranskare. Tack Jonas för att du tog dig an handledaruppdraget och lotsade mig igenom ett projekt som gav insikter i hur miljökonsulter, akademiker och myndigheter kan samverka i ett projekt. Tack Harald för att du så generöst och pedagogiskt delat med dig av din expertis i ämnet och dina kontakter på Trafikverket. Stort tack till er båda för all er tid och värdefulla hjälp.

Jag vill även rikta ett stort tack till Hanna Lundqvist, Jan-Erik Lundh och Anders Colling Sileborg på Trafikverket som bistått med information som varit helt nödvändig för examensarbetet. Slutligen vill jag tacka familj och vänner för pepp och stöd och speciellt min mamma Ulrika Magnusson som hjälpt mig nysta i lösa trådar.

Clara Magnusson
Uppsala, maj 2020

Populärvetenskaplig sammanfattning

Längs med Sveriges järnvägar växer ogräs som orsakar säkerhetsproblem eftersom de försvårar underhållsarbete, förlänger bromssträckor och skymmer lågt sittande signaler längs med banan. Det är viktigt att inte låta dessa växa sig för stora och talrika och därför ogräsbekämpas järnvägen varje sommar. Detta är ett omfattande arbete. Genom historien har flera bekämpningsmedel använts, varav vissa visat sig ha oacceptabla egenskaper. Fortfarande används kemisk bekämpning, men nu med noggrann kontroll av miljö- och hälsoeffekter samt med teknik som förebygger onödig användning av bekämpningsmedlet. Det ämne i medlet som orsakar ogräsen död heter glyfosat. En bekämpning med mer gynnsam avvägning mellan effektivitet och negativ miljöpåverkan har visat sig svår att hitta.

Vissa ogräs är tåliga mot glyfosat och gynnas därför av bekämpningen då de får mer utrymme att växa på. Dessa ogräs sprider sig över landet och gör att bekämpningens effektivitet minskar. Detta i kombination med målsättningar om en giftfri miljö på nationell nivå och hot om förbud för glyfosat inom EU talar för att alternativa bekämpningsmetoder behöver introduceras. Redan år 2022 skulle ett förbud kunna vara ett faktum, och en ny strategi för ogräsbekämpning behövs i så fall snabbt. Problemet är att det än så länge inte finns något bra alternativ till glyfosat.

Det pågår forskning och utveckling kring olika alternativa bekämpningsmetoder. I den här rapporten sammanställs forskarnas resultat vad gäller kostnad, energi- och vattenåtgång för bekämpning med pelargonsyra, hetvatten, vattenånga och elektricitet. En sammanställning av vad forskarna kommit fram till ger en bra och övergripande bild av bekämpningsmetodernas egenskaper och möjliggör en jämförelse. Vid utformning av en ny strategi för ogräsbekämpning behövs underlag likt detta.

Pelargonsyra är en organisk syra som finns naturligt i miljön och betraktas ofta som mindre toxisk än glyfosat. Hetvatten, vattenånga och elektricitet är inte toxiska. Dessa bekämpningsmetoder går därmed i linje med miljö kvalitetsmålet om en giftfri miljö. Metoderna påverkar dock miljön på andra sätt. Det här arbetets sammanställning har visat att metoderna har en hög energi- och vattenåtgång, mycket högre än vid bekämpning med glyfosat. Att avgöra vilken bekämpningsmetod som är bäst för miljön är därför inte så enkelt.

För alla alternativa metoder behövde upprepade behandlingar utföras under växtsäsongen med anledning av för låg effektivitet eller för snabb återväxt av ogräs. Därtill var den maximala appliceringshastigheten mindre än 10 km/h, som kan jämföras med 50 km/h för glyfosat. Det gör att varje behandling tar lång tid. Eftersom så mycket tid går åt blir de alternativa behandlingarna betydligt dyrare än glyfosat.

För bekämpning med hett vatten och vattenånga var det tydligt att vattenåtgången var väldigt hög och den bedömdes därför försvåra en användning i stor skala. Med en vattentank som rymmer hundra tusen liter kan bara runt tio mil järnväg bekämpas innan vattnet är slut, och under en sommar behövs ungefär

fem tusen mil bekämpas. Att behöva fylla på vattentankarna så frekvent är inte rimligt eftersom den tid som finns tillgänglig i spåret för bekämpning är begränsad. Spårtiden måste ju delas med alla vanliga tågavgångar också!

Efter analys av bekämpningsmetodernas användbarhet framträdde restriktionsytor, där kemisk bekämpning inte är tillåten, och driftplatser, där bekämpningen idag redan utförs i låg hastighet, som mest lämpliga att bekämpa med alternativa metoder. Ett första steg kan därför vara att byta kortare sträckor av glyfosatbekämpningen mot alternativa metoder. Platsanpassad bekämpning kan också vara ett sätt att underlätta en introducering av nya metoder. Är sträckan bevuxen i relativt låg grad eller av känsliga ogräs kan en alternativ metod vara lätt att använda. Det är även möjligt att bekämpningen idag sker onödigt omfattande och om behovssträckan minskar ökar potentialen för de alternativa bekämpningsmetoderna.

Under järnvägsspåret ligger grus eller makadam som kallas för ballast, genom denna kan ogräs tränga fram. Men all järnväg är inte konstruerad så - det finns även ballastfri järnväg där rälsen istället är fäst i betong. Då är investeringskostnaden för banan högre, men bekämpningsbehovet försvinner helt eller delvis. Det här arbetet undersökte om kostnad för ogräsbekämpning bör påverka valet mellan en järnväg med eller utan ballast.

Resultatet blev att bekämpningskostnaden inte utgör en betydande andel av det totala underhållet. Faktorer som kan göra bekämpningskostnaden högre än vad den här rapporten har kunnat påvisa har dock identifierats. Till exempel förväntas växtsäsongen förlängas till följd av klimatförändringar vilket skulle innebära ett ökat bekämpningsbehov. Vid en omställning från glyfosat till alternativa metoder bör man därför vid lönsamhetsberäkningar för ny järnväg vara vaksam på vad bekämpningen på det ballasterade alternativet skulle kosta.

Sammanfattningsvis kommer det inte bli enkelt att fasa ut glyfosat. Att blunda för problemet och inte försöka är inte ett alternativ. Andra länder jobbar också för en omställning och det kommer vara intressant att följa deras lösningar på denna utmaning parallellt med egna nationella satsningar.

Innehåll

1	Inledning	10
1.1	Projektets bakgrund	10
1.2	Syfte	10
1.3	Mål och frågeställningar	11
2	Bakgrund	12
2.1	Var och varför ogräs är ett problem	12
2.2	Järnvägens konstruktion	12
2.3	Ogräsbekämpning idag	14
2.4	Glyfosat	14
2.5	Glyfosatresistens	15
2.6	Alternativa bekämpningsmetoder	15
2.6.1	Pelargonsyra	15
2.6.2	Hetvatten och vattenånga	16
2.6.3	Elektricitet	16
2.7	Bekämpningsmetodernas toxiska effekter	17
2.8	Viktiga förutsättningar för bekämpningsmetoder på järnväg	17
2.9	Nya höghastighetsjärnvägar i Sverige	18
2.10	Klimatförändringar och klimatavtryck	18
3	Metod	19
3.1	Metod för mål 1: Möjliggöra en jämförelse mellan olika ogräsbekämpningsmetoder	19
3.2	Glyfosatets referensvärden	21
3.3	Metod för mål 2: Analys av bekämpningsmetodernas användbarhet	23
3.4	Metod för mål 3: Belys om kostnad för ogräsbekämpning bör påverka kravställning av ny järnväg	26
4	Resultat	27
4.1	Mål 1: Möjliggöra en jämförelse mellan olika ogräsbekämpningsmetoder	27
4.1.1	Bekämpningsmetodernas effektivitet	27
4.1.2	Energiåtgång	27
4.1.3	Vattenåtgång	29
4.1.4	Kostnad	30
4.2	Mål 2: Analys av bekämpningsmetodernas användbarhet	30
4.2.1	Scenario 1: Bekämpning med alternativa bekämpningsmetoder med ett tåg med motsvarande vattentank som dagens bekämpningståg (Weedfree On Track).	30
4.2.2	Scenario 2: Bekämpning med alternativa bekämpningsmetoder på driftplatser.	31
4.2.3	Scenario 3: Bekämpning med alternativa bekämpningsmetoder på restriktionsytor.	32
4.3	Mål 3: Belys om kostnad för ogräsbekämpning bör påverka kravställning av ny järnväg	33

5	Diskussion	34
5.1	Diskussion om resultatet för Mål 1: Möjliggöra en jämförelse mellan olika ogräsbekämpningsmetoder	34
5.1.1	Effektivitet	34
5.1.2	Energiåtgång	35
5.1.3	Vattenåtgång	36
5.1.4	Kostnad	36
5.1.5	Toxicitet	36
5.1.6	Osäkerheter i jämförelsen i mål 1	36
5.2	Diskussion om resultatet för Mål 2: Analys av bekämpningsmetodernas användbarhet	37
5.3	Diskussion om resultatet för Mål 3: Belys om kostnad för ogräsbekämpning bör påverka kravställning av ny järnväg	39
5.4	Drivkrafter för fortsatt utveckling av alternativa metoder	40
5.5	Vidare studier	40
6	Slutsatser	40
A	Appendix A - Diagram över processen för att välja forskningsstudier att inkludera	I
B	Appendix B - Energiåtgång	II
C	Appendix C - Vattenåtgång	III
D	Appendix D - Inkluderade studier	IV
E	Appendix E - Exkluderade studier	VII

Ordlista

Ballast	Det material som ligger runt och under ett järnvägsspår. Ofta sand, grus eller makadam (Encyklopedin u.å.[a]).
Ballastfritt spår	En bantyp där järnvägsspåret är fäst i betong istället för att stabiliseras av ballast.
Driftplats	Ett område avgränsat från järnvägslinjen som kan övervakas mer detaljerat (Järnvägsstyrelsen 2008).
ECHA	European Chemicals Agency. Europeiska kemikaliemyndigheten.
EFSA	European Food Safety Authority. Myndigheten för livsmedelssäkerhet.
Glyfosat	Ett ogräsbekämpningsmedel för bekämpning av ogräs (Encyklopedin u.å.[b]).
IARC	Världshälsoorganisationens (WHO) särskilda avdelning för cancerforskning International Agency for Research on Cancer.
Linjen	Banan utanför driftplatsens gränser (Järnvägsstyrelsen 2008).
Makadam	Krossat stenmaterial (Encyklopedin u.å.[c]).
Restriktionsyta	Trafikverkets benämning på känsliga områden där inte kemisk ogräsbekämpning får utföras (Trafikverket 2020a).
Roundup	Ett växtbekämpningsmedel med glyfosat som verksamt substans (Encyklopedin u.å.[d]).
UIC	Union Internationale des Chemins de fer. Ett samarbetsorgan för företag inom järnvägssektorn.
Weedfree on Track	Entreprenören som utför den kemiska ogräsbekämpningen längst linjen. De äger det tåg som utför bekämpningen.

1 Inledning

1.1 Projektets bakgrund

Järnvägsnätet är, och har sedan länge varit, en viktig del av Sveriges infrastruktur. Idag pågår både upprustning och utbyggnad av järnvägen och den spelar en nyckelroll i omställningen till ett fossilfritt transportsystem. Längs med järnvägen växer mycket ogräs som behöver tas bort för att inte generera problem. Tidigare har kemiska bekämpningsmedel använts som sedan visat sig vara giftiga för människa eller har haft hög persistens och risk för spridning i omkringliggande miljö (Andersson, Axelson et al. 1980; Torstensson 2007). Fortfarande används kemisk bekämpning, men nu med högre precision och noggrann kontroll av hälso- och miljöeffekter. Bekämpningsmedlet heter Roundup Ultra och innehåller den verksamma beståndsdel glyfosat.

Motståndarna till glyfosat är många och har funnits under en lång tid. Anledningarna till motståndet varierar och kan diskuteras, och det finns källor som klassificerat ämnet som ”möjligen cancerframkallande” (IARC 2015), samtidigt som andra säger det motsatta (European Commission u.å.). Det finns en risk för ett förbud mot glyfosat i framtiden. Vissa ogräs har även utvecklat resistens mot glyfosat vilket kan göra att kompletterande bekämpningsmedel behövs för att uppnå samma effekt.

Kemisk bekämpning med glyfosat har hittills bedömts vara bättre än andra bekämpningsmetoder när kostnad, effekt och miljöpåverkan vägts samman. Appliceringen kan utföras med relativt hög hastighet vilket är viktigt eftersom tiden för underhållsarbete i spåren är begränsad. Därför har det inte funnits incitament att ta fram kemiska alternativ, vilket är en mycket kostsam process - det finns ju redan ett medel som fungerar väl. När det gäller icke-kemiska alternativ finns det dock en hög efterfrågan och arbetet har pågått länge, utan att nå fram till någon alternativ metod som är optimal i stor skala.

Trots bristen på bra alternativa bekämpningsmetoder är ett skifte från kemisk bekämpning med glyfosat ett scenario som kan bli aktuellt redan vid glyfosatets omprövande i EU år 2022. Trafikverket sköter upphandlingen av utförandet av bekämpningen och behöver därför ha en beredskap för att kunna byta bekämpningsmetod. De behöver en strategi för en framtid där glyfosat är förbjudet, vilket de också arbetar med att ta fram.

1.2 Syfte

Detta arbete ska sammanställa relevant kunskap om utvalda ogräsbekämpningsmetoder på järnväg i syfte att utvärdera dess för- och nackdelar som alternativ till glyfosat vid ogräsbekämpning på svensk järnväg. Rapporten ska redovisa miljöeffekter, kostnader och användbarhet för de olika metoderna på ett sådant sätt att de kan jämföras med varandra. Rapporten ska även föra ett resonemang om möjligheter och utmaningar med ballastfria järnvägar som anses minimera ogräsbekämpningsbehovet.

En tänkbar tillämpning av arbetet är att utgöra ett underlag vid Trafikverkets utformning av en ogräsbekämpningsstrategi. En strategi som ökar beredskapen inför ett scenario där användning av glyfosat antingen inte är möjlig på grund av ett förbud, eller behöver minskas på grund av resistensproblematiken.

1.3 Mål och frågeställningar

För att uppnå syftet formuleras tre mål med tillhörande frågeställningar.

Mål 1: Möjliggöra en jämförelse mellan olika ogräsbekämpningsmetoder

Ogräsbekämpningsmetoderna som behandlas i den här rapporten är:

- Pelargonsyra
- Hetvatten
- Vattenånga
- Elektricitet

Metoderna jämförs med avseende på kostnad, energi- och vattenåtgång. Motsvarande värden för glyfosat används som referens. Frågeställningar som ska besvaras är:

- Med tillgänglig forskning som grund, hur effektiv är respektive bekämpningsmetod och med vilken körhastighet kan den appliceras?
- Med tillgänglig forskning som grund, hur hög kostnad, energi- och vattenåtgång har respektive bekämpningsmetod?

Mål 2: Analys av bekämpningsmetodernas användbarhet

Resultatet i jämförelsen (mål 1) prövas utifrån ett användbarhetsperspektiv. Frågeställningar som ska besvaras är:

- Hur realistiskt är det att någon av metoderna ska kunna användas i praktiken?
- I vilka avseenden behöver metoderna förbättras för att helt eller delvis kunna ersätta dagens bekämpningsmetoder?

Mål 3: Belys om kostnad för ogräsbekämpning bör påverka kravställning av ny järnväg

Arbetet ska undersöka om kostnad för ogräsbekämpning är något som borde tas hänsyn till i planeringsstadiet av ny järnväg, i valet mellan ballasterad och ballastfri järnväg. Frågeställningar som ska besvaras är:

- Hur stor del av underhållskostnaden för en ny ballasterad järnväg utgörs av kostnader för ogräsbekämpning med respektive metod i jämförelsen (mål 1).
- Skulle ogräsbekämpningens ökade kostnad vid en omställning till alternativa metoder ha betydelse för valet mellan ballastfri och ballasterad järnväg?

2 Bakgrund

2.1 Var och varför ogräs är ett problem

Växtlighet på järnvägen orsakar problem i form av bland annat förlängda bromssträckor, försvårad framkomlighet vid underhållsåtgärder och skymda signaler. På längre sikt kan växterna även försämra banans stabilitet, bland annat då de via rötterna leder vatten till banvallen som kan frysa och svälla och därmed orsaka rörelse av ballasten (Trafikverket 2020b).

Det finns två huvudsakliga typer av järnvägar; ballasterade spår och ballastfria spår. Ogräs växer främst på de ballasterade järnvägarna. Bland dessa finns äldre bantyper av grus och finkornigt material och nyare banor av makadam. I allmänhet växer det mer ogräs på äldre banvallar av grus och mindre ogräs på nyare banor med ett tjockare makadamlager (Cederlund 2016; Vectura 2011).

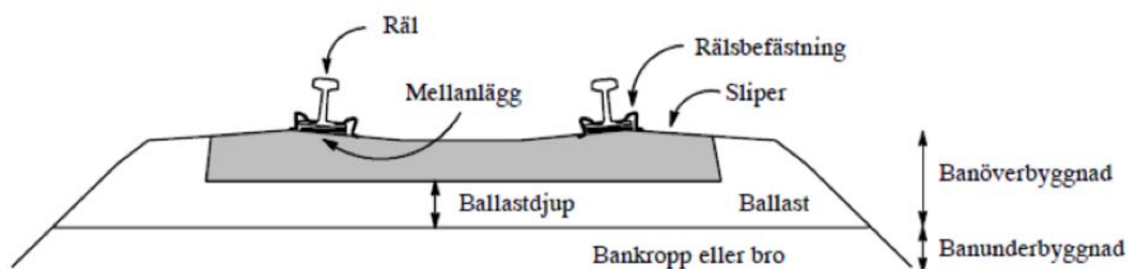
2.2 Järnvägens konstruktion

Ogräs växer olika bra på olika ytor och därför är det viktigt att känna till hur järnvägen är uppbyggd.

Ett ballasterat spår består av rälsens så kallade räler, från början gjorda i järn men numera i olika typer av stål. Rälerna är vinkelrätt fästa på slipers av betong eller trä. Dessa vilar i sin tur på ett ballastlager av makadam. Ovan nämnda komponenter utgör tillsammans banöverbyggnaden. En järnväg är uppbyggd av en överbyggnad och en underbyggnad. Under banöverbyggnaden finns banunderbyggnaden, även kallad banvallen. Den består av fler ballastlager, av till exempel bergkross, gruskross och jord som ska ge banvallen stabiliserande och frostisolerande egenskaper (Andersson, Berg, Casanueva et al. 2018), se figur 1 och 2.



Figur 1: En ballasterad bana där räls, slipers samt ballast visas (Andersson, Berg & Stichel 2016).



Figur 2: En genomskärning av en konventionell bana av ballast med namngivna komponenter (Andersson, Berg & Stichel 2016)

På en ballastfri järnväg ligger istället rälsen fäst i betong, vilket ska göra järnvägen mer stabil och hållbar och därmed minska behovet av underhåll (Gailiené & Ramunas 2019). En sådan bana kräver en stabil grund och behöver ofta grundläggas ända ner till berggrunden. Denna typ av bana är mycket dyrare att anlägga, men kan bli lönsam långsiktigt tack vare minskade underhållskostnader (Trafikverket 2017). En ballastfri bana skulle motverka uppkomsten av ogräs och är därför intressant för den här rapporten.

Det finns olika typer av ballastfria spår varav två visas i figur 3. I figur 3a visas ett spår där rälsen är fäst på slipers som gjutits in i betong. Rälsen i figur 3b är istället fäst på prefabricerade betongplattor. Genom att studera bilderna kan det identifieras att den sistnämnda typen har springor mellan blocken. På en ballastfri järnväg kan någon typ av sopning eller spolning med vatten behövas för att få bort organiska rester från banan. Dessa kan annars antas bidra till en jordmån där ogräs kan gro. Ogräs kan även tänkas förekomma i springor mellan betongplattor eller sprickor som uppkommit.



(a) Ballastfritt spår där slipers gjutits ned i betong.



(b) Ballastfritt spår med prefabricerade betongplattor.

Figur 3: Exempel på två ballastfria bantyper (Andersson, Berg, Casanueva et al. 2018)

Trafikverket skriver i sin utbyggnadsstrategi för höghastighetsjärnvägar (2017) att det för dessa banor kan finnas fördelar med ett ballastfritt system. Gedigna jämförelser av ett ballasterat respektive ballastfritt system genomförs därför vid planering av ny höghastighetsjärnväg. I jämförelsen ingår många parametrar. En av de mest intressanta för denna rapport är livscykelkostnadsanalysen (LCCA) där kostnaden utvärderas för hela järnvägens livscykel. I denna analys ingår även underhållskostnader och resultatet visar ofta att en ballastfri järnväg tack vare sitt låga underhållsbehov blir lönsam i ett långsiktigt perspektiv. En jämförelse av de två bantyperna har även gjorts av forskare på KTH. De identifierar för- och nackdelar med båda men en av fördelarna med ett ballastfritt spår är det minskade underhållet (Andersson, Berg & Stichel 2016). På en höghastighetsjärnväg kommer kraven på restider, punktlighet och kapacitet kräva att underhållsinsatser endast görs nattetid, under sex timmar per natt. Att ett ballasterat spår har högre underhållsbehov än ett ballastfritt gör därför att det spåret innebär högre risk att påverka trafikeringen negativt (Trafikverket 2017).

2.3 Ogräsbekämpning idag

Sveriges järnvägsnät utgörs av ungefär 15 600 kilometer spår. Trafikverket förvaltar 14 800 av dessa och ansvarar för att upphandla entreprenörer som sköter ogräsbekämpningen (Trafikverket 2019a). Järnvägsnätet består av den så kallade linjen samt driftplatser. Till driftplatser hör till exempel alla stationer medan linjen innefattar resten av nätet. Bekämpningen skiljer sig åt mellan dessa platser. Längs med linjen utförs bekämpningen med ett tåg av entreprenören Weedfree On Track. Tåget har IR-sensorer som detekterar ogräs och besprutar därför bara där ogräset växer. På driftplatser och svåråtkomliga platser utförs istället bekämpningen med en ryggspruta eller fyrhjuling. För den bekämpningen har Bayer Crop Science kontraktet och utförandet görs av deras svenska underleverantör Actum Greentech AB (Trafikverket 2020c).

Idag utförs all kemisk ogräsbekämpning med medlet Roundup Ultra med den aktiva substansen glyfosat. Inför varje säsong görs en behovsinventering där det visuellt bedöms vilka sträckor som ska bekämpas den säsongen (Trafikverket 2020d). Kemisk bekämpning utförs inte när det blåser mer än fem meter per sekund eller regnar (Trafikverket 2020b). Vid känsliga områden som till exempel vattentäcker och våtmarker har Trafikverket inrättat så kallade restriktionsytor. På dessa, med några undantag, utförs ingen bekämpning eftersom kemiska bekämpningsmedel inte är tillåtna (Trafikverket 2020d).

Med tiden nöts ballasten och bildar finmaterial vilket ökar ogrästillväxten. Därför utförs så kallad ballastrening där det mest finkorniga materialet silas bort. Detta är en kostsam process och enligt Jan-Erik Lundh, nationell samordnare på Trafikverket, försöker de undvika ballastrening så långt det går och utför den ungefär med 20-25 års mellanrum (Telefonmöte 2020-03-07).

2.4 Glyfosat

Vid bekämpning med glyfosat används dosen 1800 gram glyfosat per hektar. Glyfosat hämmar en syntesväg som är generell hos växter men inte finns hos däggdjur, därför är den effektiv som bekämpningsmedel mot ogräs men har lägre akut toxicitet för människor och djur. Glyfosatet tas upp genom de delar av växten som är ovan jord och sprids sedan vidare till växtens tillväxtzoner, det verkar alltså systemiskt under tidsperioden när ogräset tillväxer. Eftersom glyfosat inte tas upp via rotsystemet har det inte någon förebyggande effekt mot ogrästillväxt. Det är därför viktigt att anpassa bekämpningens tidpunkt så att den varken sker för tidigt eller för sent under säsongen (Cederlund 2016).

Kemisk bekämpning med glyfosat har pågått på den Svenska järnvägen sedan 1989 (ibid.). Bekämpningsmedlet är från början utvecklat för jordbruk, och Trafikverkets användning av glyfosat står för endast en liten andel av den årliga försålda mängden i Sverige, mindre än 1 % år 2018 (Trafikverket 2020e).

För att få använda glyfosat måste det vara godkänt på EU-nivå och detta tillstånd prövas med jämna mellanrum. Vid senaste prövningen godkändes glyfosat endast fem år framåt istället för 15 år som i normala fall, nämligen

till och med 2022 (European Commission u.å.). Anledningen till det förkortade tillståndet var att det rådde delade meningar kring ämnets effekter på människan. Världshälsoorganisationens (WHO) särskilda avdelning för cancerforskning International Agency for Research on Cancer (IARC) har bedömt att glyfosat är ”probably carcinogenic to humans”. IARC har gjort sin bedömning baserat på ”limited evidence” för människan och ”sufficient evidence” för djur (IARC 2015). År 2015 gjorde sedan European Food Safety Authority (EFSA) bedömningen att ”glyphosate is unlikely to pose a carcinogenic hazard to humans”. Vissa länder såsom Tyskland, Österrike, Frankrike och Luxemburg planerar trots det utfasning eller förbud oberoende av kemikaliens framtid i EU (Ander 2020).

2.5 Glyfosatresistens

Vissa växter har ett skyddande ytskikt som gör att de överlever bekämpning med glyfosat. De till och med gynnas då de ges mer utrymme för tillväxt i brist på konkurrerande växtarter. Sverige har förlitat sig till enbart glyfosat i många år. Detta leder till att glyfosat-toleranta ogräs gynnas och potentiellt till att resistens selekteras fram. När resistent ogräs väl selekterats fram kan dessa spridas genom hela landet (Cederlund 2016). Glyfosatresistens är ett allvarligt problem som leder till att bekämpningens effektivitet minskar. En viktig åtgärd som kan göras är att varva glyfosat med andra bekämpningsmedel. Enligt Heap och Duke (2017) är det inte ett alternativ att strunta i detta eftersom det är viktigt att de bekämpningsmedel som finns fungerar väl tills nya metoder kan införas.

För att främja ett hållbart användande av bekämpningsmedel finns ett EU-direktiv (2009/128/EG) om så kallat integrerat växtskydd. Direktivet säger att användningen av bekämpningsmedel ska begränsas till vad som är nödvändigt och ta hänsyn till att växterna inte ska utveckla resistens. Om risken för resistens är känd ska tillgängliga strategier mot resistens användas så att inte medlet förlorar sin verkan.

2.6 Alternativa bekämpningsmetoder

Det forskas på många alternativa bekämpningsmetoder till glyfosat. De kan vara kemiska, termiska eller mekaniska. I den här rapporten utvärderas de fyra bekämpningsmetoder som UIC bedömer vara de som har störst potential att ersätta glyfosat. Dessa är pelargonsyra, hetvatten, vattenånga och elektricitet (UIC 2018).

2.6.1 Pelargonsyra

Pelargonsyra är en organisk syra som kan utvinnas naturligt ur flertalet olika livsmedel eller tillverkas syntetiskt. Syran verkar vid kontakt med ogräset, förstör cellmembranen och torkar snabbt ut vävnader (Ciriminna et al. 2019; Johnson & Davis 2014). Effekten har bedömts snabb och därmed opåverkad av om ett regnväder skulle infalla kort efter applicering. Pelargonsyra verkar också genom peroxidering vilket är beroende av solljus. Det blir relevant att ta hänsyn till vid eventuell användning på järnväg, där bekämpningen ska ske på natten. Detta rapporterar Ciriminna et al. (2019) och samma rapport belyser även den höga produktionskostnaden som en nackdel.

Generellt bedöms bekämpningseffekten av enbart pelargonsyra som svag i de flesta studier. Det har dock demonstrerats att vissa kombinationer verkar synergistiskt, som till exempel pelargonsyra blandat med medel som hämmar enzymet acetolaktatsyntas (ALS) (Marienhagen & Kilian 2015).

Bekämpningsmedel med pelargonsyra som aktiv ingrediens förekommer redan och används bland annat i trädgårdar och parker. Metoden används för både anuella och perenna växter (Ciriminna et al. 2019). I trädgårdsbutikerna i Sverige säljs pelargonsyra i blandning med glyfosat - där tanken är att pelargonsyran (som är kontaktverkande) ska ge den snabba och visuellt tydliga effekten och glyfosat (som är systemiskt) ska döda ogräsen. Det finns risk för att den blandningen dock snarare är antagonistisk - där pelargonsyran bidrar till att minska upptaget av glyfosat (Altland, Gilliam & Wehtje 2009). Det belyser komplexiteten i att få bekämpningsmedel att samverka.

2.6.2 Hetvatten och vattenånga

Bekämpning med hett vatten och vattenånga tillhör båda gruppen termiska bekämpningsmetoder. Metoderna ger en dödlig effekt hos ogräsen genom att proteinernas funktion rubbas och cellstrukturen bryts ned (Astatkie, Gadus et al. 2002; Cederlund 2016). Effekten sker på de delar av växten som finns ovan jord, och sprids till skillnad från glyfosat inte ner till växtens rötter. Återväxt av biomassan sker därför generellt snabbare än vid bekämpning med glyfosat (Cederlund 2016). Det är dock möjligt att få en viss effekt även på rötter och frön i marken om den tillförda energidosen är tillräckligt hög för att värma upp marken (Hansson 2002).

Dessa metoder har inga toxiska effekter på miljön men är resurskrävande vad gäller energi och vatten. Den stora vattenåtgången medför även logistiska utmaningar då det måste vara möjligt att fylla på vattentankarna.

2.6.3 Elektricitet

Att ogräs kan bekämpas med elektricitet har varit känt länge, och metoden förekommer bland annat i ekologiska jordbruk. Eftersom växterna innehåller vatten kommer elektriciteten ledas runt i växten som då skadas. Metoden är inte giftig för miljön men kan innebära vissa risker såsom påverkan på järnvägsanläggningens signal- eller säkerhetssystem och brand (UIC 2018).

Utveckling pågår av Bayer Crop Science för att metoden ska bli mer tillämplig på järnväg. I dag finns lösningar för handhållen utrustning, men på sikt är målsättningen att använda mindre spårgående fordon (Mailkontakt Harald Cederlund, SLU 2020-03-12). Det finns två huvudtyper av elektrisk bekämpning, att sända ut gnistor eller kontinuerlig kontakt (Benson & Diprose 1984). Det är den senare typen som främst är aktuell för järnväg.

2.7 Bekämpningsmetodernas toxiska effekter

Trafikverket vill uppnå Sveriges miljökvalitetsmål Giftfri miljö och jobbar därför för att minimera miljöpåverkan från farliga ämnen (Trafikverket 2019b). Miljömålet innebär att halterna av naturfrämmande ämnen i miljön inte får hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden (Sveriges Miljömål 2020). Trafikverket har förbjudit växtskyddsmedel men gjort ett undantag för kemisk bekämpning av växtlighet på järnvägen (Trafikverket 2020b). För att uppfylla miljömålet vore ett icke-kemiskt bekämpningsmedel att föredra. Nedan visar tabell 1 en sammanställning av de toxiska effekter på miljö och mänsklig hälsa som respektive bekämpningsmetod påvisat.

Tabell 1: En sammanställning av de toxiska effekter på miljö och mänsklig hälsa som respektive bekämpningsmetod påvisat.

Bekämpningsmetod	Toxisk effekt
Glyfosat	Glyfosat irriterar hud och ögon. Låg till måttlig toxicitet har visats för bland annat och har visat för bland annat vattenlevande organismer, honungsbin och fåglar. Glyfosat bryts snabbt ned i marken (Pesticide Properties Database 2020). Kemikalien är klassad som ”förmodligen cancerframkallande för människan” (IARC 2015). EFSA och ECHA har där emot bedömt att glyfosat uppfyller de krav som krävs för att det ska få användas (European Commission u.å.).
Pelargonsyra	Pelargonsyra irriterar hud och ögon. Låg till måttlig toxicitet har visats för bland annat vattenlevande organismer, honungsbin och fåglar. Syran bryts snabbt ned i marken (Pesticide Properties Database 2019).
Hetvatten	Inga toxiska effekter för miljö eller mänsklig hälsa.
Vattenånga	Inga toxiska effekter för miljö eller mänsklig hälsa (Astatkie, Gadus et al. 2002).
Elektricitet	Den elektriska bekämpningen har inga toxiska egenskaper men är viktig att utföra på ett välgenomtänkt och säkert sätt. Människor får inte komma i kontakt med elektriciteten och det får inte uppstå överhettning i utrustningen eller gnistor som tar eld (Benson, Diprose & Willis 1984). En bekämpning med kontinuerlig kontakt istället för gnistor är säkrare ur denna aspekt.

2.8 Viktiga förutsättningar för bekämpningsmetoder på järnväg

De ämnen som är godkända för användning har noga utredda miljöegenskaper, men deras funktion på just en järnvägsbank kan skilja sig från andra marktyper.

Banvallen har en låg lerhalt, biologisk aktivitet och lågt innehåll av organiskt material. Detta gör att adsorptionen av kemiska bekämpningsmedel minskar och att risken för att det ska transporteras ut i omgivningen ökar. Den låga biologiska aktiviteten gör även att de molekyler som fastnar i banvallen bryts ned långsamt. Utöver att bedöma ett bekämpningsmedels effektivitet mot ogräs är det alltså viktigt att utreda i vilken omfattning det sprids, och vilken eventuell påverkan det har på omgivningen (Torstensson 2001).

UIC förespråkar att flera olika metoder används, och att valet av bekämpningsmetod beror på vilka förhållanden som råder på platsen (UIC & Izt 2020). En järnvägs tillgänglighet för underhåll är begränsad. Det ställer krav på tidseffektivitet och logistik.

Trafikverket arbetar enligt klimatmål som innebär att infrastrukturen ska vara klimatneutral år 2045 (Trafikverket 2020f). Att tillämpa bekämpningsmetoder med alltför hög energiåtgång blir därför problematiskt. Mer om detta i avsnitt 2.10.

2.9 Nya höghastighetsjärnvägar i Sverige

Järnvägsnätet i Sverige är idag hårt belastat och det pågår därför planering av nya stambanor. Fyra sträckningar med höghastighetsjärnväg planeras, Järna-Linköping (Ostlänken), Göteborg-Borås, Jönköping-Malmö samt Linköping-Borås. Dessa ingår i Trafikverkets projekt ”Ny generation järnväg”. Här tas hänsyn till anläggningens hela livscykelkostnad (Trafikverket 2019c).

För detta projekt finns ett styrande dokument för järnvägens tekniska krav på projektering, byggande, drift och underhåll. Dokumentet omfattar ballasterat spår med hastigheter upp till och med 250 km/h och ballastfritt spår med hastigheter upp till och med 320 km/h. Ett krav i det styrande dokumentet är att banvallen ska utformas med marktäckande ört-/gräsvegetationsbeklädda slänter (ibid.). Vegetationsbeklädda slänter kan försvåra för ogräs att ta sig in och växa på järnvägsbanan (Telefonmöte Jan-Erik Lundh och Anders Colling Sileborg, Trafikverket 2020-03-03).

2.10 Klimatförändringar och klimatavtryck

Till följd av klimatförändringar höjs havsnivån och järnvägar nära hav eller vatten drag riskerar att svämmas över. Skyfall förväntas även bli vanligare liksom risken för skred och ras. Förändringarna varierar mellan olika platser i landet och mellan olika årstider. Grundvattennivån förväntas också ändras, till följd av förändrad temperatur och nederbördsmängd. Om nivån höjs ökar föroreningstransporten i banan eftersom föroreningarna lösgörs och kan förflytta sig med vattnet. Grundvattennivån påverkar även markstabiliteten (SMHI u.å.[a]). För de delar av banan med lång livslängd behöver klimatanpassningen göras redan från början för de nya järnvägar som nu planeras. Det kan därmed antas att även valet av bekämpningsmetoder bör klimatanpassas. Vad gäller växtligheten kan den komma att öka eftersom växtsäsongen förväntas bli längre (SMHI u.å.[b]; Trafikverket 2018).

En av de negativa aspekterna med ballastfria spår är att banunder- och överbyggnaden då består av mycket betong, som är ett material med stort klimatavtryck. Koldioxidutsläppen kommer framförallt från cementtillverkningen. Betongbranschen och andra aktörer som arbetar med betong har samlats i det så kallade Betonginitiativet. De har tagit fram en färdplan för klimatneutral betong till år 2045 som de lämnat till regeringen (Betonginitiativet 2018).

3 Metod

3.1 Metod för mål 1: Möjliggöra en jämförelse mellan olika ogräsbekämpningsmetoder

Jämförelsen som redovisas gjordes genom att studera och sammanställa tillgängliga forskningsrapporter om alternativa bekämpningsmetoder.

Valet av alternativa bekämpningsmetoder utgick från en rapport från UIC. I ett omfattande projekt kallat Herbie har de bedömt de flesta nuvarande och kommande metoder med avseende på teknik, ekonomi, miljö och social hållbarhet. De har där pekat ut fyra alternativa bekämpningsmetoder de anser mest lovande för ogräsbekämpning (UIC 2018). Nämligen:

- Pelargonsyra
- Hetvatten
- Vattenånga
- Elektricitet

Jämförelsen i den här rapporten gjordes därför mellan dessa fyra metoder. Resultatet jämförs med referensdata för den glyfosatbekämpning som bedrivs i Sverige idag, se tabell 2 och 4 i nästa avsnitt.

Parametrarna som studerades var kostnad, energi- och vattenåtgång eftersom de bedömdes vara de mest relevanta vid bedömningen av en metods potential. Även metodens potentiella appliceringshastighet och antal behandlingar per säsong som krävs för att upprätthålla minskad ogrästäckning samlades in.

Genomförande av forskningssammanställning

Det är information från forskningssammanställningen som ligger till grund för beräkningarna i rapporten. De inkluderade forskningsrapporterna hittades genom sökningar i databasen Web of Science på ”metodens engelska namn + weed control” och ”metodens engelska namn + vegetation control”. Utöver detta har även arbetets ämnesgranskare bistått med studier som inkluderats i jämförelsen. Se appendix A för ett diagram över processen, antalet träffar och inkluderade studier. I Appendix B och C visas en beskrivning av de studier vars energiförbrukning respektive vattenåtgång slutligen inkluderades i rapporten. Även de siffror för energi- och vattenåtgång som används i resultatet redovisas där. I appendix E visas de studier som exkluderas ur den kvantitativa analysen samt anledningen till detta.

Det som extraherades ur rapporterna var använd utrustning, appliceringshastighet, ogräsets art och utvecklingsstadie, procentuell ogräsminskning som behandlingen genererat, energiåtgång och vattenåtgång. För de studier som utfört upprepade försök för att ge ett säkrare resultat inkluderades resultatet från alla upprepningar. I några enstaka fall innehöll studierna även liknande tester men i olika miljö och då inkluderades det test som mest efterliknade en järnvägsmiljö. Ett krav för att inkludera en studie var att den hade en kontrolllyta i sitt experiment som lämnades obekämpad som jämförelse.

Många studier redovisade energi- och vattenåtgång för olika "Effective dose"-värden (ED-värden). Dessa visar vilken andel av ogräset som elimineras vid bekämpningen, till exempel eliminerar en energidos som ger ED90 90 % av ogräset jämfört med en kontrolllyta. Som mått på procentuell ogräsminskning var det antingen dessa ED-värden som extraherades, eller helt enkelt en vanlig procentuell minskning redovisad i studien. I störst utsträckning redovisade studierna vilken resursåtgång som åtgick för att ogrästäckningen skulle minska med 90 %, alltså ED90. I de studier där en energi- eller vattenåtgång beskrevs som rekommenderad inkluderades denna dos men inte de andra testerna som gav en otillräcklig effekt. Resultatet i det här arbetet visar därför de doser och antal behandlingar som studierna anser behövs för en tillräcklig bekämpning.

Det gjordes ingen avgränsning kring vilket land studien är utförd i eller vilket årtal den genomfördes. De inkluderade rapporterna innehöll även tester gjorda på både hårdgjorda ytor och jord.

Energiåtgång

För glyfosat och pelargonsyra användes i jämförelsen endast energin för att producera deras aktiva ingrediens som ett mått på energiåtgång. Produktionsenergin för pelargonsyra antogs vara lika stor som för glyfosat, 454 MJ/kg (Coleman et al. 2019). För hetvatten angavs energiåtgången vara den energi som krävs för att hetta upp vatten från en grundtemperatur på 10 °C till dess temperatur vid applicering, som varierade mellan studierna. Bekämpningen antogs utföras med likvärdig teknisk utrustning för alla bekämpningsmetoder och energiåtgång förknippad med till exempel produktion och underhåll av utrustningen inkluderades därför inte. Resultatet redovisades kvantitativt per kvadratmeter som om hela ytan skulle bekämpas och inga sensorer användas. Osäkerheten analyserades genom att undersöka spridningen i en boxplot.

Vattenåtgång

För vattenåtgång inkluderades det vatten som används vid behandlingstillfället. För hetvatten och vattenånga utgörs behandlingen av vatten som innehåller energi som ska bekämpa ogräsen. Det förbrukas även vatten vid bekämpning med glyfosat och pelargonsyra eftersom bekämpningsmedlet späds med vatten vid applicering. Resultatet redovisades kvantitativt per kvadratmeter som om hela ytan skulle bekämpas och inga sensorer användas. Osäkerheten analyserades genom att undersöka spridningen i en boxplot.

Kostnad

Från de forskningsrapporter som studerats erhöles inga kostnadsuppgifter som ansågs tillämpbara på järnväg. Kostnaden för de alternativa metoderna beräknades därför som en relativ kostnad jämfört med glyfosat, utifrån antagandet att arbetstiden är det som utgör huvuddelen av kostnaden. Det anses rimligt eftersom kostnaden för själva bekämpningsmedlet (vatten, pelargonsyra respektive elektricitet) är låg medan arbetet tar lång tid att utföra. Samma samband gäller för glyfosat. Den relativa arbetstidskostnaden gjordes med beräkningen:

$$\text{Relativ kostnad} = \frac{\text{Appliceringshastighet}_{\text{Glyfosat}}}{\text{Appliceringshastighet}_{\text{Alternativ}}} \times \frac{\text{Antal behandlingar}_{\text{Alternativ}}}{\text{Antal behandlingar}_{\text{Glyfosat}}} \quad (1)$$

En bekämpning som tar lång tid att utföra i förhållande till glyfosat får en hög storhet i denna ekvation. Den faktiska kostnaden erhålls sedan genom att multiplicera med glyfosatbekämpningens faktiska kostnad. Denna beräkning förutsätter att den yta som ska bekämpas är lika stor för samtliga behandlingar. Beräkningen bygger således på att sensortekniken som detekterar ogräs och bara bekämpar där det faktiskt växer något tillämpas även för alternativa bekämpningsmetoder. Beräkningen förutsätter också att den relativa appliceringshastigheten och antalet behandlingar har lika stor inverkan på kostnaden.

3.2 Glyfosatets referensvärden

Genom hela rapporten används glyfosat som referens. I tabell 2 visas de värden som erhållits via källor.

Tabell 2: Referensvärden för glyfosat.

Antal behandlingar	1–2 per år ^[1]
Arbetstimmar	10 h/dygn ^[1]
Bekämpningsbredd	5,2 m ^[1]
Appliceringshastighet _{Linjen}	50 km/h ^[1]
Appliceringshastighet _{Driftplats}	3–5 km/h ^[2]
Kostnad _{Linjen}	2 000–3 000 SEK/km ^[2]
Kostnad _{Driftplats}	15 000 SEK/km ^[2]
Körsträcka _{Linjen}	4 700 000 m ^[3]
Körsträcka _{Driftplats}	770 000 m ^[4]
Tidsåtgång första behandling _{Linjen}	31 dagar ^[3]
Tidsåtgång första behandling _{Driftplats}	111 dagar ^[4]
Årsförbrukning	0,98 ton ^[5]
Dos	1 800 g/ha ^[6]
Produktionsenergi	454 MJ/kg ^[7]
Tågets vattenkapacitet	100 000 L ^[8]

^[1] (Mailkontakt Hanna Lundkvist, Trafikverket 2020-02-05 och 2020-05-11). Vissa ytor bekämpas en andra gång. I den här rapporten används 1 behandling vid beräkningar.

^[2] (Möte Jan-Erik Lundh och Anders Colling Sileborg, Trafikverket 2020-04-30). Kostnaden är 3000 SEK/km på linjen när handläggningsarbetet med kommuner inkluderas och 2000 SEK/km när det exkluderas. För kemisk bekämpning krävs nämligen tillstånd från respektive kommun.

^[3] Trafikverkets körplan för ogräsbekämpning på linjen 2019.

^[4] Trafikverkets körplan för ogräsbekämpning på driftplatser 2019.

^[5] Förbrukningsdata för år 2019, via mail från Harald Cederlund (2020-02-04).

^[6] Gram glyfosat (syraekvivalenter) per hektar (Cederlund 2016).

^[7] (Coleman et al. 2019). Energiinput för att producera den aktiva ingrediensen glyfosat. Beräknat utifrån produktion med en blandning av energikällorna olja, naturgas och kol.

^[8] (Weedfree On Track u.å.)

För körsträcka, tidsåtgång och årsförbrukning användes statistik för år 2019 eftersom samtliga tre uppgifter inte kunde erhållas några andra år. Detta år genomfördes aldrig en andra behandling vilket gör att uppgifterna representerar vad som gäller för en behandling. Bekämpningsbredd är den bredd, inklusive spåret, som bekämpas kemiskt.

Fördelningen mellan bekämpning på linjen och driftplatser beräknades via förbrukningsdata för år 2019. Förbrukning på driftplatser respektive på linjen dividerat med den totala förbrukningen ger andelen.

Tabell 3: Förbrukad volym och andel bekämpningsmedel (Roundup) på linjen respektive driftplatser år 2019 (Mailkontakt Granskningsfunktionen, Trafikverket 2020-05-12).

Bekämpningsplats	Förbrukad volym	Procentandel
Linjen	2183 L	80 %
Driftplats	549 L	20 %

Varje år görs en inventering av vilka sträckor som behöver bekämpas. Vid bekämpningen innebär den använda sensortekniken att hela ytan inte bekämpas, utan endast den yta där ogräsen faktiskt växer. Denna ogräsbevuxna area beräknades med 2019 som referensår genom att dividera årsförbrukningen och dosen av glyfosat från tabell 2, se ekvation 2.

Den area som behöver bekämpas varje år beräknades också med 2019 som referensår genom att dividera årsförbrukningen och dosen av glyfosat i tabell 2, se ekvation 2.

$$\text{Ogräsbevuxen area}_{\text{Totalt}} = \frac{\text{Årsförbrukning}}{\text{Dos}} = 540 \text{ ha} = 5400000 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Hur stor area som behöver bekämpas på linjen respektive driftplatser erhöles genom att multiplicera arean i ekvation 2 med respektive procentandel i tabell 3. I ekvation

3 visas exempelräkning för linjen. Motsvarande gjordes för driftplatser.

$$\begin{aligned} \text{Ogräsbevuxen area}_{Linjen} &= \text{Ogräsbevuxen area}_{Totalt} \times \text{Andel}_{Linjen} \\ &= 4400000 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Hur stor yta som är ogräsbevuxen och behöver bekämpas varje kilometer beräknades enligt ekvation 4 (exempel för linjen, motsvarande gjordes för driftplatser). Körsträckan finns i tabell 2.

$$\frac{\text{Ogräsbevuxen area}_{Linjen}}{\text{Körsträcka}_{Linjen}} = 930 \text{ m}^2/\text{km} \quad (4)$$

Andelen av den passerade arean som faktiskt bekämpas (till följd av att sensorerna detekterar ogräs där) beräknas med ekvation 5. Bekämpningsbredden är 5,2 meter enligt tabell 2 vilket används för att beräkna den totalt passerade arean per kilometer.

$$\text{Bekämpad andel}_{Linjen} = \frac{\text{Ogräsbevuxen area}_{Linjen}}{\text{Passerad area}} = 0,18 \quad (5)$$

Alltså bekämpas i genomsnitt 18 % av ytan som passerar vid bekämpning på linjen.

Energiåtgången beräknades genom att multiplicera appliceringsdosen och produktionsenergin från tabell 2 ovan. Glyfosatbekämpningens vattenåtgång hämtades från besprutningsdata för fyra platser från Weedfree On Track, och erhöles via Harald Cederlund (Mailkontakt 2020-03-05). Ett medelvärde av dessa beräknades. Se tabell 4.

Tabell 4: Referensvärden för glyfosat som beräknats fram.

Ogräsbevuxen area _{Totalt}	5 400 000 m ²
Ogräsbevuxen area _{Linjen}	4 400 000 m ²
Ogräsbevuxen area _{Driftplats}	1 100 000 m ²
Ogräsbevuxen area per km _{Linjen}	930 m ² /km
Ogräsbevuxen area per km _{Driftplats}	1 400 m ² /km
Ogräsbevuxen andel _{Linjen}	18 %
Ogräsbevuxen andel _{Driftplats}	27 %
Vattenåtgång	0,027 L/m ²
Energiåtgång	82 kJ/m ²

3.3 Metod för mål 2: Analys av bekämpningsmetodernas användbarhet

För att analysera bekämpningsmetodernas användbarhet prövades de utifrån ett användbarhetsperspektiv. Tre olika scenarier studerades:

- Scenario 1- Bekämpning med alternativa bekämpningsmetoder på linjen med ett tåg med motsvarande vattentank som finns på dagens bekämpningståg (Weedfree On Track).

- Scenario 2 - Bekämpning med alternativa bekämpningsmetoder på driftplatser.
- Scenario 3 - Bekämpning med alternativa bekämpningsmetoder på restriktionsytter.

I samtliga scenarier analyseras vattenåtgången, appliceringshastigheten och kostnaden.

Scenario 1

Ett möjligt scenario är att ett förbud mot glyfosat införs inom EU, vilket medför att medlet helt måste ersättas av alternativa bekämpningsmetoder. Det studeras i scenario 1.

Weedfree On Track använder ett bekämpningståg med en vattentank med en kapacitet på 100 000 L. Hur lång sträcka den tanken räcker för respektive bekämpningsmetod beräknades genom ekvation 6. Som vattenåtgång användes medelvärdet från resultatet i jämförelsen (mål 1), tabell 7. Den area som är ogräsbevuxen och därmed behöver behandlas varje kilometer beräknades enligt ekvation 4 och visas i tabell 4.

$$\text{Sträcka per tank} = \frac{\text{Vattentankens volym}}{\text{Vattenåtgång} \times \text{Ogräsbevuxen area per km}_{Linjen}} \quad (6)$$

Hur stor andel denna sträcka utgör av den totala körsträckan för linjen, beroende på antal behandlingar, beräknades sedan med ekvation 7. Körsträcka för linjen visas i tabell 2.

$$\text{Andel} = \frac{\text{Sträcka per tank} \times 100}{\text{Körsträcka}_{Linjen} \times \text{Antal behandlingar}} \quad (7)$$

Metodernas respektive appliceringshastigheter från resultatet i jämförelsen (mål 1) ställdes sedan i relation till att bekämpningen med glyfosat i 50 km/h tar 31 dagar. En bekämpning i till exempel 25 km/h skulle då ta $2 \times 31 = 62$ dagar. Detta är ett antagande och bortser från logistik kring behov av att fylla på vatten och liknande.

Scenario 2

I scenario 2 undersöktes förutsättningarna att ersätta glyfosat med alternativa metoder på driftplatser. Driftplatser ligger avgränsade från linjen och bekämpas i lägre hastighet med ryggsprutor eller fyrrhjuling.

Vattenförbrukningen analyserades här genom att studera den totala vattenförbrukningen per år för respektive bekämpningsmetod. Vattenförbrukningen från mål 1 multiplicerades således med den area som ska bekämpas på driftplatser varje år och antalet behandlingar enligt ekvation 8.

$$\text{Vattenförbrukning per år} = \text{Vattenförbrukning} \times \text{Bekämpad area}_{Driftplats} \times \text{Antal behandlingar} \quad (8)$$

Hastigheten för respektive metod antogs vara relativt likvärdig då applicering

sker med ryggspruta eller fyrhjuling. Den utvärderades därför genom att studera tidsåtgången för en behandling med glyfosat och multiplicera med antalet behandlingar för respektive metod.

Kostnaden antogs precis som i mål 1 bero på arbetstid. Eftersom appliceringshastigheten på en driftplats är likvärdig mellan bekämpningsmetoderna blir den kvoten ett enligt ekvation 1. Den relativa kostnaden beror således på antalet behandlingar. Den relativa kostnaden multiplicerades sedan med kostnaden för glyfosatbekämpning på driftplatser som visas i tabell 2.

Scenario 3

Restriktionsytor får inte bekämpas kemiskt eftersom området kring dem är känsligt och de är därför ett uppenbart användningsområde för de alternativa bekämpningsmetoderna hetvatten, vattenånga och elektricitet. I scenario 3 utesluts både glyfosat och pelargonsyra eftersom de är kemiska metoder och appliceringen antas ske med ett bekämpningståg.

Trafikverket förvaltar 14 800 km järnväg och 1 988 km av dessa utgörs av restriktionsytor. Andelen restriktionsytor är således

$$\frac{1988}{14800} \times 100 = 13 \quad \% \quad (9)$$

Arean som ska bekämpas på restriktionsytor antas likt den vanliga linjen vara 18 % av den totala passerade arean och beräknades med ekvation 10. Initialt täcker troligtvis ogräset en betydligt större andel av ytan än så, eftersom restriktionsytorna varit obekämpade länge.

$$\text{Ogräsbevuxen area}_{\text{Restriktionsyta}} = \text{Passerad area} \times \text{Ogräsbevuxen andel} = \frac{\quad}{180000} \quad m^2 \quad (10)$$

Total vattenåtgång för att bekämpa alla restriktionsytor erhölls genom att multiplicera respektive bekämpningsmetods vattenåtgång från mål 1 med denna area och med antal behandlingar.

$$\text{Total vattenåtgång per år} = \text{Vattenförbrukning} \times \text{Ogräsbevuxen area}_{\text{Restriktionsyta}} \times \text{Antal behandlingar} \quad (11)$$

Kostnaden beräknades genom att multiplicera kostnaden för bekämpning med glyfosat med den relativa arbetstiden från mål 1, ekvation 1. Kostnaden för bekämpning med glyfosat visas i tabell 2 och är 2000 SEK/km när kostnader för handläggning med kommuner inte inkluderas, vilket de inte behöver göra för de icke-kemiska metoder som är aktuella i detta scenario.

Till sist utvärderades respektive metods hastighet genom att beräkna hur lång tid det skulle ta att färdas de 1 988 km som utgörs av restriktionsytorna. Då dividerades 1 988 med respektive hastighet. Med denna beräkning inkluderas inte transportsträckan från en restriktionsyta till en annan.

3.4 Metod för mål 3: Belys om kostnad för ogräsbekämpning bör påverka kravställning av ny järnväg

För att ta reda på hur stor del av underhållskostnaden för en ny ballasterad järnväg som utgörs av kostnader för ogräsbekämpning inhämtades den uppskattade underhållskostnaden per år från publicerade rapporter från Trafikverket. Kostnaden gäller för de 730 km höghastighetsjärnväg som planeras i Sverige (Trafikverket 2019d, u.å.) och dividerades därför med denna sträcka för att få kostnaden per kilometer. Kostnaden per år och kilometer för bekämpning med glyfosat erhöles via mail från Jan-Erik Lundh, nationell samordnare på Trafikverket (2020-03-16).

När en ballastfri järnväg blir lönsam i förhållande till ballasterad järnväg tack vare att den har lägre underhållskostnad beräknades genom att dividera mellanskillnaden i investeringskostnad med mellanskillnaden i underhållskostnad per år, enligt ekvation 12. Dessa siffror inhämtades från samma rapporter från Trafikverket som refererades i föregående stycke (Trafikverket 2019d, u.å.).

$$\text{År till lönsamhet} = \frac{\text{Investering}_{Ballastfri} - \text{Investering}_{Ballast}}{\text{Underhåll}_{Ballast} - \text{Underhåll}_{Ballastfri}} \quad (12)$$

Sedan beräknades bekämpningens andel av den totala underhållskostnaden. Det kunde inte fastställas huruvida kostnad för ogräsbekämpning var inkluderat i den totala underhållskostnaden, den antogs därför vara inkluderad. Kostnaden för de alternativa bekämpningsmetoderna är densamma per kilometer som i mål 2, scenario 3. Därmed inkluderades antalet behandlingar som krävs per år för respektive metod. För pelargonsyra adderas även den extra kostnad för handläggning med kommuner som tillkommer för glyfosat eftersom båda metoderna är kemiska. Respektive bekämpningsmetods extra kostnad relativt glyfosat adderades till den totala underhållskostnaden. Här användes 3000 SEK/km som kostnad för glyfosat eftersom hela kostnaden inklusive handläggning med kommuner behöver inkluderas.

Bekämpningens andel av den totala underhållskostnaden beräknades sedan enligt ekvation 13. Med detta beräkningssätt görs antagandet att kostnad för ogräsbekämpning med glyfosat är inkluderat i underhållskostnaden i tabell 17.

$$\text{Bekämpningens andel av underhållet} = \frac{\text{Bekämpningskostnad per år}}{\text{Total underhållskostnad per år}} \quad (13)$$

Antal år efter vilka en ballastfri järnväg blir lönsam efter att den extra kostnaden för respektive bekämpningsmetod adderats beräknades sedan enligt ekvation 12.

4 Resultat

4.1 Mål 1: Möjliggöra en jämförelse mellan olika ogräsbekämpningsmetoder

4.1.1 Bekämpningsmetodernas effektivitet

Idag sker applicering av glyfosat 1-2 gånger per säsong i 50 km/h med bekämpningståget på linjen (Mailkontakt Hanna Lundkvist, Trafikverket 2020-02-05 och 2020-05-11). De undersökta forskningsrapporterna visar att pelargonsyra kan appliceras i 3,6 km/h med en handhållen spruta (Crmaric et al. 2018) och 10 km/h med mindre motordriven utrustning (UIC 2018). Enligt Barker och Probst (2009) behövs pelargonsyra appliceras 3 gånger per säsong eftersom ogräsen snabbt återväxer. Hetvatten kan appliceras med en hastighet av ungefär 4 km/h (Hansson & Ascard 2002). Flera studier tyder på att behandlingen behöver upprepas ungefär var tredje till fjärde vecka (Bogaert et al. 2015; Hansson & Mattsson 2003; Hansson & Ascard 2002). Det kan översättas till ungefär 3-4 behandlingar per säsong. Vattenångans effekt liknar hetvattnets. Appliceringshastigheten kan tillåtas vara runt 4 km/h (Hampton, Charles N. Merfield & Wratten 2013), effekten varar även här i ungefär 3-4 veckor (Dervishian et al. 2013). För elektrisk bekämpning krävs enligt UIC 1-2 behandlingar per säsong i en hastighet av 5-10 km/h (2018). Resultatet sammanfattas i tabell 5.

Tabell 5: Hastigheten som metoderna kan appliceras med, procentuellt minskad ogrästäckning och antal behandlingar per säsong som krävs för att upprätthålla minskad ogrästäckning. Tabellen visar generella värden utifrån behandlade forskningsrapporter.

	Glyfosat	Pelargonsyra	Hetvatten	Vattenånga	Elektricitet
Appliceringshastighet [km/h]	50	10	4	4	5-10
Minskad ogrästäckning [%]	90	50-90	40-90	70-90	-
Antal behandlingar per säsong	1-2	3	3-4	3-4	1-2

Resultatet visar att samtliga alternativa bekämpningsmetoder behöver appliceras i lägre hastighet än glyfosat. Resultatet för den procentuella minskningen av ogräs varierar kraftigt i forskningsrapporterna, medan det är entydigt att behandlingen behöver upprepas flera gånger varje säsong för att uppnå minskad ogrästäckning under hela säsongen.

4.1.2 Energiåtgång

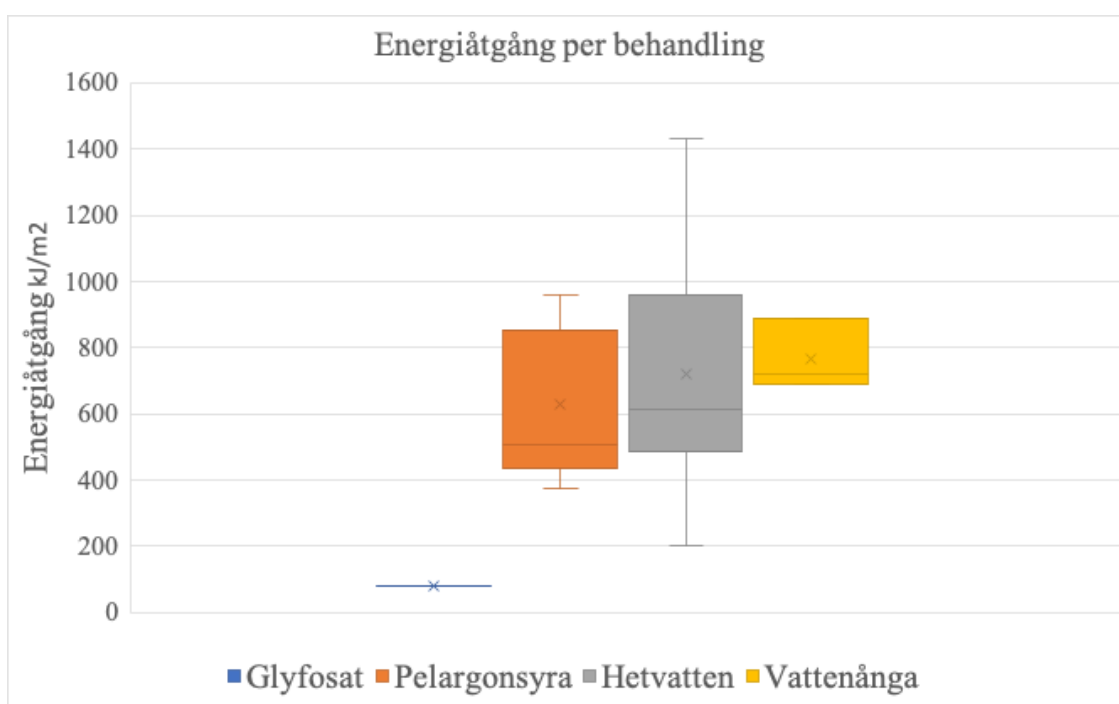
Resultatet från genomgången av forskningsrapporterna visade att de termiska metoderna hetvatten och vattenånga har högst energiåtgång. Pelargonsyran har högre energiåtgång än glyfosat eftersom en högre dos behöver användas för att ge samma effekt. Detta visas i figur 4. För elektrisk bekämpning gav jämförelsen av forskningsrapporterna inget resultat och visas därför inte i figuren. Dock kan energiåtgången antas vara liknande den för hetvatten och vattenånga (Mailkontakt Harald Cederlund, SLU 2020-03-12).

Om medelvärdet, kryssen i figur 4, studeras har vattenånga högst energiåtgång, följt

av hetvatten, pelargonsyra och slutligen glyfosat. Enligt (Kolberg & Wiles 2002) krävs 2,26 kJ/g vatten för att omvandla vatten till ånga, vilket är sex gånger högre än energin som krävs för att värma vatten från 15 till 100 °C. Bekämpning med vattenånga bör därmed kräva mer energi än med hetvatten.

Energiåtgången varierar beroende på ogräsmängden. I en studie av Hansson (2002) krävdes till exempel en energidos på 484 kJ/m² för att eliminera 90 % av 30-50 mm höga ogräs med hetvatten medan de 50-100 mm höga ogräsen krävde 1430 kJ/m² för samma effekt.

Resultaten och dess spridning visas i figur 4. Värdet för glyfosat är ett referensvärde hämtat från tabell 4. Fullständiga siffror och källor visas i Appendix B och D.



Figur 4: Energiåtgång per behandling i enheten kJ/m². Figuren visar en boxplot, ett låddiagram. Krysset representerar medelvärdet, strecket i lådan är medianen. Lådans kortsidor representerar kvartilerna, vilket är medianen av datasetets övre och undre halva. Strecken ut från lådan sträcker sig till datasetets högsta och lägsta värde, exklusive eventuella utstickande extremvärden som visas som en punkt.

Utöver detta åtgår även mer energi beroende på hur många upprepningar av behandlingen som krävs. Spridningen i resultatet beror, förutom att det i varje studie förekommer osäkerheter, delvis på att forskarnas experiment är utförda på olika platser, med olika utrustning och på olika vegetationstyper. Att spridningen är störst för hetvatten beror på att forskningsgenomgången genererade mer data för den metoden.

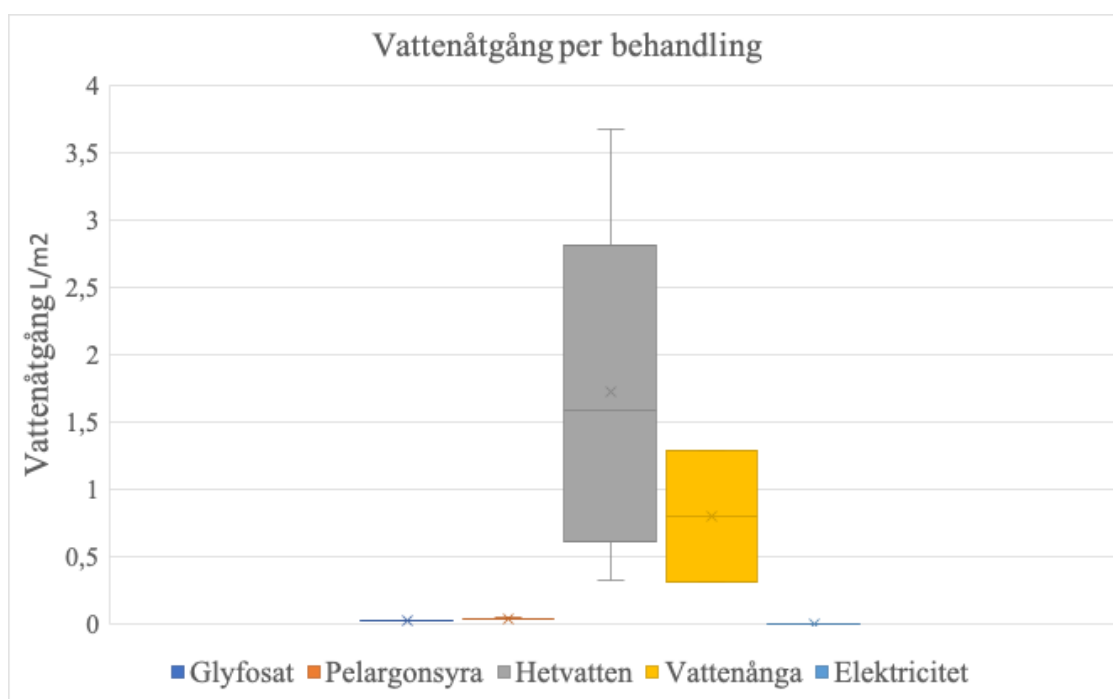
I tabell 6 visas medelvärdet och standardavvikelsen för energiåtgången.

Tabell 6: Medelvärdet \pm standardavvikelsen för energiåtgången för en behandling med respektive metod. Enhet kJ/m^2 .

Glyfosat	Pelargonsyra	Hetvatten	Vattenånga
82 ± 0	630 ± 220	720 ± 360	770 ± 88

4.1.3 Vattenåtgång

Resultatet från genomgången av forskningsrapporterna visade att bekämpning med hetvatten och vattenånga har klart högst vattenåtgång. För glyfosat och pelargonsyra är vattenåtgången relativt låg, under $0,05 \text{ L/m}^2$. Bekämpning med elektricitet kräver inget vatten. Detta illustreras nedan i figur 5, fullständiga siffror och källor i Appendix C och D.



Figur 5: Vattenåtgång per behandling i enheten L/m^2 . Figuren visar en boxplot, ett låddiagram. Kryset representerar medelvärdet, strecket i lådan är medianen. Lådans kortsidor representerar kvartilerna, vilket är medianen av datasetets övre och undre halva. Strecken ut från lådan sträcker sig till datasetets högsta och lägsta värde, exklusive eventuella utstickande extremvärden som visas som en punkt.

Utöver detta åtgår även mer vatten beroende på hur många upprepningar av behandlingen som krävs.

I tabell 7 visas medelvärdet och standardavvikelsen för vattenåtgången.

Tabell 7: Medelvärdet \pm standardavvikelsen för vattenåtgången för en behandling med respektive metod. Enhet L/m^2 .

Glyfosat	Pelargonsyra	Hetvatten	Vattenånga	Elektricitet
$0,027 \pm 0,0028$	$0,040 \pm 0,0038$	$1,7 \pm 1,1$	$0,80 \pm 0,48$	0

4.1.4 Kostnad

Gemensamt för alla alternativa metoder är att de i nuläget blir dyrare att genomföra jämfört med dagens bekämpning med glyfosat eftersom deras effektivitet är lägre. Enligt resultatet i tabell 5 är appliceringshastigheten längs linjen för samtliga alternativa bekämpningsmetoder lägre än för glyfosat. Upprepade behandlingar under säsongen behövs för att upprätthålla minskad ogrästäckning, se tabell 8.

Tabell 8: Arbetstidskostnad för bekämpning längs linjen för bekämpningsmetoderna relativt bekämpning med glyfosat. Beräknat med ekvation 1.

	Hastighet [km/h]	Antal appliceringar per säsong	Arbetstidskostnad relativt glyfosat
Glyfosat	50	1	1
Pelargonsyra	10	3	15
Hetvatten	4	3-4	37,5-50
Vattenånga	4	3-4	37,5-50
Elektricitet	5-10	1-2	5-20

Enligt uppgifter från Trafikverket är kostnaden per kilometer för bekämpning med glyfosat på järnvägslinjen 2000-3000 SEK/km (Möte Jan-Erik Lundh och Anders Colling Sileborg, Trafikverket 2020-04-30). Den högre kostnaden gäller när kostnader för arbetet med tillstånd från kommuner, utformning av miljökontrollprogram och liknande som krävs vid kemisk bekämpning inkluderas.

4.2 Mål 2: Analys av bekämpningsmetodernas användbarhet

4.2.1 Scenario 1: Bekämpning med alternativa bekämpningsmetoder med ett tåg med motsvarande vattentank som dagens bekämpningståg (Weedfree On Track).

Tabell 8 visar att en vattentank med kapacitet 100 000 L räcker mycket längre för glyfosat och pelargonsyra än för hetvatten och vattenånga. Hur stor del denna sträcka utgör av den totala körsträckan vid olika antal behandlingar visas i tabell 10. Vattenåtgången behöver minska för metoderna hetvatten och vattenånga för att de ska kunna ersätta glyfosat på hela järnvägsnätet. Att fylla tågets vattentankar kan antas medföra logistiska problem och bidra till förlust av värdefull spårtid. Pelargonsyran har en lägre vattenåtgång och har därför större potential att implementeras på hela järnvägsnätet med avseende på vattenåtgång. Bekämpning med elektricitet kräver inget vatten.

Tabell 9: Antal kilometer som kan bekämpas per vattentank med en kapacitet av 100 000 L. Beräknat med ekvation 6.

Glyfosat	Pelargonsyra	Hetvatten	Vattenånga	Elektricitet
4000	2700	62	130	-

Tabell 10: Andel av det totala bekämpningsbehovet som bekämpas per vattentank med kapacitet 100 000 L, beroende på antal behandlingar. Beräknat med ekvation 7 och angivet i procent.

Behandlingar	Glyfosat	Pelargonsyra	Hetvatten	Vattenånga	Elektricitet
1	86	57	1,3	2,9	-
2	43	28	0,66	1,4	-
3	29	19	0,44	1,0	-
4	21	14	0,33	0,72	-

En behandling med glyfosat tar 31 dagar (1 månad) med en appliceringshastighet av 50 km/h, se tabell 2. Hastighetsskillnaden mellan bekämpningsmetoderna genererar då en tidsåtgång per behandling enligt tabell 11. Detta inkluderar antagandet att endast hastigheten avgör tidsåtgången.

Tabell 11: Tidsåtgången per behandling uttryckt i månader.

	Glyfosat	Pelargonsyra	Hetvatten	Vattenånga	Elektricitet
Hastighet [km/h]	50	10	4	4	5–10
Tidsåtgång [månader]	1	5	12,5	12,5	5–10

Utöver detta krävs upprepade behandlingar med de alternativa bekämpningsmetoderna. Denna tid i spår finns inte att tillgå för ogräsbekämpning.

4.2.2 Scenario 2: Bekämpning med alternativa bekämpningsmetoder på driftplatser.

Om alla driftplatser skulle bekämpas med alternativa bekämpningsmetoder skulle det motsvara en area av 1 100 000 m² per behandling, enligt tabell 4.

Vattenåtgången för denna yta för respektive bekämpningsmetod visas i tabell 12. Vattenåtgången är beräknad med ekvation 8.

Tabell 12: Volym vatten som går åt för att bekämpa driftplatser.

	Behandlingar	Vattenåtgång [m ³]
Glyfosat	1	29
Pelargonsyra	3	130
Hetvatten	3-4	5 600–7 500
Vattenånga	3-4	2 600–3 500
Elektricitet	1-2	0

På driftplatser sker bekämpning med glyfosat med ryggspruta eller fyrhjuling i 3–5 km/h, se tabell 2. Här kan alltså appliceringshastigheten för de alternativa metoderna redan likställas med dagens bekämpning. Det är då antal upprepningar av behandlingen som blir begränsande. En behandling med glyfosat på alla driftplatser tar 111 dagar, se tabell 2. Detta upptar hela säsongen, vilket inte lämnar utrymme för upprepade behandlingar med samma antal resurser i form av utrustning och personal.

En kostnadsberäkning med antagandet att arbetstiden står för skillnaden i kostnad mellan bekämpningsmetoderna ger resultat enligt tabell 13. Körsträcka och kostnad för glyfosat enligt tabell 2.

Tabell 13: Kostnad för att bekämpa driftplatser.

	Behandlingar	Kostnad [SEK/km]	Total kostnad [MSEK]
Glyfosat	1	15 000 ^[1]	12
Pelargonsyra	3	45 000	35
Hetvatten	3-4	45 000–60 000	35–46
Vattenånga	3-4	45 000–60 000	35–46
Elektricitet	1–2	15 000–30 000	12–23

^[1] (Möte Jan-Erik Lundh och Anders Colling Sileborg, Trafikverket 2020-04-30)

4.2.3 Scenario 3: Bekämpning med alternativa bekämpningsmetoder på restriktionsytor.

Volymen vatten som går åt för att bekämpa alla restriktionsytor beräknas med ekvation 11 och visas i tabell 14. Åtgången gäller om alla Sveriges restriktionsytor skulle bekämpas. Den förutsätter också att den bekämpade andelen av den passerade ytan i snitt är 18 % precis som för vanliga linjen. Glyfosat och pelargonsyra är kemiska bekämpningsmedel och får därmed inte användas på restriktionsytor.

Tabell 14: Volym vatten som går åt för att bekämpa restriktionsytor. Glyfosat och pelargonsyra är kemiska bekämpningsmedel och får inte användas på restriktionsytor.

	Behandlingar	Vattenåtgång [m ³]
Glyfosat	-	-
Pelargonsyra	-	-
Hetvatten	3–4	10 000 –13 000
Vattenånga	3–4	4 400–6 000
Elektricitet	1–2	0

Det finns 1988 km restriktionsytor i Sverige. Kostnaden för att bekämpa dessa visas i tabell 15. Glyfosat och pelargonsyra är kemiska bekämpningsmedel och får inte användas på restriktionsytor.

Tabell 15: Kostnad för att bekämpa restriktionsytor.

	Behandlingar	Kostnad [SEK/km] ^[1]	Total kostnad [MSEK]
Glyfosat	-	-	-
Pelargonsyra	-	-	-
Hetvatten	3-4	75 000–100 000	150–200
Vattenånga	3-4	75 000–100 000	150–200
Elektricitet	1-2	10 000–40 000	20–80

^[1] Beräknat från den relativa arbetskostnaden multiplicerat med den faktiska kostnaden för bekämpning med glyfosat som är 2000 SEK/km (Möte Jan-Erik Lundh och Anders Colling Sileborg, Trafikverket 2020-04-30). Kostnad för handläggning med kommuner och annat arbete som tillkommer vid kemisk bekämpning är då exkluderat.

Med bekämpningsmetodernas hastigheter enligt tabell 5 och tio arbetstimmar per dygn enligt tabell 2 blir tidsåtgången enligt tabell 16 nedan. Detta gäller för en behandling.

Tabell 16: Antalet dagar som krävs för att bekämpa alla restriktionsytor en gång med respektive bekämpningsmetod.

	Glyfosat	Pelargonsyra	Hetvatten	Vattenånga	Elektricitet
Hastighet [km/h]	50	10	4	4	5-10
Tidsåtgång [dagar]	4	20	50	50	20-40

En bekämpningssäsong i Sverige antas vara ca 111 dagar, baserat på körplanen för bekämpning av driftplatser år 2019. Med tidsåtgång enligt tabell 16 hinner då upprepade behandlingar av restriktionsytor genomföras. Pelargonsyra och elektricitet behöver appliceras tre respektive en till två gånger, vilket är möjligt på 111 dagar med den tillgängliga spårtiden. Hetvatten och vattenånga ska appliceras tre till fyra gånger, vilket däremot inte är möjligt på den tillgängliga spårtiden. För att bedöma om det är praktiskt genomförbart behöver dock hänsyn tas till restriktionsytornas geografiska placering då det åtgår tid för att transportera resurser i form av utrustning och personal mellan ytorna.

4.3 Mål 3: Belys om kostnad för ogräsbekämpning bör påverka kravställning av ny järnväg

Trafikverket har beräknat investerings- och underhållskostnaden för planerad ny höghastighetsjärnväg, se tabell 17. Tabell 17 visar att en ballastfri järnväg har högre investeringskostnad men lägre underhållskostnad än en ballasterad järnväg (Trafikverket u.å.). Enligt samma källa blir en ballastfri bana lönsam efter ungefär 20 år, med reinvesterings- och driftkostnader inkluderade. När endast underhållet ställs mot investeringskostnaden, med siffrorna i tabell 17 blir en ballastfri bana lönsam efter ungefär 28 år enligt beräkning med ekvation 12. I praktiken skiljer det sig mellan järnvägsprojekt eftersom olika dragningar kräver olika antal tunnlar, broar och går genom olika terräng.

Tabell 17: Investerings- och underhållskostnad för ny järnväg av typen ballasterad respektive ballastfri (Trafikverket u.å.). Prisnivå 2014.

	Underhåll [MSEK/km och år]	Investering [MSEK/km]
Ballast	2,14	311
Ballastfritt	0,795	349

Inga kvantifierade uppgifter kring eventuell ogräsbekämpning på ballastfri järnväg har hittats, den antas därför vara noll i den här rapporten.

Resultatet i denna rapport visar att de alternativa bekämpningsmetodernas kostnader kommer stå för ungefär 0,47–4,5 % av den totala underhållskostnaden per år på en modern höghastighetsjärnväg av ballast. De alternativa bekämpningsmetodernas andelar är större än för glyfosat. Detta visas i tabell 18.

Tabell 18: Bekämpningsmetodernas kostnad som andel av den totala underhållskostnaden på en modern höghastighetsjärnväg av ballast.

	Bekämpningskostnad [SEK/km och år] ^[1]	Bekämpningens andel av det totala underhållet [%] ^[2]
Glyfosat	2 000–3 000 ^[3]	0,094–0,14
Pelargonsyra	31 000	1,4
Hetvatten	75 000–100 000	3,4–4,5
Vattenånga	75 000–100 000	3,4–4,5
Elektricitet	10 000–40 000	0,47–1,8

^[1] Enligt resultatet av metodens kostnad relativt glyfosat i tabell 8.

^[2] Andelen är beräknad med ekvation 13.

^[3] (Möte Jan-Erik Lundh och Anders Colling Sileborg, Trafikverket 2020-04-30) Kostnaden för bekämpning med glyfosat är 3000 SEK/km när handläggning med kommunerna inkluderas och 2000 SEK/km när det exkluderas.

Med Trafikverkets siffror i tabell 17 blir en ballastfri järnväg lönsam efter ungefär 28 år. När den extra kostnaden för ogräsbekämpning med en alternativ metod jämfört med glyfosat adderas till den årliga underhållskostnaden börjar den ballastfria banan löna sig tidigare, men skillnaden är inte stor. Detta visas i tabell 19.

Tabell 19: Antalet år efter investering som ballastfritt blir lönsammare än ballasterat med ogräsbekämpningen inkluderad i underhållet.

	Glyfosat	Pelargonsyra	Hetvatten	Vattenånga	Elektricitet
Lönsam efter [år]	28	28	26–27	26–27	27–28

5 Diskussion

5.1 Diskussion om resultatet för Mål 1: Möjliggöra en jämförelse mellan olika ogräsbekämpningsmetoder

5.1.1 Effektivitet

Resultatet redovisar hastigheten som metoderna kan appliceras med, procentuellt minskad ogrästäckning och antal behandlingar per säsong som krävs för att upprätthålla minskad ogrästäckning. Det är intressant att diskutera resultatet

för antal behandlingar eftersom det blir en följd av vilken minskad grad av ogrästäckning som önskas uppnås. Eftersom bekämpningståget är utrustat med sensorer finns en möjlighet att bestämma vilken täckningsgrad ogräs får ha på banan. Bekämpning med glyfosat sker på allt ogräs som detekteras, men det är inte fastställt vilken effekt bekämpningen ger. Det är möjligt att inte allt ogräs som detekteras behöver bekämpas bort för att hålla banan i gott skick. Om så är fallet minskar bekämpningsbehovet och det skulle bli lättare att införa de alternativa bekämpningsmetoderna. Behandlingen skulle då kunna upprepas färre gånger per säsong med minskad resursåtgång och kostnad som följd. För att bestämma ett krav på täckningsgrad behöver det bland annat utredas vilka störningar eller andra problem som kan uppstå av att mer ogräs växer i banan. Ett exempel på hur en lägre nivå av ogräsbekämpning kan leda till högre kostnader i ett senare skede, är återanvändning av material efter så kallad ballastrening. Ballasten renas med ungefär 20-25 års mellanrum, och då byts delar av den ut. Det gamla materialet ska hanteras och återanvändas på andra platser, och är det ogräsrester i materialet blir det en dyrare hantering eftersom ogräset behöver tas bort. Själva ballastreningen är också en kostsam process, som kanske behöver upprepas oftare om ogräsbekämpningen blir mindre effektiv.

Resultatet från sammanställningen av forskningsrapporter visar att pelargonsyra kan ge en effektiv ogräsbekämpning. Flera studier får dock dålig effekt vid test av pelargonsyra och inkluderades därför inte i den kvantitativa jämförelsen (Barker & Probst 2009). Detta tyder på att syran inte alltid fungerar särskilt väl men kan fungera på vissa platser och den har därmed potential att vara en del i en ny bekämpningsstrategi. Det förekommer studier där pelargonsyra appliceras tillsammans med andra bekämpningsmedel och detta kan vara en möjlighet att få en mer effektiv bekämpning. Patent förekommer på kombinationer som anses ge en synergistisk effekt (Marienhagen & Kilian 2015).

De alternativa bekämpningsmetodernas appliceringshastighet är betydligt lägre än glyfosat. Detta visade sig vara en av deras stora nackdelar. Det vore rimligt att anta att en teknikutveckling som ger en högre hastighet är möjlig. Pelargonsyra hade en vattenåtgång som liknade den för glyfosat vilket skapar förutsättningar för en applicering med liknande utrustning och i en liknande hastighet. I Schweiz finns ett exempel på ett hetvattentåg som kan bekämpa järnvägar i 40 km/h (Moser 2019). Detta är fyra gånger snabbare än vad som erhöles i den här rapporten, och hetvattentåget i Schweiz är det enda fall som stötts på under arbetets gång som rapporterat en så pass hög hastighet. Det ger ändå en intressant indikation på att en teknikutveckling är möjlig.

5.1.2 Energiåtgång

Det är tydligt att bekämpning med hett vatten och vattenånga är mycket mer energikrävande än de andra metoderna.

Inga uppgifter på energiförbrukning vid elektrisk ogräsbekämpning hittades i litteraturen men den verkar vara i samma storleksordning som de två förstnämnda. Alla energislag påverkar miljön på något sätt, även fossilfri energi. Det är därför viktigt att sträva mot att minska energiåtgången (Naturvårdsverket 2019). De mest energikrävande bekämpningsmetoderna enligt den här rapporten är dock de minst

toxiska. Komplikationer likt denna behöver hanteras vid val av bekämpningsmetod.

5.1.3 Vattenåtgång

Bekämpning med hetvatten och vattenånga är föga förvånande mest vattenkrävande av de undersökta metoderna. Åtgången beror i många studier på vilken utrustning som används i testet och kan även bero på vilken energiåtgång som valts att testas. Mer vatten av en viss temperatur ger nämligen en större energiöverföring till växten. För resultatet i mål 1 speglar åtgången en bekämpning utan sensorer som läser av var ogräsen växer. Skulle sensorer användas minskar åtgången och vad detta innebär kan ses i mål 2 där användning av sensorer inkluderas i beräkningarna.

5.1.4 Kostnad

Trots att en stor mängd forskningsstudier behandlas i denna rapport erhålls inte kostnadsuppskattningar för vad en alternativ bekämpningsmetod i större skala skulle kosta. Detta beror till stor del på avsaknad av kostnadsuppgifter i studierna, men även på att de uppgifter som fanns varit svåra att tillämpa på järnväg eftersom alla försök utförts med småskalig utrustning. Bekämpningsmetodernas kostnad uppskattad utifrån arbetstiden utelämnar många detaljer men kan ändå ge en intressant fingervisning. Resultatet visade tydligt att tidsåtgången för bekämpning med de alternativa metoderna relativt glyfosat är lång och antagandet att arbetstiden står för en stor del av kostnaden kan därför anses vara en rimlig uppskattning. Beräkningar enligt denna metod utgår från att kostnaden avgörs av appliceringshastigheten. Appliceringshastigheten blir därför både begränsande för att hinna med bekämpningen och avgörande för den höga kostnaden. Vid användandet av ekvation 1 spelar den relativa appliceringshastigheten lika stor roll i den slutgiltiga relativa kostnaden som det relativa antalet behandlingar per säsong. I verkligheten skulle antalet behandlingar kunna spela en större roll än appliceringshastigheten eftersom det då tillkommer fler kostnader, till exempel för planering.

5.1.5 Toxicitet

Ytterligare en parameter som är intressant att diskutera är toxicitet. Oron för glyfosatets toxicitet är en primär anledning till att byta till eller alternera bekämpningen med mindre toxiska bekämpningsmetoder. Pelargonsyra verkar inte ha nämnvärt bättre egenskaper ut toxic synpunkt än glyfosat. Alla kemiska bekämpningsmedel är hårt reglerade och användning av sådana innebär mycket administration kring bland annat tillstånd hos kommuner och utformning av miljökontrollprogram. Pelargonsyra är också en kemisk metod och därmed kvarstår regleringen med den metoden, medan bekämpning med hetvatten, vattenånga och elektricitet inte berörs av regulatoriska krav på samma sätt. De icke-kemiska metoderna ligger dessutom mer i linje med Sveriges miljö kvalitetsmål ”Giffri miljö”.

5.1.6 Osäkerheter i jämförelsen i mål 1

Resultatet från forskningen som behandlats i denna rapport varierar mycket. Studier som undersökt vilken energidos som ger en viss effekt på ogräsen kommer ofta till slutsatsen att mer välutvecklade ogräs kräver högre dos och i högre

grad upprepad behandling än mindre utvecklade ogräs (Hansson & Ascard 2002). Dock skiljer sig dosen mycket mellan studierna och en dos som gett hög dödlighet i en studie kan ge låg dödlighet i en annan (Ward & Mervosh 2012; Webber, Taylor & Shreffler 2014a). Studierna har valt olika doser och studerat hur stor andel av ogräset som elimineras. Hur effektiv en metod behöver vara för att resultatet ska betraktas som fullgott är dock oklart. För att resultatet i den här rapporten ändå ska visa energidoser som kan bli aktuella i praktiken valdes de tester som utfördes med för låga energidoser bort, det vill säga sådana tester där ogräsreduceringen enligt författarna blev för dålig på grund av låg energidos.

Ogräsbekämpning på järnvägar utgör endast en liten andel av all bekämpning (Trafikverket 2020e), vilket även visar sig i att forskningsförsök i järnvägsmiljö är underrepresenterade bland de studier som behandlats i den här rapporten. Studierna som det här arbetet grundas på är utförda på olika underlag, vissa riktar sig mot ogräs i jordbruksmiljö.

Antalet upprepade behandlingar som behövs beror på olika faktorer. Två av dem är ogrästyp och ogräsets höjd vid bekämpning. Mellan forskningsrapporterna har detta varierat. Många studier är gjorda på små ogräs, som är lättare att bekämpa än större.

De tester som resultatet baseras på inhämtades via Web of Science med några valda sökord. Andra sökord eller databaser hade möjligtvis genererat ett annorlunda resultat.

5.2 Diskussion om resultatet för Mål 2: Analys av bekämpningsmetodernas användbarhet

Resultatet för mål 2 visar att varken pelargonsyra, hetvatten, vattenånga eller elektricitet lämpar sig för att ersätta glyfosat på hela linjen. Hastigheten de kan appliceras med är för låg för att hinna med den bekämpning som krävs. Bekämpningen behöver hinna genomföras under växtsäsongen, och en första behandling behöver bli färdig innan ogräsen hunnit växa sig för höga och orsaka problem. Om fler bekämpningståg kan sättas in kan tidsbristen motverkas, men hög kostnad och hög vatten- och energiåtgång kvarstår som hinder för att kunna fasa ut glyfosat helt. Tekniken är under utveckling och det är möjligt att det snart finns teknik som möjliggör en snabbare applicering.

Att öka resurser i form av utrustning och personal är generellt en lösning för att hinna bekämpa en större yta på kortare tid. Finns budgeten för detta är det ett sätt att minska problemen med de alternativa metodernas låga effektivitet.

För bekämpning med hetvatten och vattenånga blir även den mängd vatten som går åt en begränsande faktor. Det är inte möjligt att fylla på vatten flera gånger per dygn, det är dels tidsödande och dels behöver tillgång till vattenstationer finnas frekvent längst järnvägslinjen. Om dessa metoder ska implementeras behöver nya vattenstationer etableras längst banan, vilket borde vara svårt att göra längs hela linjen. Pelargonsyrans vattenåtgång är större än för glyfosat, men det är enligt den här rapporten inte något som hindrar metoden från att implementeras i stor skala.

Elektrisk bekämpning kräver inget vatten.

För bekämpning på driftplatser skulle de alternativa metoderna kunna införas enklare än på linjen eftersom deras hastighet redan motsvarar arbetshastigheten hos den utrustning som används för att applicera glyfosat på driftplatser. Vattenåtgången för hetvatten och vattenånga är dock även här stor. En fördel med driftplatser jämfört med linjen är att vattentankar skulle kunna placeras vid varje driftplats och i förväg fyllas med vatten. Tidsmässigt finns tid under säsongen för endast en behandling, men generellt är det enklare att få spårtider på driftplatser än på linjen. Som tidigare nämnts skulle ökade resurser i form av personal och teknisk utrustning kunna utökas för att hinna bekämpa en större yta.

Att bekämpa restriktionsytor med en alternativ bekämpningsmetod är enligt resultatet i den här rapporten ett dyrt men troligtvis möjligt alternativ. I resultatet användes antagandet att ogräsets täckningsgrad är lika stor som den som beräknats för linjen, alltså 18 %. När en restriktionsyta ska börja bekämpas kommer den mest troligt vara täckt i högre grad än så, eftersom den aldrig bekämpats kemiskt. Det skulle initialt göra resursåtgången och kostnaden för bekämpning på restriktionsytor högre än vad resultatet visar. I beräkningarna togs ingen hänsyn till transportsträckan från en restriktionsyta till en annan. Ytorna är utspridda över hela landet vilket gör att denna sträcka tar tid att tillryggalägga. Det vore kanske nödvändigt med flera bekämpningståg som ansvarar för varsin del av landet. Värt att notera är att bekämpning på restriktionsytor med en alternativ metod inte skulle generera någon minskning i glyfosatförbrukning eftersom glyfosat inte används på restriktionsytor. Däremot kan de totala underhållskostnaderna minska eftersom behovet av att sätta in kostsam rensning av dessa ytor med mekaniska metoder minskar.

För att med tydlighet kunna säga i vilken omfattning de alternativa metoderna kan vara möjliga att implementera behövs riktlinjer för vilken vattenåtgång, kostnad och energiåtgång som kan tolereras. Det går annars inte att fastställa vilka ytor som är rimliga att bekämpa.

UIC förespråkar att flera olika metoder används på ett flexibelt sätt, beroende på platsens förutsättningar (UIC & Izt 2020). Det är även aktuellt vid ett förlängt tillstånd för glyfosat, eftersom de glyfosatresistenta ogräsen överlever bekämpningen. Resultatet i den här rapporten identifierar hastighet och effektivitet som de två största nackdelarna med samtliga alternativa metoder, samt vattenåtgången för hetvatten och vattenånga. Sträckor med lägre ogräsväxtlighet kan vara lättare att bekämpa med en mindre effektiv metod. Områden med närhet till infrastruktur som möjliggör snabb vattenpåfyllnad kan bekämpas med hetvatten och vattenånga i större utsträckning än andra områden.

Ett antagande värt att diskutera är bekämpningssäsongens längd, som används för att utvärdera om tidsåtgången för varje behandling är rimlig. Säsongen antogs vara lika lång som tiden för bekämpning av driftplatser år 2019, vilken sträckte sig från början av maj till slutet av augusti. Troligtvis vore det optimalt att hinna en full behandling redan tidigt på säsongen, annars hinner de platser som bekämpas sist bli kraftigt bevuxna. Eftersom de alternativa metoderna är svårare att få hög

effektivitet med än glyfosat är detta problematiskt. Detta understryker återigen att det vore fördelaktigt om de alternativa metoderna kan appliceras i högre hastighet än vad den här rapporten redovisar att de gör.

I resultatet för mål 2 ingår antagandet att den sensorteknik för detektion av ogräs som används av dagens bekämpningståg kan användas även för de alternativa metoderna. Idag används normalt sett inte sensorer för de alternativa metoderna, men det anses vara ett rimligt antagande att det används vid implementering i större skala. Skulle sensorer inte användas behöver bekämpningen göras över hela den passerade ytan, och eftersom täckningsgraden är beräknad till 18 % blir resursåtgången ungefär fem gånger så stor som de siffror som redovisas i det här arbetet. Denna åtgång vore svår att motivera. Att använda sensorer blir därför en nödvändighet.

5.3 Diskussion om resultatet för Mål 3: Belys om kostnad för ogräsbekämpning bör påverka kravställning av ny järnväg

Resultatet i mål 3 visar att bekämpning med de alternativa metoderna kommer stå för en större andel av underhållskostnaden på ny järnväg än glyfosat. Ett scenario där all bekämpning sker med hetvatten och vattenånga innebär att en ballastfri bana kan bli lönsam 26 år istället för 28 år efter investering. Det blir alltså en skillnad, men om den är stor nog att ta hänsyn till kan diskuteras. Det finns skäl att anta att den här rapportens kostnadsuppskattningar för de alternativa bekämpningsmetoderna är lågt räknade. De tar endast hänsyn till appliceringshastigheten och antal behandlingar relativt glyfosat, och har inte med några extra kostnader för till exempel logistik för vattentillförsel.

Växtsäsongen kan komma att förlängas i framtiden till följd av klimatförändringar (SMHI u.å.[b]; Trafikverket 2018). Detta understryker ytterligare de alternativa bekämpningsmetodernas nackdelar. Klimatförändringar kan medföra att antalet behandlingar per säsong behöver ökas. Det kan även medföra en längre sträcka att bekämpa, då ogrästtillväxten kan komma att öka i de nordliga delarna av Sverige där bekämpningsbehovet idag är lågt. Med sådana ökningar av kostnaden för ogräsbekämpning skulle en ballastfri bana löna sig tidigare än vad resultatet i mål 3 visar.

Att inkludera ogräsbekämpning som en parameter vid val av bantyp verkar med tanke på detta bli allt mer viktig i takt med att glyfosat byts mot andra bekämpningsmetoder och klimatförändringar fortskrider. Viktigt att poängtera är dock att den stora delen av järnvägsnätet fortfarande kommer bestå av en bana som kräver ogräsbekämpning även om ballastfria banor väljs för de nya järnvägsprojekten.

Investerings- och underhållskostnader för ny ballastfri järnväg är hämtade från Trafikverket. Noteras bör att det finns olika typer av ballastfria banor som ger olika stor investerings- och underhållskostnad, så resultatet är alltså giltigt för just den typ av ballastfri bana och det underhåll som inkluderats i Trafikverkets rapport (u.å.).

5.4 Drivkrafter för fortsatt utveckling av alternativa metoder

För att alternativa metoder ska utvecklas och bli bättre behöver det finnas en tydlig efterfrågan. Kemisk bekämpning med glyfosat är en effektiv metod som bara kräver en behandling per säsong och kan appliceras i en relativt hög appliceringshastighet vilket gör kostnaden låg. Detta minskar incitamenten till att utveckla alternativa kemiska metoder. Utvecklingen av alternativa icke-kemiska bekämpningsmetoder hämmas främst av att de inte fungerar tillräckligt bra. Trafikverket är beroende av att företaget utvecklar effektiva alternativa metoder och de kan skapa incitament genom att visa att de efterfrågar alternativ till glyfosat och vara med och finansiera delar av forskning och utveckling.

Efterfrågan skulle öka dramatiskt om hotet om ett glyfosatförbud inom EU togs mer på allvar, men det är svårbedömt hur sannolikt ett förbud är. Både ECHA och EFSA har bedömt att glyfosat uppfyller de krav som krävs för att få användas. Utan ett förbud blir istället glyfosatresistens en drivkraft för att utveckla alternativa bekämpningsmetoder. En fördel då är att glyfosat fortfarande kan användas som komplement till de alternativa bekämpningsmetoderna och kompensera för deras lägre effektivitet och hastighet.

5.5 Vidare studier

Under arbetets gång har andra alternativa metoder utöver de som behandlats dykt upp som intressanta att studera vidare. Bland annat undersöker Trafikverket mekaniska metoder, vilka inte har ingått i det här arbetet. Fler förebyggande åtgärder vore också intressant att studera då de borde ha stor potential för att bli lönsamma ur ett livscykelperspektiv. En förebyggande metod försvårar ogräsets uppkomst och minskar därmed bekämpningsbehovet. Det vore även intressant att kartlägga vad andra länder har för strategi för att minska ogräsbekämpningen. Till exempel Tyskland, Österrike, Frankrike och Luxemburg som enligt Ander (2020) planerar utfasning av glyfosat oberoende av vad som beslutas på EU-nivå. Vidare studier kan även göras kring vilka bekämpningsmetoder och vilken utrustning som utvecklas av entreprenörer, i Sverige och utomlands. Det kan ge ett nytt och spännande perspektiv på framtidens bekämpning utöver vad forskningen säger. Fler studier genomförda i järnvägsmiljö vore önskvärt för att säkerställa hur bekämpningsmetoderna fungerar just där, och det vore intressant att undersöka om det går att sänka kraven på hur mycket ogräs måste bekämpas på järnväg.

6 Slutsatser

Än så länge är inte alternativen fördelaktiga i jämförelse med glyfosat, vare sig det gäller kostnad, resursåtgång eller effektivitet. Endast när det gäller toxicitet kan alternativen mäta sig och vara ett bättre val än glyfosat. Ett första steg kan vara att införa alternativa metoder i mindre skala, till exempel på driftplatser eller restriktionsytor. Att anpassa bekämpningen efter platsens förutsättningar är också ett lämpligt sätt att underlätta en introducering av nya metoder. Ytor med en lägre växtlighet har större potential att bekämpas effektivt med en alternativ metod.

Bekämpning med hetvatten eller vattenånga vore kanske möjliga att introducera nära infrastruktur som möjliggör snabb påfyllnad av vattentankarna.

För att kunna säga i vilken omfattning de alternativa bekämpningsmetoderna är möjliga att implementera behövs riktlinjer för vilken kostnad, effektivitet samt vatten- och energiåtgång som kan tolereras. Riktlinjerna bör ta hänsyn till att olika sträckor eller ytor har olika behov.

Valet mellan en ballasterad eller ballastfri järnväg påverkas inte särskilt mycket av den kostnad för ogräsbekämpning som tillkommer för de alternativa metoderna i jämförelse med glyfosat. Faktorer som kan göra bekämpningskostnaden högre än vad den här rapporten har kunnat påvisa har dock identifierats. En ballastfri järnväg innebär att man i framtiden undviker risken för ökade kostnader för ogräsbekämpning. Vid en omställning från glyfosat till alternativa metoder bör man därför vid lönsamhetsberäkningar för ny järnväg vara vaksam på vad bekämpningen på det ballasterade alternativet skulle kosta. I en sådan beräkning bör även troliga effekter av klimatförändringar beaktas, då de anses kunna medföra ökad växtlighet och längre tillväxtperioder. Det är något som särskilt kan påverka ogräsbekämpning i landets norra delar.

Referenser

- Altland, J., Gilliam, C. & Wehtje, G. (2009). Interaction of Glyphosate and Pelargonic Acid in Ready-to-Use Weed Control Products. *Weed Technology*, vol. 24 (3), ss. 544–549. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-08-044.1>.
- Ander, G. (2020). Ödesstund närmar sig för glyfosat. *LandLantbruk*, vol. 8, ss. 6–7.
- Andersson, Axelsson, O., Edling, C., Hogstedt, C., Kling, H. & Sundell, L. (1980). Herbicide exposure and tumor mortality. An updated epidemiologic investigation on Swedish railroad workers. *Scandinavian Journal of Work Environment Health*, vol. 6 (1), ss. 73–79. DOI: doi: 10.5271/sjweh.2631.
- Andersson, Berg, M. & Stichel, S. (2016). *Nya stambanor till lägre kostnad*.
- Andersson, Berg, M., Casanueva, C. & Stichel, S. (2018). *Rail Systems and Rail Vehicles, Part 1*. KTH Railway Group. Stockholm.
- Astatkie, T., Gadus, J., Lacko-Bartosova, M. & Rifai, M. (2002). Effect of two different thermal units and three types of mulch on weeds in apple orchards. *J Environ Eng Sci*, vol. 1, ss. 331–338. DOI: 10.1139/S02-027.
- Astatkie, T., Rifai, M. N., Havard, P., Adsett, J., Lacko-Bartosova, M. & Otepka, P. (2007). Effectiveness of Hot Water, Infrared and Open Flame Thermal Units for Controlling Weeds. *Biological Agriculture Horticulture*, vol. 25 (1), ss. 1–12. DOI: 10.1080/01448765.2007.10823205.
- Barker, A. & Prostack, R. (2009). Alternative Management of Roadside Vegetation. *HortTechnology*, vol. 19 (2), ss. 346–352. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.2.346>.
- Benson, F. & Diprose, M. (1984). Electrical methods of killing plants. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 30, ss. 197–209. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-8634\(84\)80021-9](https://doi.org/10.1016/S0021-8634(84)80021-9).
- Benson, F., Diprose, M. & Willis, A. J. (1984). The Effect of Externally Applied Electrostatic Fields, Microwave Radiation and Electric Currents on Plants and other Organisms, with Special Reference to Weed Control. *The botanical review*, vol. 50 (2), ss. 171–223. DOI: <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.444>.
- Betonginitiativet (2018). *Resan till klimatneutral betong*. Tillgänglig: <https://betonginitiativet.se/resan-till-klimatneutral-betong/> [2020-03-17].
- Bogaert, S., Bulcke, R., Cauwer, B., Claerhout, S. & Reheul, D. (2015). Efficacy and reduced fuel use for hot water weed control on pavements. *Weed Research*, vol. 55 (2), ss. 195–205. DOI: <https://doi.org/10.1111/wre.12132>.
- Cederlund, H. (2016). *Studier av ogräsbekämpning på banvallar 2006-2015 - resultat och slutsatser från 10 års tillämpad forskning*. Institutionen för mikrobiologi, Sveriges lantbruksuniversitet. Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/13674/1/cederlund_h_160922.pdf [2020-03-26].
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Ilharco, L. & Pagliaro, M. (2019). Herbicides based on pelargonic acid: Herbicides of the bioeconomy. *Biofuels, Bioproducts Biorefining*, vol. 13, ss. 1476–1482. DOI: 10.1002/bbb.2046.
- Coleman, G., Stead, A., Rigter, M., Xu, Z., Johnson, D., Brooker, G., Sukkariéh, S. & Walsh, M. (2019). Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control. *Weed Technology*, vol. 33, ss. 633–650. DOI: 10.1017/wet.2019.32.
- Crmaric, I., Keller, M., Krauss, J. & Delabays, N. (2018). Efficacy of natural fatty acid based herbicides on mixed weed stands. *Julius-Kühn-Archiv*, vol. 458, ss. 328–333. DOI: 10.5073/jka.2018.458.048.
- Dervishian, G., Fidelibus, M., Konduru, S., Kurtural, S. & Shrestha, A. (2013). Efficacy and Cost of Cultivators, Steam, or an Organic Herbicide for Weed Control in Organic Vineyards in the San Joaquin Valley of California. *HortTechnology*, vol. 23 (1), ss. 696–108.
- Encyklopedin, N. (u.å.[a]). *ballast*. Tillgänglig: <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/ballast> [2020-04-12].
- Encyklopedin, N. (u.å.[b]). *Glyfosat*. Tillgänglig: <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/glyfosat> [2020-04-12].
- Encyklopedin, N. (u.å.[c]). *Makadam*. Tillgänglig: <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/makadam> [2020-04-12].
- Encyklopedin, N. (u.å.[d]). *Roundup*. Tillgänglig: <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/roundup> [2020-04-12].

- 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. (2009).
- European Commission (u.å.). *Earlier Assessment*. Tillgänglig: https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/glyphosate/earlier-assessment_en [2020-04-17].
- Gailiené, I. & Ramunas, V. (2019). Usage analysis and evaluation of slab track constructions. *The baltic journal of road and bridge engineering*, vol. 14 (3), ss. 285–303. DOI: <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.444>.
- Hampton, J., Charles N. Merfield, C. & Wratten, S. (2013). Efficacy of heat for weed control varies with heat source, tractor speed, weed species and size. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, vol. 60 (4), ss. 437–448. DOI: 10.1080/00288233.2017.1365731.
- Hansson, D. & Mattsson, J. (2002). Effect of drop size, water flow, wetting agent and water temperature on hot water weed control. *Crop Protection*, vol. 21 (9), ss. 773–781. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(02\)00037-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(02)00037-6).
- Hansson, D. & Mattsson, J. (2003). Effect of air temperature, rain and drought on hot water weed control. *Weed Research*, vol. 43 (4), ss. 245–251. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2003.00339.x>.
- Hansson, D. (2002). Hot Water Weed Control on Hard Surface Areas (Avhandling). SLU Alnarp. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria* (323).
- Hansson, D. & Ascard, J. (2002). *Influence of developmental stage and time of assessment on hot water weed control*. Tillgänglig: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3180.2002.00290.x> [2020-01-29].
- Heap, I. & Duke, S. O. (2017). Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. Tillgänglig: <https://doi.org/10.1002/ps.4760> [2020-05-20].
- IARC (2015). *IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides*. Tillgänglig: <https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/MonographVolume112-1.pdf> [2020-03-24].
- Johnson, W. & Davis, J. (2014). Pelargonic Acid for Weed Control in Organic Vidalia (R) Sweet Onion Production. *HortTechnology*, vol. 24 (6), ss. 696–701. DOI: 10.21273/HORTTECH.24.6.696.
- Järnvägsstyrelsen (2008). *Järnvägsstyrelsens trafikföreskrifter, Bilaga 1 Termer*. Tillgänglig: https://www.transportstyrelsen.se/globalassets/global/jarnvag/foreskrifter/jvsfs/jtfny/jvsfs_2008_7_bilaga_01_termer.pdf [2020-04-12].
- Kolberg, R. & Wiles, L. (2002). Effect of Steam Application on Cropland Weeds. *Weed Technology*, vol. 16 (1), ss. 43–49. Tillgänglig: <https://naldc.nal.usda.gov/download/30406/PDF> [2020-04-15].
- Mailkontakt Granskningsfunktionen, Trafikverket (2020-05-12).
- Mailkontakt Hanna Lundkvist, Trafikverket (2020-02-05 och 2020-05-11).
- Mailkontakt Harald Cederlund, SLU (2020-03-12).
- Mailkontakt Harald Cederlund, SLU (2020-02-04).
- Mailkontakt Harald Cederlund, SLU (2020-03-05a).
- Mailkontakt Harald Cederlund, SLU (2020-03-05b).
- Mailkontakt Harald Cederlund, SLU (2020-03-05c).
- Mailkontakt Jan-Erik Lundh, Trafikverket (2020-03-16).
- Marienhagen, C. & Kilian, M. (2015). *Herbicide combination containing pelargonic acid and defined als inhibitors CA2917736A1*. Tillgänglig: <https://patents.google.com/patent/CA2917736A1/en> [2020-05-19].
- Moser, A. (2019). Heisses Wasser statt Glyphosat gegen Unkraut. Tillgänglig: <https://www.srf.ch/news/panorama/116-zielgenaue-duesen-heisses-wasser-statt-glyphosat-gegen-unkraut> [2020-05-20].
- Möte Jan-Erik Lundh och Anders Colling Sileborg, Trafikverket (2020-04-30).
- Naturvårdsverket (2019). *Energivärden påverkar miljön*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Energivärden-paverkar-miljon/> [2020-04-06].
- Norberg, G. & Dolling, A. (2003). Steam treatment as a vegetation management method on a grass-dominated clearcut. *Forest Ecology and Management*, vol. 124 (1–3), ss. 213–219. Tillgänglig: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00022-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00022-1) [2020-04-15].
- Pesticide Properties Database (2019). *fatty acids*. Tillgänglig: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/288.htm> [2020-05-20].

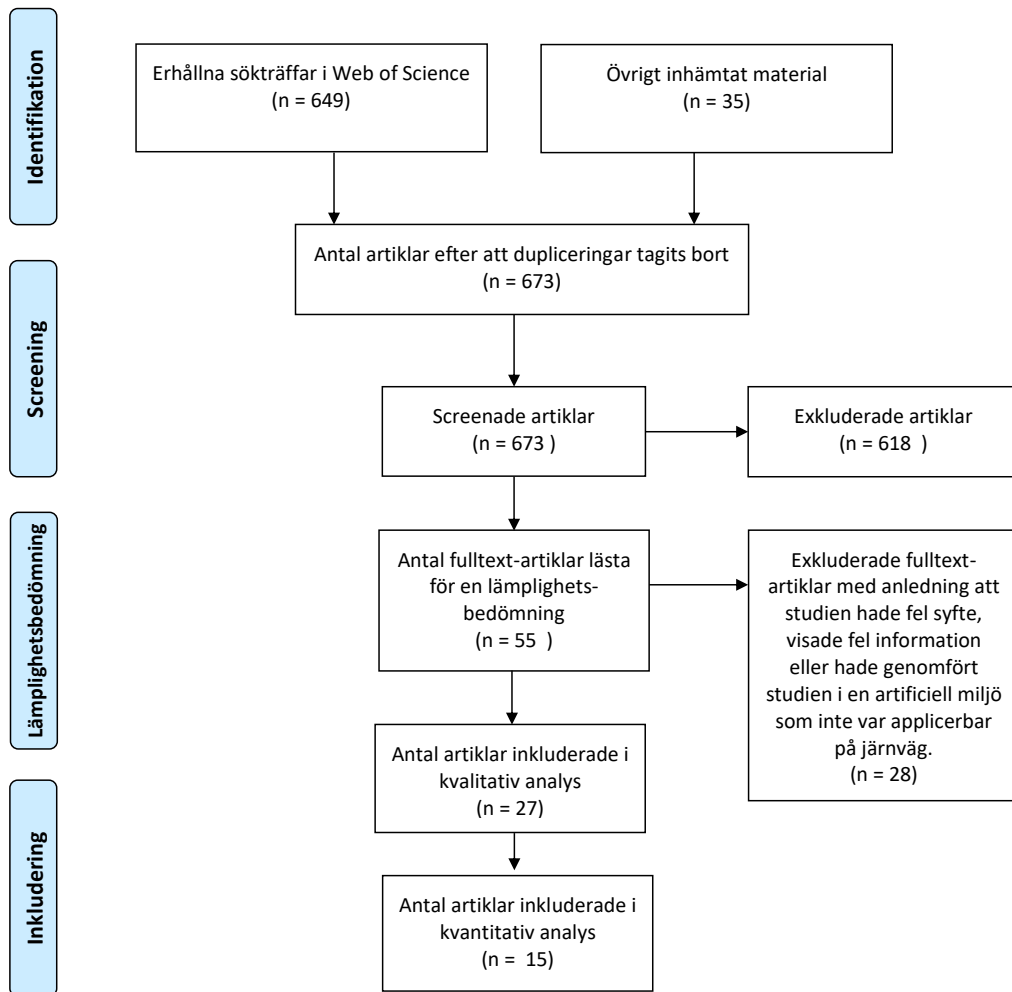
- Pesticide Properties Database (2020). *Glyphosate (Ref: MON 0573)*. Tillgänglig: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/373.htm> [2020-05-03].
- SMHI (u.å.[a]). *Hur förändras klimatet*. Tillgänglig: <http://www.klimatanpassning.se/hur-klimatet-forandras> [2020-06-08].
- SMHI (u.å.[b]). *Länsvisa klimatanalyser*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/lansanalyser/sweden/vegetation-length> [2020-06-08].
- Sveriges Miljömål (2020). *Giftfri miljö*. Tillgänglig: <http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/giftfri-miljo> [2020-04-12].
- Telefonmöte Jan-Erik Lundh och Anders Colling Sileborg, Trafikverket (2020-03-03).
- Torstensson, L. (2001). Use of herbicides on railway tracks in Sweden. *Pesticide Outlook*, vol. 12, ss. 16–21. DOI: 10.1039/b1008021. [2020-03-26].
- Torstensson, L. (2007). *Samarbetet mellan banverket och Sveriges Lantbruksuniversitet rörande ogräsbekämpning på banvallar 1985-2006*.
- Trafikverket (2017). *Nya stambanor i plan 2018-2029. Utbyggnadsstrategi för höghastighetsjärnvägar. Underlagsrapport till Nationell plan för transportsystemet 2018-2029*. Tillgänglig: https://trafikverket.ineko.se/Files/en-US/31133/Ineko.Product.RelatedFiles/2017_168_nya_stambanor_i_plan_2018_2029_utbyggnadsstrategi_for_hoghastighetsjarnvagar.pdf [2020-03-09].
- Trafikverket (2018). *Regeringsuppdrag om Trafikverkets klimatanpassningsarbete*. Tillgänglig: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/60329/Ineko.Product.RelatedFiles/2018_195_regeringsuppdrag_om_trafikverkets_klimatanpassningsarbete.pdf [2020-03-18].
- Trafikverket (2019a). *Sveriges järnvägsnat*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/jarnvag/Sveriges-jarnvagsnat/> [2020-04-16].
- Trafikverket (2019b). *Material och kemiska produkter*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/Material-och-kemiska-produkter/> [2020-04-12].
- Trafikverket (2019c). *Teknisk systemstandard för En ny generation järnväg, version 4.1 revision A. TRV 2019/40102*. Tillgänglig: https://www.trafikverket.se/contentassets/1660620e2ebd47debd8bf501f1fce8f/tss_ngj_4.1_rev_a_signerad_2019-04-01.pdf [2020-03-24].
- Trafikverket (2019d). *Ostlänken - En del av en ny generation järnväg*. Tillgänglig: https://www.trafikverket.se/contentassets/7576e0b857a644609edb73625e0c56ad/infoblad_ostlanken_nyhetsbrev-190326.pdf [2020-04-16].
- Trafikverket (2020a). *Restriktionsytor för kemisk ogräsbekämpning*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/Material-och-kemiska-produkter/kemisk-ograsbekampning/restriktionsytor-kemisk-ograsbekampning/> [2020-04-12].
- Trafikverket (2020b). *Kemisk ogräsbekämpning*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/Material-och-kemiska-produkter/kemisk-ograsbekampning/> [2020-02-26].
- Trafikverket (2020c). *Bekämpningsmetoder*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/Material-och-kemiska-produkter/kemisk-ograsbekampning/Bekampningsmetoder/> [2020-02-26].
- Trafikverket (2020d). *Så sköter vi järnvägar*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-jarnvagar/> [2020-02-26].
- Trafikverket (2020e). *Bekämpningsmedel*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/Material-och-kemiska-produkter/kemisk-ograsbekampning/Bekampningsmedel/> [2020-03-12].
- Trafikverket (2020f). *Klimatkrav*. Tillgänglig: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/energi-och-klimat/klimatkrav/> [2020-04-06].
- Trafikverket (u.å.). *Höghastighetsbanor. Effekter av hastighet 250 km/h jämfört med 320 km/h*. Tillgänglig: https://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Samhallsekoniskt_beslutsunderlag/Regionoverskridande/Regions%C3%B6verskridande/3.%20Investering/JTR1801%20HH1801%20h%C3%B6ghastighetsbanor/Version%202018-02,%20250/Underlag/rapport_hht_jmf%20320-250kph%202018-02-15.pdf.
- UIC (2018). *Herbie - Guidelines, State of the Art and Integrated Assessment of Weed Control and Management for Railways*. Tillgänglig: https://uic.org/IMG/pdf/herbie_project_2.pdf [2020-02-27].

- UIC & Izt (2020). *UIC Strategy on the future of vegetation control*. Tillgänglig: https://uic.org/IMG/pdf/uic_tristram_strategy_on_the_future_of_vegetation_control.pdf [2020-04-06].
- Ward, J. S. & Mervosh, T. L. (2012). Nonchemical and Herbicide Treatments for Management of Japanese Stiltgrass (*Microstegium vimineum*). *Invasive Plant Science and Management*, vol. 5 (1), ss. 9–19. DOI: <https://doi.org/10.1614/IPSM-11-00018.1>.
- Webber, C. L., Taylor, M. J. & Shreffler, J. W. (2014a). Weed Control in Yellow Squash Using Sequential Postdirected Applications of Pelargonic Acid. *HortTechnology*, vol. 24 (1), ss. 25–29.
- Webber, C. L., Taylor, M. J. & Shreffler, J. W. (2014b). Weed Control in Sweet Bell Pepper Using Sequential Postdirected Applications of Pelargonic Acid. *HortTechnology*, vol. 24 (6), ss. 663–667.
- Vectura (2011). *Miljökontrollprogram för kemiska bekämpningsmedel - Slutrapport*.
- Weedfree On Track (u.å.). *Technical Information*. Tillgänglig: <http://weedfreeontrack.com/technical-information.html> [2020-04-08].

A Appendix A - Diagram över processen för att välja forskningsstudier att inkludera



PRISMA 2009 Flödesdiagram



From: Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. PLoS Med 6(7): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097

For more information, visit www.prisma-statement.org.

B Appendix B - Energiåtgång

Tabell 20: Tabell med det kvantitativa resultatet över energiåtgång [kJ/m^2] för respektive bekämpningsmetod. Visas i resultatkapitlet som en boxplot samt en tabell med medelvärdet av energiåtgången för respektive bekämpningsmetod.

Glyfosat	Pelargonsyra	Hetvatten	Vattenånga	Elektricitet
81,7 ^[1]	960 ^[2]	465 ^[6]	890 ^[13]	-
	377 ^[2]	1430 ^[7]	692 ^[14]	
	466 ^[2]	484 ^[7]	718,4 ^[15]	
	435 ^[3]	1300 ^[7]		
	854 ^[4]	589 ^[8]		
	509 ^[4]	204,1 ^[9]		
	817 ^[5]	204,1 ^[10]		
		722 ^[10]		
		665 ^[10]		
		584 ^[10]		
		494 ^[10]		
		614,46 ^[11]		
		819,28 ^[11]		
		959,31 ^[12]		
		1279,08 ^[12]		

^[1] Dos glyfosat (1,8 kg/ha) multiplicerat med produktionsenergin 454 MJ/ha (Coleman et al. 2019).

^[2] Dos enligt (Crmaric et al. 2018) och samma produktionsenergi som glyfosat.

^[3] Dos enligt (Webber, Taylor & Shrefler 2014b) och samma produktionsenergi som glyfosat.

^[4] Dos enligt (Webber, Taylor & Shrefler 2014a) och samma produktionsenergi som glyfosat.

^[5] Dos enligt (Ward & Mervosh 2012) och samma produktionsenergi som glyfosat.

^[6] (Hansson & Mattsson 2003)

^[7] (Hansson & Ascard 2002)

^[8] (Bogaert et al. 2015)

^[9] (Astatkie, Rifai et al. 2007)

^[10] (Hansson & Mattsson 2002)

^[11] (Mailkontakt Harald Cederlund, SLU 2020-03-05a). Uppgifter från eget test.

^[12] (Mailkontakt Harald Cederlund, SLU 2020-03-05b). Uppgifter från Ramvik entreprenad.

^[13] (Kolberg & Wiles 2002)

^[14] (Astatkie, Gadus et al. 2002)

^[15] (Norberg & Dolling 2003)

C Appendix C - Vattenåtgång

Tabell 21: Tabell med det kvantitativa resultatet över vattenåtgång [L/m^2] för respektive bekämpningsmetod. Visas i resultatkapitlet som en boxplot samt en tabell med medelvärdet av vattenåtgången för respektive bekämpningsmetod.

Glyfosat	Pelargonsyra	Hetvatten	Vattenånga	Elektricitet
0,02741 ^[1]	0,04 ^[2]	0,5 ^[6]	0,32 ^[11]	0
0,02672 ^[1]	0,037416 ^[3]	2,58 ^[6]	1,285 ^[12]	
0,02958 ^[1]	0,037416 ^[4]	0,77 ^[7]		
0,02863 ^[1]	0,0468 ^[5]	3,68 ^[7]		
0,02146 ^[1]		0,77 ^[7]		
		3,68 ^[7]		
		2,9 ^[7]		
		2,9 ^[7]		
		0,56 ^[8]		
		1,68 ^[8]		
		0,46 ^[8]		
		1,38 ^[8]		
		0,4 ^[8]		
		1,76 ^[8]		
		0,33 ^[8]		
		1,45 ^[8]		
		1,5 ^[9]		
		2 ^[9]		
		2,25 ^[10]		
		3 ^[10]		

^[1] (Mailkontakt Harald Cederlund, SLU 2020-03-05c) Förbrukningsdata från Weed-free On Track gällande platserna som ingår i Trafikverkets miljökontrollprogram. Ryningsnäs, Alseda, Lennheden och Strömsheden.

^[2] (Crmaric et al. 2018)

^[3] (Webber, Taylor & Shrefler 2014b)

^[4] (Webber, Taylor & Shrefler 2014a)

^[5] (Ward & Mervosh 2012)

^[6] (Hansson & Mattsson 2003)

^[7] (Hansson & Ascard 2002)

^[8] (Hansson & Mattsson 2002)

^[9] (Mailkontakt Harald Cederlund, SLU 2020-03-05a). Uppgifter från eget test.

^[10] (Mailkontakt Harald Cederlund, SLU 2020-03-05b). Uppgifter från Ramvik entreprenad.

^[11] (Kolberg & Wiles 2002)

^[12] (Norberg & Dolling 2003)

D Appendix D - Inkluderade studier

En förteckning över de studier som inkluderats för bekämpning med pelargonsyra, hetvatten och vattenånga.

Pelargonsyra

Forskningsstudie	Kommentar	Ogräsets utvecklingsstadiet [cm]	Körhastighet [km/h]	Korttidseffekt	Långtidseffekt	Åtgång aktiv ingrediens [g/m ²]	Vattenåtgång [L/ha]
Crmaric et al. 2018	Två tester varav test två hade två upprepningar.	0,25-0,35 respektive 0,05	3,6	ED90		2,1, 1,0 respektive 0,83	400
Webber, Taylor & Shrefler 2014b		8-10		ED43 efter sju dagar.	ED20 efter 28 dagar.	0,96	374
Webber, Taylor & Shrefler 2014a	Två tester. Två upprepningar av behandlingen med åtta dagars mellanrum.			ED88 respektive ED90 efter sju dagar.	ED82 respektive ED84 efter 28 dagar.	1,1 respektive 1,9	374
Ward & Mervosh 2012	En behandling 2008 och en behandling 2009				Ca ED60 fyra månader efter första behandlingen.	1,8	468

Hetvatten

Forskningsstudie	Kommentar	Ogräsets utvecklingsstadiet	Körhastighet [km/h]	Vattnets temperatur [°C]	Korttidseffekt	Långtidseffekt	Energiåtgång [kJ/m ²]	Vattenåtgång [L/m ²]
Hansson & Mattsson 2002a		0,77		104	ED90		465	0,5-2,6
Hansson & Ascard 2002	Experiment 4 och 5	0,5-1 respektive 0,3-0,5	0,9-4,3	103	ED90 efter 14 dagar		1430 respektive 484	
Hansson & Ascard 2002	Experiment 6.	0,3-0,5	0,32-1,26	115-120	Behandlingen upprepades när ogräsen återigen blivit 0,3-0,5 cm höga. Behandlingen behövde då upprepas med 17-33 dagars mellanrum.		1300	
Bogaert et al. 2015							589	
Astakie, Rifai et al. 2007	Två typer av tester med fyra uppreningar vardera .	Test 1. Färre än sex blad. Test 2: Fler än åtta blad.			Test 1: ED46, ED43, ED44 respektive E48. Test 2: ED13, ED25, ED33 respektive ED10.		204	
Hansson & Mattsson 2002b	Fyra tester med olika vattentemperatur.			97, 105, 118 respektive 125	ED90 sju till åtta dagar efter behandling.		722, 584, 655 respektive 494	0,56-1,68, 0,4-1,76, 0,46-1,38 respektive 0,33-1,45
Mailkontakt Harald Cederlund, SLU 2020-03-05a.	Uppgifter från Cederlunds test med hetvattenskum.			98			614,46-819,28	1,5-2
Mailkontakt Harald Cederlund, SLU 2020-03-05b.	Uppgifter från Ramvik entreprenad.		0,3-0,4	102			959,31-1279,08	2,25-3

Vattenånga

Forskningsstudie	Kommentar	Ogräsets utvecklingsstadie	Körhastighet [km/h]	Vattnets temperatur [°C]	Korttidseffekt	Långtidseffekt	Energiåtgång [kJ/m ²]	Vattenåtgång [L/m ²]
Kolberg & Wiles 2002	Test på tre olika sorters ogräs.	Små ogräs				ED20, ED60 respektive ED90 fyra veckor efter behandlingen.	890	0,32
Astatkie, Gadus et al. 2002	Ett test med en behandling, ett med upprepad behandling efter en vecka och ett med upprepad behandling efter två veckor.				ED58, ED60 respektive ED67		692	
Norberg & Dolling 2003	Försök på kalhygge. Marken övertäcktes i en timme efter behandlingen.			100		ED72 ett år efter behandlingen	718,4	1,285

E Appendix E - Exkluderade studier

En förteckning över de studier som exkluderats ur den kvantitativa analysen.

Pelargonsyra

Forskningsstudie	Anledning till exkludering
Ciriminna et al. (2019) <i>Herbicides based on pelargonic acid: Herbicides of the bioeconomy.</i>	Metaanalys.
Belz et al. (2017) <i>Predicting biphasic responses in binary mixtures: Pelargonic acid versus glyphosate.</i>	Pelargonsyran blandas med andra preparat.
Pokhrel & Karsaib (2015). <i>Long-term sub-lethal effects of low concentration commercial herbicide (glyphosate/pelargonic acid) formulation in Bryophyllum pinnatum.</i>	Pelargonsyran blandas med andra preparat.
Fontaine et al. (2014). <i>Acute toxicity and sublethal effects of gallic and pelargonic acids on the zebrafish Danio rerio.</i>	Studien har fel syfte. De kollar effekter på en fiskart.
Chrubasik, Roufogalis & Weiser (2012). <i>Comparison of the Effects of Pelargonic Acid Vanillylamide and Capsaicin on Human Vanilloid Receptors.</i>	Studien har fel syfte. De kollar bara effekt på mänsklig hälsa.
Altland, Gilliam & Wehtje (2009). <i>Interaction of Glyphosate and Pelargonic Acid in Ready-to-Use Weed Control Products.</i>	Pelargonsyran blandas med andra preparat.

Hetvatten

Forskningsstudie	Anledning till exkludering
Kempenaar & Spijker (2004). <i>Weed control on hard surfaces in the Netherlands.</i>	Metaanalys.
Kristoffersen et al. (2008) <i>Non-chemical weed control on traffic islands: a comparison of the efficacy of five weed control techniques.</i>	Författarna skriver att deras energiåtgång är högre än normalt och inte representativ
Coleman et al. (2019). <i>Using energy requirements to compare the suitability of alternative methods for broadcast and site-specific weed control.</i>	Metaanalys.
Anken et al. (2017). <i>Controlling Rumex obtusifolius by means of hot water.</i>	En planta behandlas i taget och resultatet redovisas per planta. Inte representativt.
Börjesson & Cederlund (2016). <i>Hot foam for weed control-Do alkyl polyglucoside surfactants used as foaming agents affect the mobility of organic contaminants in soil?</i>	Studien har fel syfte.
Abouzienna & Haggag (2016). <i>Weed control in clean agriculture: A review.</i>	Metaanalys.
Beeldens et al. (2014). <i>Integrating preventive and curative non-chemical weed control strategies for concrete block pavements.</i>	Studien har fel syfte.
Huber & Kleisinger (2004). <i>Effect of hot foam application on lawn.</i>	Ej åtkomst till fulltext.
Huber & Kleisinger (2004). <i>Thermal weed control with hot foam.</i>	Ej åtkomst till fulltext.
Kleisinger & Kurfess (2000). <i>Effect of hot water on weeds.</i>	Ej åtkomst till fulltext.

Vattenånga

Forskningsstudie	Anledning till exkludering
Lazauskas & Sirvydas (2002). <i>Weed control with water steam in barley.</i>	Ej åtkomst till fulltext.
Avizienyte, Braziene & Vasinauskiene (2019). <i>The effects of water steam on weeds and fungal diseases in the stands of onion.</i>	Studien har fel syfte. Redovisar inte energi- eller vattenåtgång.
Naeth, Stover & Wilkinson (2017). <i>Glyphosate, steam and cutting for non-native plant control in Alberta fescue grassland restoration.</i>	Studien har fel syfte.
Asai et al. (2015). <i>A steaming method for killing weed seeds produced in the current year under untilled conditions.</i>	Studien har fel syfte.
Butkeviciene et al. (2015). <i>Mechanical and thermal weed control and use of bio-preparations in winter oilseed rape.</i>	Ej åtkomst till fulltext.
Morneault et al. (2011). <i>An overview of the efficacy of vegetation management alternatives for conifer regeneration in boreal forests.</i>	Metaanalys.
Melander & Jorgensen (2005). <i>Soil steaming to reduce intrarow weed seedling emergence.</i>	Studien har fel syfte.
Braziene & Vasinauskiene (2016). <i>Damp water steam influence on weed and foliar fungal diseases in sugar beet crop.</i>	Studien har fel syfte.
Hansen, Kristensen & Kristoffersen (2004). <i>Simulation of vegetation cover on sidewalks in Denmark.</i>	De har gjort en simulering.
Kerpauskas et al. (2004). <i>Weed control in onions by steam.</i>	Ej åtkomst till fulltext.
Bond & Grundy (2001). <i>Non-chemical weed management in organic farming system.</i>	Studien har fel syfte.
Angoujard, Blanchet & Lefevre (2001). <i>Non chemical weed control in urban areas.</i>	Ej åtkomst till fulltext.