



## Utveckling av metod för att bedöma behovet av ogräsbekämpning i spår

### *Development of Methods to Support Decisions for Weed Control on Railway Embankments*

Harald Cederlund, SLU, Institutionen för mikrobiologi

Fredrik Fogelberg, Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI)

David Hansson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Roger Nyberg, Högskolan Dalarna

Håkan Schroeder, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

**Rapport 2014:7**

ISBN 978-91-87117-68-8

Alnarp 2014





LANDSKAPSARKITEKTUR  
TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP  
Rapportserie

# Utveckling av metod för att bedöma behovet av ogräsbekämpning i spår

*Development of Methods to Support Decisions for Weed  
Control on Railway Embankments*

**Harald Cederlund, SLU, Institutionen för mikrobiologi**

**Fredrik Fogelberg, Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI)**

**David Hansson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi**

**Roger Nyberg, Högskolan Dalarna**

**Håkan Schroeder, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning**

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, SLU Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

**Rapport 2014:7**

ISBN 978-91-87117-68-8

Alnarp 2014



## Förord

Denna projektrapport är en rapportering från projektet ” ”Utveckling av metoder för att bedöma behov av ogräsbekämpning i spår” (huvudavtal Dnr TRV 2012/60861, SLU Dnr 5.1-684/2012). Projektet har genomförts på uppdrag från Trafikverket i ett samarbete mellan SLU, Högskolan Dalarna och Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI) med Håkan Schroeder (SLU) som projektledare. Från SLU medverkar även Harald Cederlund och David Hansson. Vid JTI är Fredrik Fogelberg ansvarig huvudkontaktperson och Roger Nyberg för Högskolan Dalarna. Trafikverkets kontaktpersoner är Anne-Catherine Berggren och Jan-Erik Lundh (uppdragsansvarig).

Projektet har gjort det möjligt att samla kunskapsmiljöer vid svenska lärosäten och institut med erfarenhet av FoU inom hantering av vegetation i järnvägssammanhang. Den breda kompetensen och erfarenheterna i projektgruppen har varit en stor tillgång i behandling av frågeställningarna och genomförande av pratiska tester. Projektets målsättning är att resultat och slutsatser ska kunna omsättas i praktisk drift inom Trafikverkets egen organisation och hos entreprenörer. Förutsättningarna är goda för att förbättra hanteringen av vegetation i spår både sett till miljöbelastning och ekonomi. Projektet föreslår att Trafikverket tillsammans med övriga intressenter formulerar en långsiktig utvecklingsplan för det fortsatta förändringsarbetet som möjliggör en kontinuerlig förbättring av organisation, metoder och teknik för hantering av vegetation i spår.

Möjligheterna att publicera projektets resultat i internationella tidskrifter som t ex International journal of railway technology alternativt deltagande vid t ex World congress of railway research kommer att prövas, eftersom det är en viktig del i den internationella kunskapsdialogen.

Alnarp, 2014-01-28

Håkan Schroeder



# Innehåll

Sammanfattning .....	1
Summary .....	3
Bakgrund .....	5
Projektets syfte och genomförande .....	7
System för klassificering av bandelar avseende vegetationsförekomst .....	7
Överväganden angående krav som ska ställas på metoder och teknik för insamling och analys av information .....	9
Avläsning av täckningsgrad .....	9
Datainsamling metoder och teknik – genomförda försök .....	10
Bakgrund .....	10
Beskrivning av försöksplatsen .....	10
Artlista i spåret .....	10
Artlista i slänten .....	11
Machine vision .....	11
Introduktion .....	11
Metod .....	12
Kamerauppsättning .....	13
Visuell uppskattning av vegetation med observatörer .....	14
Protokoll för observatörer/bedömare .....	14
Automatisk bildanalys och bildbehandling .....	15
Algoritmbeskrivning .....	15
Analys och resultat .....	25
Observatörers bedömning av yttäckning .....	25
Observatörers frekvensbedömning av vedartade växter .....	28
Jämförelse manuell bedömning och machine vision metoden .....	30
Diskussion machine vision .....	32
Fortsatt arbete .....	34
Visuell bedömning och manuell bildanalys i försök med kemisk bekämpning .....	35
Beskrivning av försökets upplägg .....	35
Utvärdering av ogräseffekterna .....	36
Visuell avläsning .....	36
Bildanalys .....	36
Visuell kontroll av bildanalysen .....	38
Ogräsens sammansättning och täckningsgrad .....	38
Diskussion bildanalys .....	40
N-sensorteknik .....	42

Inledning.....	42
Genomförande.....	43
Mätvärden och verklig vegetationsförekomst.....	45
Resultat.....	47
Mätdata kan presenteras i Google Earth.....	47
Vegetationsförekomst längs spåren.....	48
Sensors mätvärden behöver kopplas till vegetationsmängden.....	49
Diskussion N-sensorteknik.....	50
N-sensors begränsningar.....	50
Ekonomiska aspekter.....	51
Slutdiskussion.....	51
Jämförelse mellan de olika teknikernas resultat.....	53
Teknikval för bedömning av ogräs på banvallar en fråga om behov.....	53
Tidsaspekter på införande av tekniken.....	54
Ekonomiska aspekter.....	54
Förslag på vidareutveckling av metoder och teknik.....	54
Slutsatser med rekommendationer.....	55
Rekommendationer.....	56
Referenser.....	56



## Sammanfattning

En miljöanpassad och resurseffektiv hantering av ogräs i spår ställer krav på god kunskap om vegetationsförhållanden för att behovsanpassa bekämpningsinsatserna. En automatiserad registrering skulle kunna utgöra ett komplement till dagens manuella inspektioner och skulle över tiden helt eller delvis kunna ersätta dessa. En utmaning är att hitta en metod som ger en rimlig upplösning i informationen som samlas in, så att den kan hanteras rationellt av berörda aktörer och samtidigt utgöra ett beslutsunderlag med tillräcklig precision.

Projektet studerade två automatiserade metoder som kan vara aktuella för Trafikverket att använda i framtiden: 1) Machine vision metoden utnyttjar kamerasensorer för att känna av sin omgivning i det synliga respektive nära infraröda spektrumet. 2) N-sensorn sänder ut ljus inom det område som reflekteras av växternas klorofyll. Mängden klorofyll ger ett mätvärde som kan korreleras till biomassan. Valet av teknik beror på vad informationen ska användas till. Om syftet är att översiktligt kartlägga vegetationsförekomst i spår, för att planera åtgärder för underhåll, kan N-sensortekniken vara lämplig. Om man över ytan och tiden vill övervaka och kartlägga aktuell och precis vegetationsstatus, för att kunna bekämpa utvald vegetation med rätt insats, är machine vision tekniken bättre lämpad. Såväl machine vision metoden som N-sensortekniken bygger på registrering av data tillsammans med en GPS-positionering. På sikt kan denna information läggas i databaser som är direkt åtkomliga för berörda organisationer och t o m online i fält under eller i samband med en bekämpningsåtgärd.

De två teknikerna jämfördes med manuella (visuella) skattningar av ogräsförekomsten. Den visuella skattningen av yttäckningsgrad av ogräs i fält skiljde sig statistiskt mellan olika bedömare. När det gäller att uppskatta frekvensen (antalet) vedartade växter (träd och buskar) inom provytorna så var observatörerna relativt överens. Samma person är ofta konsekvent i sitt bedömande, men att jämföra med andra personers bedömning kan ge missvisande resultat.

Systemet för användning av informationen om ogräsförekomst behöver utvecklas som helhet. Tröskelvärden för hur mycket ogräs som kan tolereras på olika typer av spår/driftsplatser är en viktig komponent i ett sådant system. Klassificeringssystemet ska kunna hantera de krav som ställs för att säkerställa banans kvalitet och olika förutsättningar som trafikförhållanden, platsgivna förutsättningar för banan och vegetationens egenskaper.

Projektet rekommenderar Trafikverket att:

- diskutera hur tröskelvärden för vegetationsförekomst på spår kan fastställas
- genomföra registrering av vegetationsförekomst över längre och fler sträckor med en eller flera av de metoder som studerats i projektet
- inleda införande av system som effektivt kopplar informationen om vegetation till position
- inkludera förekomst av vegetation i den registrering som idag sker av spårens (banans) tekniska kvalitet och ansluta datamaterialet till övriga underhållsrelaterade databaser
- inrätta ett antal representativa ytor där ogräsfloran på spåren regelbundet inventeras och mäts för att få en bild av den långsiktiga utveckling som grund för säkrare prognoser för vegetationsutveckling
- säkerställa att nödvändiga utbildningsinsatser genomförs



## Summary

A system for weed management on railway embankments that is both adapted to the environment and efficient in terms of resources requires knowledge and understanding about the growing conditions of vegetation so that methods to control its growth can be adapted accordingly. Automated records could complement present-day manual inspections and over time come to replace these. One challenge is to devise a method that will result in a reasonable breakdown of gathered information that can be managed rationally by affected parties and, at the same time, serve as a basis for decisions with sufficient precision.

The project examined two automated methods that may be useful for the Swedish Transport Administration in the future: 1) A machine vision method, which makes use of camera sensors as a way of sensing the environment in the visible and near infrared spectrum; and 2) An N-Sensor method, which transmits light within an area that is reflected by the chlorophyll in the plants. The amount of chlorophyll provides a value that can be correlated with the biomass. The choice of technique depends on how the information is to be used. If the purpose is to form a general picture of the growth of vegetation on railway embankments as a way to plan for maintenance measures, then the N-Sensor technique may be the right choice. If the plan is to form a general picture as well as monitor and survey current and exact vegetation status on the surface over time as a way to fight specific vegetation with the correct means, then the machine vision method is the better of the two. Both techniques involve registering data using GPS positioning. In the future, it will be possible to store this information in databases that are directly accessible to stakeholders online during or in conjunction with measures to deal with the vegetation.

The two techniques were compared with manual (visual) estimations as to the levels of vegetation growth. The observers (raters) visual estimation of weed coverage (%) differed statistically from person to person. In terms of estimating the frequency (number) of woody plants (trees and bushes) in the test areas, the observers were generally in agreement. The same person is often consistent in his or her estimation: it is the comparison with the estimations of others that can lead to misleading results.

The system for using the information about vegetation growth requires development. The threshold for the amount of weeds that can be tolerated in different track types is an important component in such a system. The classification system must be capable of dealing with the demands placed on it so as to ensure the quality of the track and other pre-conditions such as traffic levels, conditions pertaining to track location, and the characteristics of the vegetation.

The project recommends that the Swedish Transport Administration:

- Discusses how threshold values for the growth of vegetation on railway embankments can be determined
- Carries out registration of the growth of vegetation over longer and a larger number of railway sections using one or more of the methods studied in the project
- Introduces a system that effectively matches the information about vegetation to its position
- Includes information about the growth of vegetation in the records that are currently maintained of the track's technical quality, and link the data material to other maintenance-related databases

- Establishes a number of representative surfaces in which weed inventories (by measuring) are regularly conducted, as a means of developing an overview of the long-term development that can serve as a basis for more precise prognoses in terms of vegetation growth
- Ensures that necessary opportunities for education are put in place

## Bakgrund

En miljöanpassad och resurseffektiv hantering av ogräs i spår ställer krav på god kunskap om vegetationsförhållande både hos de planerande och utförande delarna av organisationen. Grundprincipen är enkel ”rätt insats på rätt plats vid rätt tid” men vägen dit är inte lika enkel då det krävs tillgång till kunskap och information i alla delar av aktörskedjan.

Huvudskälet till att Trafikverket vill kontrollera vegetation längs med järnvägarna är för att upprätthålla säkerheten för personal och passagerare (Banverket 2000, 2001, 2005, 2005a). Ogräs utmed järnvägsspåren ökar risken för att spårarbetande personal ska snubbla eller halka och gör det svårt för besiktningsmän/kvinnor att upptäcka eventuella fel och skador på anläggningen.

Om vegetationen tillåts växa okontrollerat kommer kärnverksamheten (transportera gods och passagerare) och underhållsverksamhet att bli drabbad. Scrivner (2004) framhåller att den största effekten av okontrollerad vegetation främst är ekonomisk. Detta eftersom okontrollerad vegetation accelererar försämringen hos varje komponent i järnvägsinfrastrukturen.

Okontrollerad vegetation längs med järnvägen medför flera potentiella ytterligare problem (Nyberg et al. 2013a):

1. Elasticiteten i ballasten minskar på grund av rötter och ogräs och kan leda till frostsprängning under kalla perioder.
2. Vegetationen kan dölja eller delvis täcka järnvägssignaler.
3. Torr vegetation kan börja brinna under perioder av varmt väder.
4. Ökad bromssträcka för tåg. Lövhalka kan uppstå på vegetation längs med järnvägen och blöta löv som hamnar på rälsen.

Den upphandlade underhållsentreprenören genomför idag kemisk ogräsbekämpning i spår och driftplatser utifrån en behovsinventering som sammanställs av Trafikverket. I dagsläget har dock Trafikverket och andra organisationer som ansvarar för underhåll av järnvägar få möjligheter att på ett objektiva, enkelt och snabbt sätt bedöma behovet av ogräsbekämpning i spår. I sin enklaste form utförs bedömningen av ogräsförekomst genom att en person betraktar ogräsen på spåren och anser förekomsten vara låg och därmed inte påverka banans funktion eller vara så pass hög att någon form av åtgärd krävs. Denna bedömning kan göras av personer från Trafikverket eller av entreprenörer på Trafikverkets uppdrag.

Ett visst stöd för genomförande av en sådan visuell behovsinventering finns i form av Handbok BVH 872.2 *Behovsanalys inför vegetationsreglering* men att få in likvärdiga bedömningar av bekämpningsbehovet från olika underhållsområden har visat sig vara svårt. Att genomföra en tillförlitlig värdering av ogräsförekomsten i spår och det därtill kopplade bekämpningsbehovet kräver erfarenhet och kunskap, och att den som ansvarar för bedömningen har möjlighet att regelbundet vistas i och besiktiga de spår man ansvarar för. Behovsinventering kan också i viss mån utföras eller i efterhand kontrolleras utifrån filmer inspelade med mättåg (STRIX), men det förutsätter att mättåget har passerat på den aktuella sträckan under vegetationssäsongen.

Konsekvensen av att bedömningen av ogräsförekomst är osäker och av att behovsinventeringen av bekämpningsbehovet till viss del är subjektiv blir i värsta fall att ogräsbekämpning prioriteras på bandelar där bekämpningsbehovet i själva verket är litet eller

att ingen bekämpning utförs på bandelar där bekämpningsbehovet är stort. I situationer där de finansiella medlen som tilldelas ogräsbekämpning är knappa blir det också svårt att från central nivå prioritera mellan de behov som inlämnats från olika underhållsområden.

Nackdelar med dagens behovsinventering:

- Inspektioner i fält eller genom att titta på STRIX-film är tidskrävande och därmed dyra.
- Utfallet av inspektioner är mycket subjektiva och beror av inspektörens erfarenhets- och kunskapsnivå. Detta resulterar i en ojämn besiktningsskvalitet.
- Svårt att jämföra och prioritera mellan behov inlämnade av olika underhållsområden.
- Fragmenterad information, d v s viktiga detaljer från besiktningstillfället kan stanna hos underhållsentreprenören som utfört kontrollen, vilket gör att varken beställande myndighet (Trafikverket) eller annan entreprenör kan ta del av denna information.
- Svårt att utifrån behovsinventeringens resultat bedöma vegetationens utveckling i spåret på lång sikt.

Det finns idag alltså ett stort behov av att få tillgång till tillförlitlig information om status för vegetationen för att bättre kunna bedöma årsbehovet av ogräsbekämpning, samt att i underhållsplaneringen bättre prioritera bekämpningsinsatserna. Ytterligare motivering till varför metoderna för att mäta ogräsförekomsten i spår kan behöva utvecklas ges av Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/128/EG om hållbar användning av bekämpningsmedel som har börjat gälla sedan årsskiftet 2013/2014. Direktivet föreskriver bl a att samtliga yrkesmässiga användare av bekämpningsmedel ska tillämpa principerna om integrerat växtskydd, se Bilaga 3. I sin skrivning är direktivet i huvudsak inriktat mot användning av bekämpningsmedel inom jordbruket vilket förvisso lämnar en del tolkningsutrymme för hur integrerat växtskydd bör tillämpas inom järnvägssektorn. Några huvudprinciper som kan extraheras:

- Bekämpningsbehovet ska inventeras ”med lämpliga metoder och verktyg”.
- Beslut om bekämpning ska fattas utifrån en utförd behovsinventering och utifrån ”Tillförlitliga och vetenskapligt underbyggda tröskelvärden”.
- Användningen av kemiska bekämpningsmedel ska begränsas till vad som är absolut nödvändigt, t ex genom minskad spridningsfrekvens.
- Nyttan med de bekämpningsinsatser som utförs bör utvärderas i efterhand.

För att kunna motivera användningen av kemiska ogräsbekämpningsmedel på järnvägen kommer det sannolikt bli allt viktigare att kunna demonstrera hur Trafikverket efterlever principerna om integrerat växtskydd på ett systematiskt sätt.

En automatiserad metod för att mäta ogräs i spår skulle kunna utgöra ett sådant ”*lämpligt verktyg*” som kan användas för behovsinventeringen inför ogräsbekämpningen, för att utvärdera utförda bekämpningsåtgärder och för att långsiktigt bedöma vegetationens utveckling i spåret. En sådan metod kan utgöra ett komplement till dagens visuella inspektioner och skulle över tiden helt eller delvis kunna ersätta dessa. En utmaning är att hitta en metod som ger en rimlig upplösning i informationen som samlas in, så att den kan hanteras rationellt av berörda aktörer och samtidigt utgöra ett beslutsunderlag med tillräcklig precision.

## Projektets syfte och genomförande

Projektets övergripande syfte är att bidra till att bekämpningsinsatser som utförs är effektiva sett till spårkvalitet, påverkan på trafik, ekonomi och miljöbelastning. Rent konkret sker detta genom att sammanställa information om, och praktiskt testa, tekniker som skulle kunna användas av Trafikverket för att mäta ogräsförekomster och utvärdera bekämpningsinsatser. En viktig utgångspunkt för sammansättning av projektgruppen, och genomförandet, har varit att tillvarata kunskap och erfarenhet inom kunskapsområdet både ur ett vetenskapligt och tillämpat perspektiv. Kunskap och erfarenhet som utvecklats genom bl a tidigare FoU-projekt genomförda på uppdrag av, och i samarbete med, Trafikverket och tidigare Banverket.

Projektet ska även bidra till att meritera medverkande parter inom kunskapsområdet ”vegetationskontroll”, men också lägga en grund för en långsiktig systematisk utvecklings- och lärandeprocess inom projektets frågeställningar. Detta ska ske i samverkan mellan Trafikverket och relevanta aktörer som lärosäten, institut, företag, myndigheter etc.

Delmoment i projektets genomförande:

- Sammanställa kunskap och erfarenheter
- Utvärdera metoder och teknik
- Analysera information utifrån trafikverkets kontext
- Föreslå lösningar på metod- och systemnivå för fortsatt utvärdering
- Presentera förslag till fortsatt utveckling

## System för klassificering av bandelar avseende vegetationsförekomst

Det är viktigt att reflektera över hur man på ett systematiskt sätt kan utvärdera och använda sig av den information om ogräsförekomst som samlas in. Trafikverket behöver etablera gränsvärden för hur mycket ogräs som kan tolereras på olika typer av spår/driftsplatser. Sådana tröskelvärden bör ligga till grund för beslut om när och vilken typ av bekämpningsåtgärd som behöver sättas in.

Kunskap om ogräsen påverkan på spårkvalitet är en viktig grund för en utveckling av ett sådant klassificeringssystem. Frågan om vilka motiven för ogräsbekämpning är och problemens art och omfattning är ständigt föremål för diskussion. Beskedet från järnvägsförvaltaren varierar något över tid och beroende på vem man pratar med. En viktig orsak är att det saknas kunskap för att entydigt besvara dessa frågeställningar.

Framst saknas kunskap när det gäller vegetationens indirekta påverkan på spårkvaliteten genom rötters och det organiska materialets negativa inverkan på makadamens bärighet. Att vegetationen påverkar spårkvaliteten i detta avseende ifrågasätts inte, men kunskapen om ogräsen negativa påverkan och hur dess omfattning relaterar till den kostnad och miljöbelastning som är förknippad med att utföra kemisk ogräsbekämpning är otillräcklig. Ballastrening används för att återställa spårkvaliteten men motiveras inte bara av förekomst av organiskt material från nedbrytning av ogräs utan genomförs också för att förorenande material tillförs banvallen från trafik, omgivning och slitage på makadam. Det saknas kunskap för att göra bedömningar av de ekonomiska och miljömässiga konsekvenserna av ogräsförekomstens påverkan på behov av kostsam ballastrening. Stora delar av järnvägsnätet

ballastrenas heller inte, eller mycket sällan, vilket innebär att den möjligheten att rensa bort vegetationen är begränsad.

Vegetationens direkta negativa påverkan som t ex på möjligheten att besiktiga anläggningarna och på sikt är betydligt lättare att omsätta i ett klassificeringssystem med tröskelvärden som kan ligga till grund för beslut om bekämpningsinsatser. I dessa fall är det både relativt enkelt att konstatera hur stor en icke acceptabel ogräsförekomst är, uttryckt i vegetationens höjd och täckningsgrad.

Ett klassificeringssystem som ska uttrycka gränsvärden för vegetationsförekomst ska hantera både krav som ställs på anläggningarna i olika situationer för att säkerställa kvalitet och platsgivna förutsättningar. Exempel på kvalitetsaspekter är:

- Sikt vid besiktning av spårinfästningar etc
- Förarens sikt
- Halkrisk på bangårdar
- Förorening av ballast

Exempel på platsgivna förutsättningar som kan ha betydelse för att fastställa gränsvärden för förekomst av vegetation är:

- Restriktionsyta för användning av kemiska bekämpningsmedel
- Banvallens material (grus)
- Trafik på sträckan (antal tågsätt, hastighet, prioritet etc.)
- Tidplan för ballastrening
- Biologisk mångfald (EC 2014)

Vegetationens egenskaper och dess påverkan på spårkvalitet och bekämpningsmöjligheter kan förenklat beskrivas genom:

- Biomassa (torrsubstansvikt per ytenhet)
- Täckningsgrad (procentuell täckningsgrad i horisontalplanet)
- Höjd (ofta högsta höjd)
- Arter (antal och frekvens)
- Antal växtkluster per ytenhet
- Spatialt mönster för växter/växtkluster

Biomassan är vägledande för tillförsel av organiskt material och därigenom konstruktionens bärighet. Täckningsgrad och höjd kan användas för att beskriva påverkan på sikten eller som skattningar av biomassa.

En ökad precision i bekämpningsinsatser kräver ett bättre underlag för bedömning av bekämpningsbehov som t ex vegetationens täckningsgrad och typ av vegetation där t ex mossor och vedartad vegetation som tall har helt olika påverkan på anläggningen.

Vegetationens artsammansättning, både avseende antal arter och frekvens för respektive art, har också betydelse för att t ex kunna göra tillväxtprognoser och val av bekämpningsinsats. Vegetationens höjd som utlösande faktor för bekämpningsbehov är främst betydelsefull i



situationer då sikten är en avgörande faktor. Sikten är betydelsefull för fordonsföraren men även vid säkerhetsbesiktning. En framkomlig väg kan vara att identifiera högsta tillåtna höjder för typfall i järnvägs miljön som kan utgöra trösklar för bekämpningsbehov.

Utöver vegetationsrelaterade parametrar påverkas bekämpningsbehovet av typ av anläggning som linje, bangård etc och i vilken del av anläggningen vegetationen förekommer exempelvis nära räl, invid signal etc. Utvecklingen av vegetationsrelaterade kriterier kräver anpassning till befintliga system för anläggnings- och besiktningsklasser. Generellt sett kommer det att krävas enkla kriterier i den praktiska tillämpningen i drift.

## **Överväganden angående krav som ska ställas på metoder och teknik för insamling och analys av information**

Nedan presenteras projektets analys av vilken information som ska prioriteras för att beskriva vegetationsförhållanden och möjligheter att samla in efterfrågad data baserat på tidigare erfarenheter.

Följande parametrar som beskriver vegetationsförhållanden bedöms som relevanta att överväga att använda sig av som grund för planering och genomförande av bekämpningsinsatser:

- Täckningsgrad, variation över sträckan, variation över sektion (normalt mindre förekomst av vegetation närmare mitten av spåret)
- Höjd
- Arter. För att underlätta avläsning och analys kan det vara aktuellt att t ex bara registrera barrväxter och inte upplösning på artnivå. Enskilda arter som bladvass eller åkerfräken skulle också kunna vara av intresse att dokumentera inför beslut om åtgärder
- Beståndsstruktur. Vegetationens fördelning över ytan (enskilda plantor, tuvor mattbildande bestånd etc)

## **Avläsning av täckningsgrad**

Registrering av täckningsgrad sker normalt enligt tre olika metodprinciper:

1. täckningsgrad % över avläst ruta,
2. förekomst eller ej i skärningspunkt ruttmönster (1 eller 0),
3. förekomst eller ej i ruta (1 eller 0)

Täckningsgrad översätts ibland till en indelning i klasser men det är bättre att använda täckningsgrad uttryckt i procent vid registrering eftersom det underlättar analysen av data. Det är också en fördel vid automatiserad avläsning. Erfarenheter från avläsning av försök visar att det går att med bildanalys av foton få en god överensstämmelse med manuell/visuell avläsning och bedömning. En automatiserad metod som ett komplement till manuella inspektioner skapar möjligheter att både öka kvaliteten hos informationen och reducera kostnaderna. Det finns kommersiellt tillgänglig teknik för att registrera och analysera data om vegetationsförekomst inom lantbruket, men också för järnvägstillämpning.

# Datainsamling metoder och teknik – genomförda försök

## Bakgrund

I projektet har tre metoder för bedömning av ogräsförekomst på spår studerats och jämförts, manuell bedömning, machine vision respektive analys med N-sensorteknik. I projektets inledningsskede diskuterades även genomförande av tester för mätning av ogräshöjd, vilket inte prioriterades.

## Beskrivning av försöksplatsen



Figur 1 Försöksplatsens ungefärliga sträckning.

Försöken genomfördes på en försökssträcka som också användes för att testa ogräsbekämpningsmedel för Trafikverkets räkning. Försöksplatsen låg på bandel 827 (Vetlanda-Kvillsfors) strax sydväst om Holsbybrunn mellan spkm. 35+900 till 36+400 (ungefärliga koordinater enligt SWEREF99: 6365238, 510384 till 6365115, 511002), se Figur 1. Sträckan är sparsamt trafikerad och relativt kraftigt bevuxen med ogräs i slänterna, men mer sparsamt uppe i spåret. Förutom att slänterna var mer frodigt bevuxna skiljde sig också ogrässammansättningen åt mellan spår och slänt (se artlistor).

## Artlista i spåret

Smalbladigt gräs/bredbladigt gräs (varierande arter, bl a bergsslok, vårfryle, sandlosta, hundäxing), maskros, bergsyra, lomme, förgätmigej, ögontröst, strimsporre, käringtand, tall, gran, björk, salix, rönn, en, vallmo, styvmorsviol, åkerviol, smultron, grustrav (vanlig), fyrkantig Johannesört, åkervädd, kråkvicker, tistel, måra (ej definierad), skogssallat, Carex sp. och rallarros/mjölkört.

## Artlista i slänten

Gran, tall, björk, hallon, smalbladigt/bredbladigt gräs (bl a bergsslok), rallarros, kråkvicker, vial, liljekonvalj, måra + vitmåra, hundkex, palsternacka, brännässla, klöver, skogskovall, vitsippa, prästkrage, johannesört, ängssyra, bergsyra, blåklocka, gråfibbla, skogsfräken, åkerfräken, lingon, veronika och hästhov.

## Machine vision

### Introduktion

Denna del i rapporten beskriver användande av machine vision (MV) för att inspektera och bedöma mängden vegetation. Detta görs genom att samla in bilder från banvallen med kamerasensorer. Dessa bilder analyseras och behandlas sedan automatiskt av systemet och resulterar i procentsatser beskrivande total yttäckning inom vald yta.

**Syftet** med denna undersökning är:

1. Undersöka möjligheten att samla in data med hjälp av kamerasensorer och via bildbehandling och bildanalys automatiskt uppskatta mängden vegetation längs en viss given sträcka (yttäckning i %).
2. Undersöka tillförlitligheten i manuella uppskattningar av mängden vegetation längs samma sträcka och jämföra dessa data med machine vision systemets utdata.

Det finns inga frekvent förekommande vedertagna svenska termer för *machine vision* och *computer vision*. Det finns det för *digital image processing (DIP)* som ofta översätts till *bildanalys och bildbehandling*. För att göra rapporten mer lättläst kommer därför de engelska begreppen *machine vision* och *computer vision* att användas.

De tre områdena *machine vision*, *computer vision* respektive bildanalys och bildbehandling går in i varandra. I litteraturen används ofta *machine vision* och *computer vision* som varandras synonymer, men har bland annat följande utmärkande särdrag; *machine vision* behandlar teori och teknik för att bygga artificiella system, som oftast handlar om systemingenjörslösningar, ofta i industriella sammanhang. Systemet i fråga inhämtar (via kamerasensorer) information om sin omgivning ur bilder eller bildrutor ur filmklipp. Även annan flerdimensionell data från sensorer som t ex RADAR, LIDAR eller SONAR kan komma ifråga. Inom *computer vision* området tas en mer akademisk ansats och omfattar därför mer teoretiska aspekter. Både *machine vision* och *computer vision* har bildanalys och bildbehandling (*digital image processing*) som en av sina grundpelare. För en mer utförlig diskussion om innebörden av dessa tre termer, se bl a (Batchelor 1999).

Mönsterigenkänning och maskininlärning (*machine learning*) är starkt sammanfogade både med *machine vision* och *computer vision*. I denna rapport används termerna *machine vision* respektive *computer vision* synonymt.

Uppskattningen av mängden vegetation kan dels bygga på att dokumentera hela populationen eller genom att dra statistiska slutsatser från stickprov ur populationen. Att dokumentera hela populationen skulle kräva mycket minne för lagring av bilder, t ex över en sträcka på 500 meter skulle cirka 150 bilder behöva tas per kamera. Då efterbehandling av bilder kan behövas, som t ex att förändra exponeringen p g a av förändrade ljusförhållanden under datainsamlingen, så måste bilderna lagras i RAW-format. Med bilder i detta format kan man i

efterhand förändra exponeringen eller vitbalansen m.m. Detta är en säkerhet som alla professionella fotografer utnyttjar. RAW-formatet är till skillnad från t ex JPEG-formatet mycket minneskrävande. En högupplöst bild kräver 10-15 megabyte (MB) minnesutrymme. Detta medför att cirka 4500 MB (4,5 gigabyte (GB)) skulle krävas per kilometer järnväg. Över tiden blir det därför stora mängder data som behöver lagras.

## Metod

Datainsamling har skett dagtid vid två separata tillfällen i fält längs en kilometerlång järnvägssträcka (~700 meter) belägen utanför Vetlanda, mellan WGS 84 (lat, lon) 57.42992, 15.17194 och 57.42871, 15.18220. Översigtsbild över del av sträckan kan ses i Figur 2 samt även karta i Figur 1.

Väderförhållande vid båda datainsamlingstillfällena: Soligt, få stackmoln och cirka 25 grader Celsius i skuggan. Marken var torr.



Figur 2 Översikt över studerad sträckning

Var 20:e slipers markerades med röda punkter och var 10:e slipers markerades med siffrorna 0 till 89 med gul sprayfärg. Varje sampelarea (sampilplot) representerades av fem grus-/ballastfyllda slipersmellanrum, enligt Figur 3. Sampelareorna benämndes med idnummer 500 till 678. Totalt dokumenterades 179 sådana sampelytor vid två tillfällen, i juni respektive augusti.





Figur 3 Generellt utseende på dokumenterad sampelarea (samplot nr 604)

### **Kamerauppsättning**

Under fältstudierna användes en DSLR Nikon D90 kamera för att registrera det synliga spektrumet (från cirka 400 till 700 nanometer) och en professionellt ombyggd DSLR Nikon D70s kamera för att känna av nära infrarött ljus. D70s kameran var försedd med ett internt filter som släpper in infrarött ljus från 720 nanometer och uppåt (motsvarande Hoya R72 Filter / Kodak Wratten 89b filter / 720 nm filter ). Ingen extra belysning eller blixtn användes. Bilder sparades som RAW-filer i RGB-färgrymden. Bildstorlekar var enligt följande: Nikon D90 4288 \* 2448 pixlar i upplösning 300 punkter per tum respektive Nikon D70s 3008 \* 2000 bildpunkter vid upplösningen 300 punkter per tum. Till de båda kamerorna användes två identiska objektiv: Tamron Ultra vidvinkelobjektiv SP AF10 - 24mm F/3.5-4.5 Di II LD Asfärisk [ IF ]. Brännvidden sattes till 10 mm vilket gav en vinkel på 100° i bredd. De båda kamerorna monterades parallellt med varandra på ett stativ, som i sin tur monterades på en rälsgående kärre. Kamerornas höjd över marken var 2,25 meter. Varje kamera var riktad svagt nedåt och framåt i färdriktningen, 65 grader under horisontallinjen, se Figur 4 och Bilaga 2.



Figur 4 Rälsgående kärre med parallellmonterade kameror

Vid var femte slipers, avfyrades kamerorna manuellt med hjälp av två Aion trådlösa fjärrutlösare med timerfunktion som kommunicerade via radiovågor med respektive kamera. Hela järnvägssträckan dokumenterades. I denna rapport behandlas endast VIS-spektrat dokumenterat av Nikon D90 kameran.

## Visuell uppskattning av vegetation med observatörer

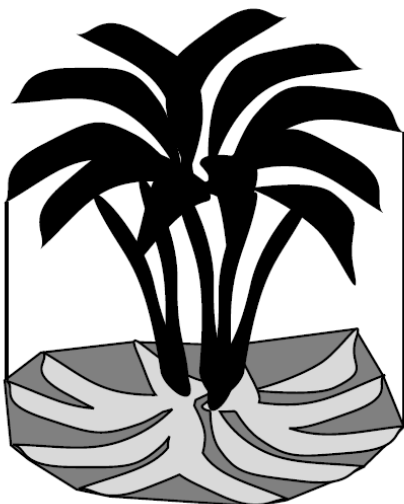
Tre observatörer har i tolv sampelytor (plotid: 500, 516, 532, 548, 564, 580, 596, 612, 628, 644, 660 resp. 676) visuellt uppskattat dels vegetationens totala yttäckning och dels antalet vedartade växter. Varje yta beskrev ett rektangulärt område innefattande fem stycken ballastmellanrum mellan slipers (cirka 4,5m) och begränsades av slipersbredden (cirka 2,3m). De tolv ytorna valdes ut via systematisk samplingsmetod, där startpositionen för den första sampelytan slumpades. Samplingintervall (stickprovsintervall) slumpades till att vara var åttonde gul nummerspraymarkering från startpositionen. Varje sampelytas start var vid den slipers som markerades med gul sprayfärg på ytans första slipers.

## Protokoll för observatörer/bedömare

Metod för att uppskatta yttäckning var att enligt *trädkronmodellen*, se Figur 5 ovanifrån (i nadirperspektiv även s.k. fågelperspektiv) uppskatta hur stor andel växten upptog av respektive sampelyta. Växt definierades som att vara en individ eller då det inte var praktiskt möjligt att urskilja individer mycket tätt ihopklumpade individer (växtkluster).

Observatörerna kom överens om att en A4-sida motsvarade cirka 1% av en sampelytan. Alla observatörer använde A4-papper för att notera sina observationer och kunde således ta hjälp av samma A4-papper i sina uppskattningar. Observatörerna uppskattade respektive sampelyta enskilt, utan att samverka med annan observatör. Inga tidsbegränsning sattes. För varje sampelyta finns bilder dokumenterade, enligt ovan.

Antalet växter eller växtkluster (då individer inte kan urskiljas) samt deras position i förhållande till varandra, d v s spatialt mönster är ytterligare intressanta mätbara attribut som beskriver vegetationen. För att statistiskt kunna skatta mängden vegetation mellan två stickprovsytor behöver man veta dessa två attribut (Krebs 1999). Antalet vedartade växter/kluster räknades därför i varje plott. Klustrens position bedömdes inte av observatörerna p g a av tidsbrist.



Figur 5 Projicerad yta enligt trädkronmodellen

För att undersöka om det finns skillnader mellan observatörernas bedömningar, så används variansanalys i form av envägs ANOVA.

Det är vanligt att beräkna korrelation, Pearson's  $r$  (eller Spearman's  $r$  vid icke-parametrisk data) mellan variabler. En perfekt korrelation (d v s exakt linjärt samband) nås vid  $r=1$  eller  $r=-1$ , men när det gäller observationer av denna typ så räcker det inte att detta, utan även observationernas överensstämmelse (Eng. agreement), är av mycket stort intresse. Exempel: Om två observatörer A respektive B bedömer fyra företeelser enligt observationerna:  $A = (10,20,40,50)$  resp.  $B=(1,2,4,5)$  så erhålls en perfekt positiv korrelation ( $r=1$ ), men de är inte överens i sin bedömning.

För att i denna studie undersöka hur pass överens observatörerna var i sina bedömningar så beräknas överensstämmande (Eng: agreement) i form av tillförlitlighet med intrakorrelationskoefficienten ICC(2,1) (Shrout and Fleiss 1979) där varje objekt (som i denna studie representeras av en rektangulär sampelruta på järnvägsbanken) mäts av varje bedömare. Bedömarna antas här vara representativa för ett större antal liknande bedömare i populationen. ICC koefficienten kan teoretiskt variera mellan 0 till 1,0, där ett ICC värde på 0 indikerar ingen tillförlitlighet medan ett ICC värde på 1,0 indikerar perfekt tillförlitlighet, d v s bedömarna var helt överens. Alternativ till ICC-metoden är t ex Cohens Kappa som beskrivs bl a av (Viera 2005).

## Automatisk bildanalys och bildbehandling

Huvuddelen i de flesta bildanalysproblem består i att segmentera d v s skilja ut intressanta företeelser eller objekt i en bild från en bakgrund. Slutmålet för analysen är att för dessa objekt leverera mätvärden med avseende på t ex position, storlek, antal och form. I många fall är det svårt att som person hantera bildanalysprogram som t ex Adobe Photoshop eller GIMP. Detta trots den enorma slutledningskapacitet och tolkningsförmåga som vi människor har. Att segmentera ut objekt i bilder per automatik är därför en av de mest krävande delarna i bildanalysen.

## Algoritmbeskrivning

Beskrivningen av algoritmen görs på en hög abstraktionsnivå för bättre förståelse. Nedanstående steg sker automatiskt och en godtycklig serie bilder kan sekventiellt analyseras. Det *enda manuella steget* från programstart till färdig analys är att tanka ur bilder ur kameran.

Inledningsvis kommer algoritmen att bestämma den bildarea vari beräkningar ska ske. Viktigt är att de båda rälarna kan identifieras i bilden. Om båda rälarna hittas så vet man ett fast mått i bilden, nämligen den nominella spårvidden (1435 mm mellan insidan av rälarna). Genom att veta detta kan man beräkna förhållandet pixel per meter i verkligheten. Om kameran har felmonterats eller hamnat fel under färden så kommer algoritmen att upptäcka detta genom att en eller båda rälarna inte finns med i bilden.

Originalbilden, se Figur 6, segmenteras genom Mean-shift segmentering (Comaniciu et al. 2002) med parametervärdena  $hs = 4$  resp.  $hr = 32$ . Metoden delar upp bilden i ett i förväg icke bestämt antal kluster, se Figur 7, vars uppgift är att lättare hitta liknande objekt i bilden. Rälarna syns nu bra på bilden, men de är inte representerade på något sätt ännu (med t ex färg, koordinater, vinklar o s v).



Figur 6 Originalbild (Vid 40:e markeringen, plotid 660)

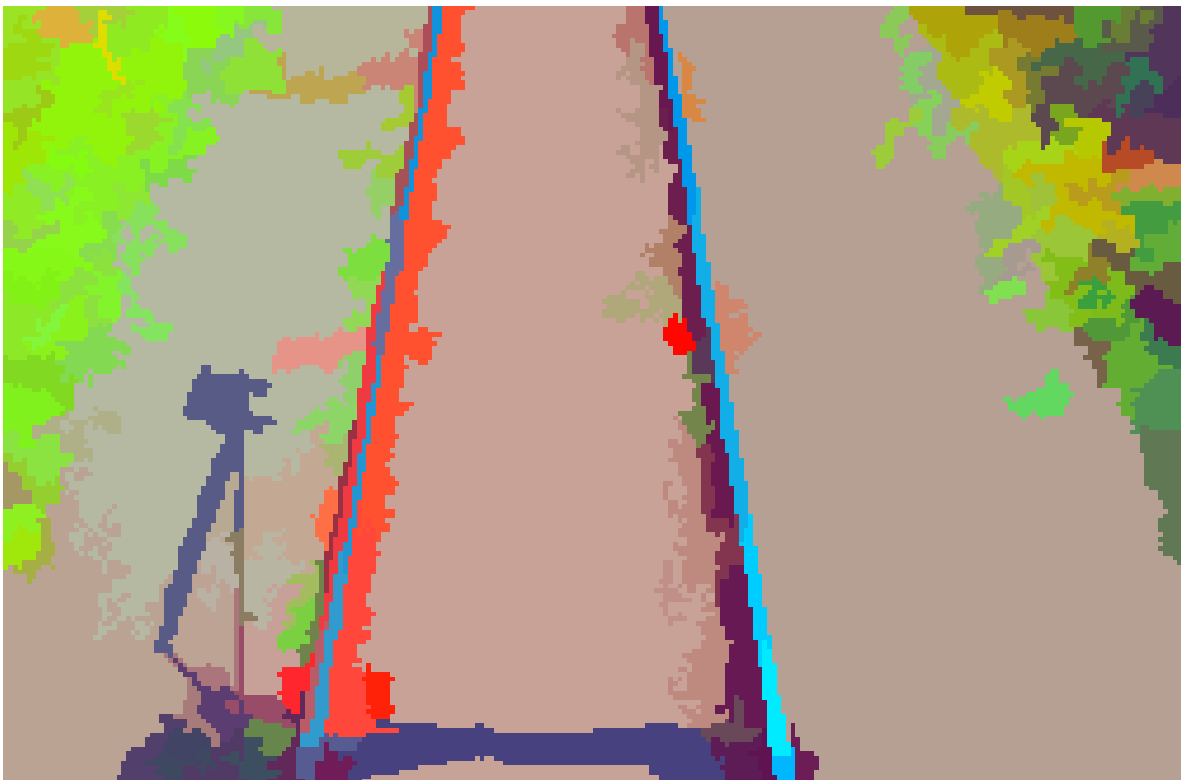


Figur 7 Efter Mean-shift segmentering

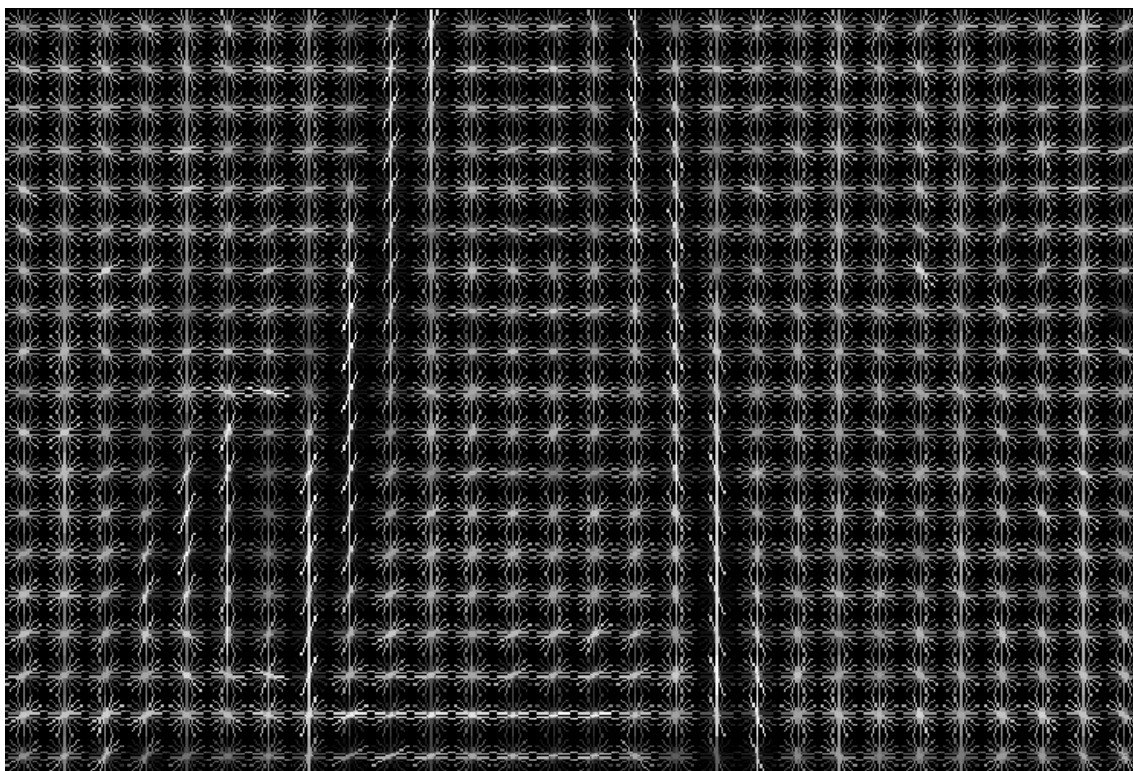


För att ytterligare öka variationen i datamängden dekorreleras respektive färgkanal (Röd, Grön och Blå, RGB), se Figur 8 samt hur den senare maskas av en kommande HOG-operation i Figur 10 (allt som inte är svart) som beskrivs härnäst.

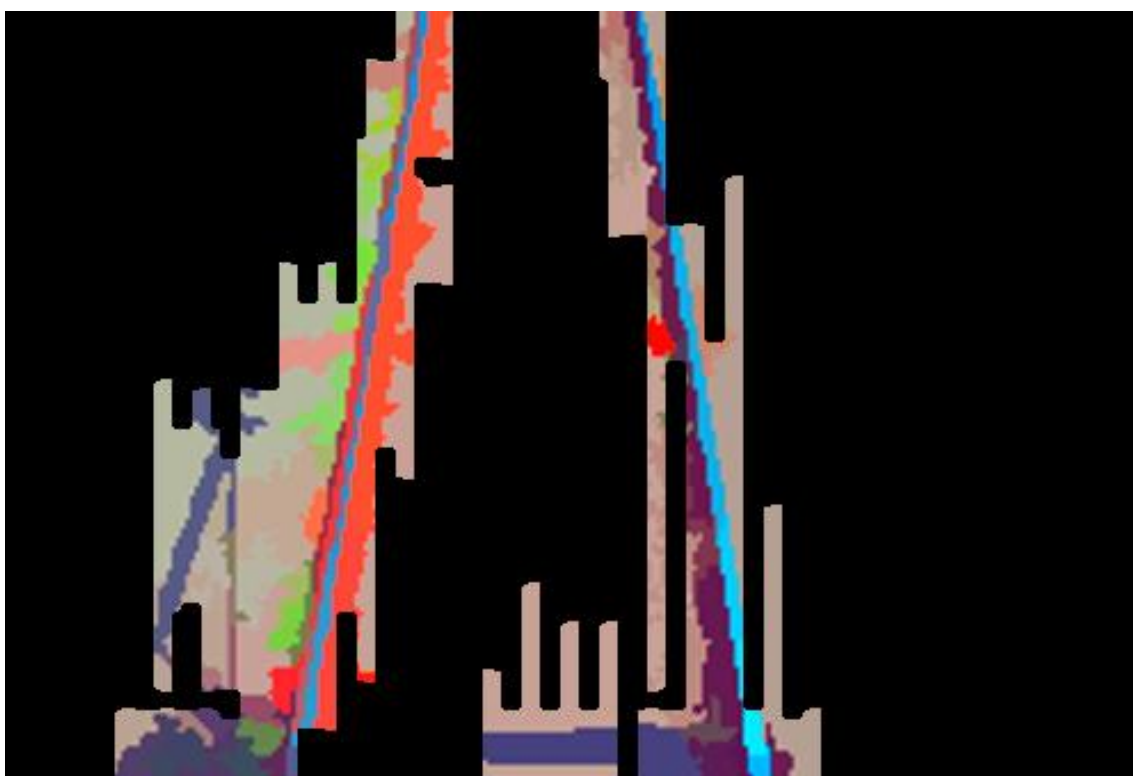
Parallellt med Mean-shift segmentering genomförs även en segmentering via Histogram of Oriented Gradients (HOG-segmentering) (Dalal 2005), (Felzenszwalb 2010). HOG är även den en metod som används för att detektera objekt i bilder genom segmentering. Grunden för denna operation är att skapa en bildmask som döljer (maskar bort) allt som inte kan betraktas som räls. Grundfunktionen resulterar i en binär bild (svart-vit) som i Figur 9, där man kan ana rälsens position. Denna bild bearbetas med ett antal morfologiska operationer, se t ex (Gonzales 2007) för beskrivning av dessa operationer. Resultatet av dessa operationer kan se ut som i Figur 10, där den binära s k HOG-masken är lagd som ett lager på den bild Mean-shift segmenteringen gav.



Figur 8 Efter dekorrelering av färgkanaler (RGB)



Figur 9 Efter HOG segmentering för att finna rälsen



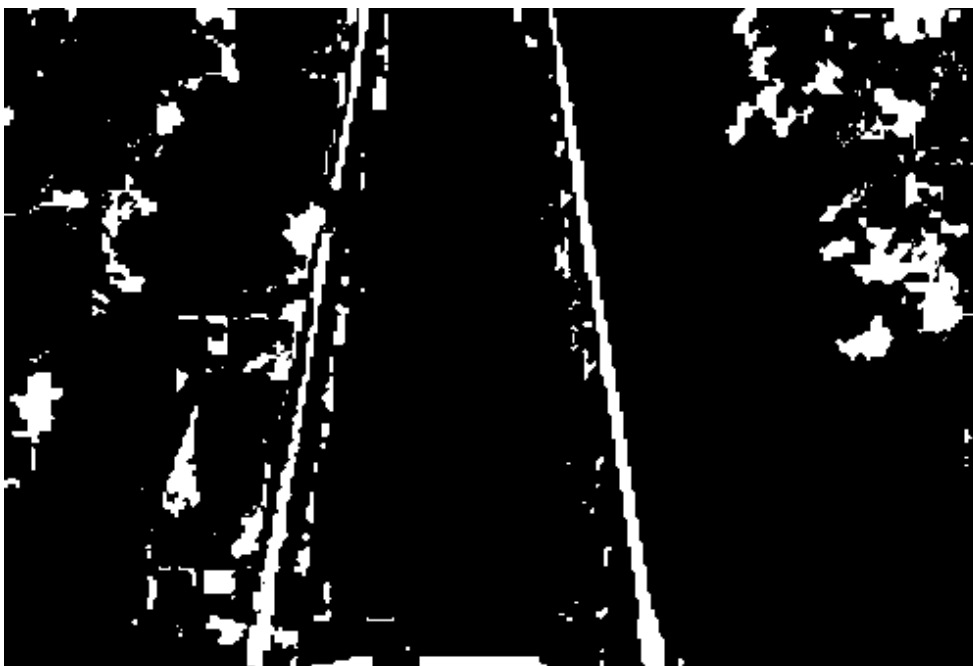
Figur 10 Segmenterat HOG-mask lager ovanpå Mean-shift segmentering

Den gröna och blå färgkanalen innehåller mest färger som representerar färgen av stål och därför tas röd kanal bort och endast grön och blå kanal behålls. Resultatet blir en gråskalig

bild enligt Figur 11. Man ser tydligt rälsen i vita och mycket ljusgrå nyanser. Även vegetationen vid sidan om järnvägsbanken är i dessa nyanser, men som redan nämnts de maskas bort av HOG-masken, se Figur 10 återigen. Ytterligare morfologiska operationer genomförs. Slutligen i detta moment konverteras gråskalebilden till binär bild genom Otsu thresholding (Otsu 1979) som automatiskt beräknar ett tröskelvärde för vilka pixlar som kommer att bli vita respektive svarta, se Figur 12.



Figur 11 Grön och blå färgkanal sammanslagna

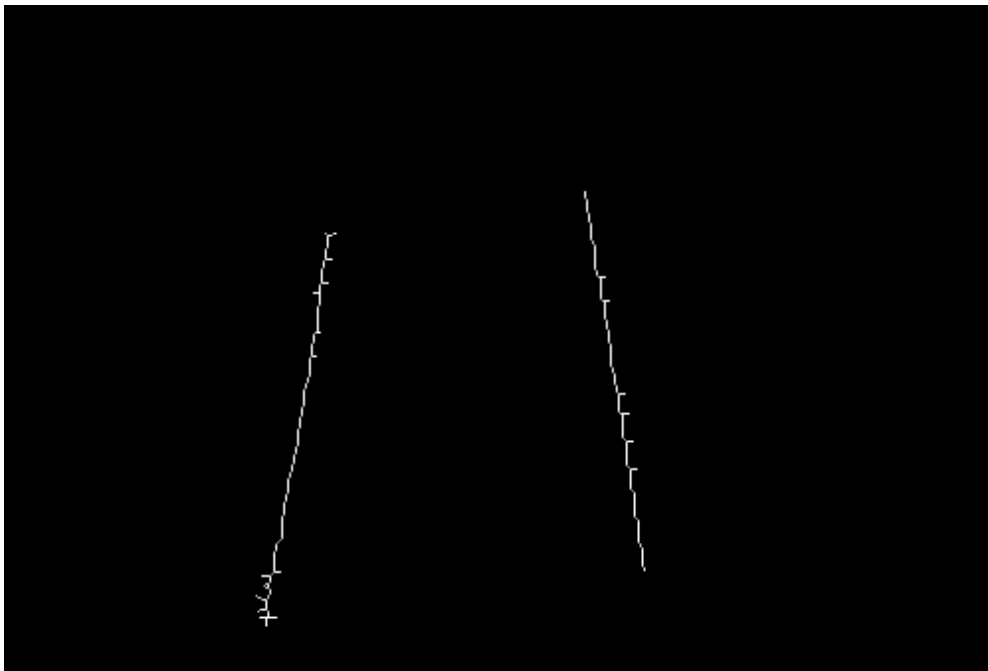


Figur 12 Binär bild efter Otsu-thresholding

Härnäst görs alla vita objekt till skelett (skeltons) genom morfologisk skeletonization. Detta innebär att alla areor kommer att representeras av linjestrukturer som beskriver arean, se Figur 13. För mer detaljerad information om skeletonization, se t ex (Gonzales 2007). För att ta bort det mesta utom rälsen används återigen används HOG-masken på skelettbilden. Nu skiljs alla friliggande linjestrukturer från varandra och de längsta segmenten inom HOG-masken beräknas fram. Endast dessa behålls och kommer att representera rälsen, se Figur 14.

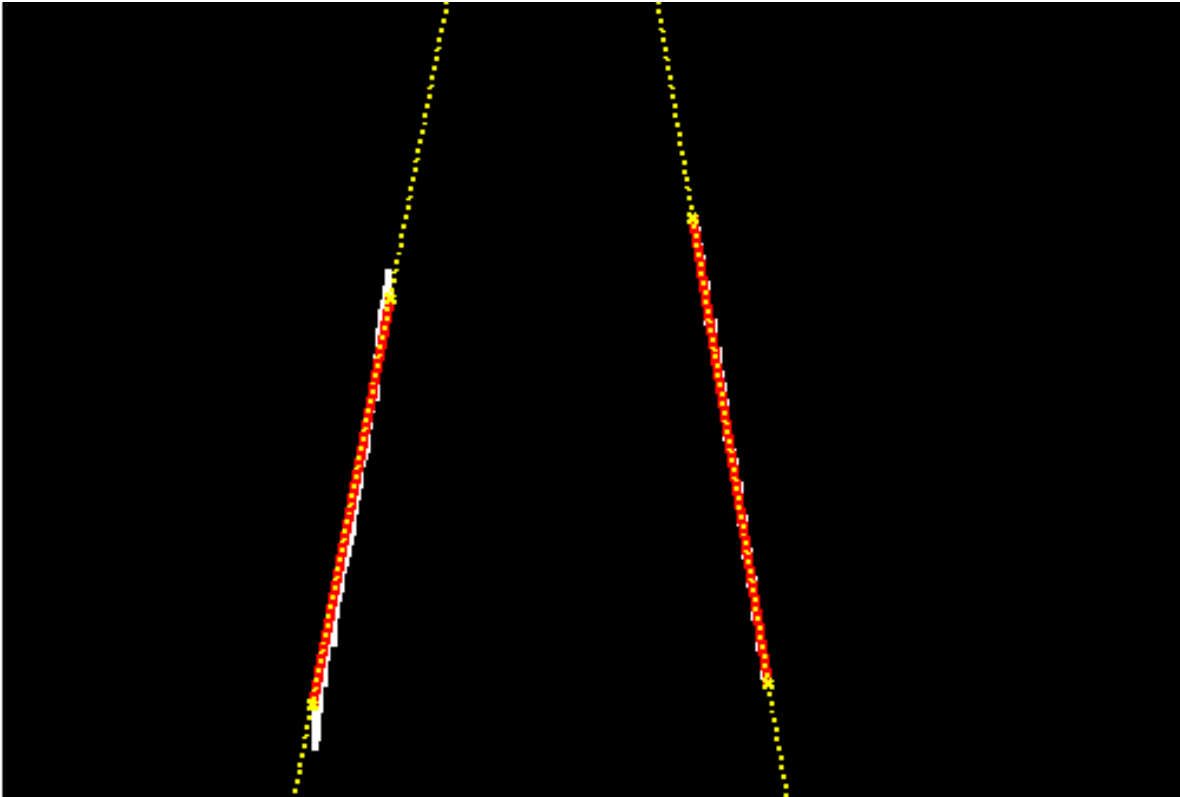


Figur 13 Skelettet av alla vita areor



Figur 14 Största skelettobjekten (rälsen) behålls

Med hjälp av dessa återstående linjestrukturer (som inte är räta linjer) start och slutkoordinater beräknas nu optimalt två räta linjesegment fram. Dessa extrapoleras sedan till bildens övre respektive nedre begränsning, se Figur 15.



Figur 15 Extrapolering av skelettobjekt

I och med detta har rälsen identifierats och man kan nu ta bort allt utom rälsen. Med hjälp av denna mask som representerar ytan av intresse (eller Region of interest, ROI), enligt Figur 16 för applicering på originalbilden enligt Figur 17.

Systemet vet nu var rälsen är. Vi vet även att avståndet mellan rärlarna, spårvidden är cirka 1,435 m. Med detta som grund kan man enkelt utöka eller minska ytan av intresse, ROI för att inspektera den yta man önskar. Exempelvis i Figur 18 så har ROI utökats till att vara slipersbredd, istället för mellan rärlarna.



Figur 16 Yta av intresse (ROI) har fastställts



Figur 17 Yta av intresse lagd som lager på originalbilden



Figur 18 Dynamiskt utökad yta av intresse kan väljas t ex till slipersbredd

På grund av de projicerade perspektivbilder som alltid blir gällande med foto med en kamera, så kommer spårvidden och alla objekt att verka vara mindre ju längre upp på bilden man kommer. För den skull genomförs en perspektivkorrigering, enligt Figur 19. Rälarna blir därmed parallella och objekt i den övre delen blir förvrängda då de dras ut och därför suddiga, men de blir approximativt skalenliga med övriga objekt. Dolda objekt i originalfotot kan givetvis aldrig framträda vid denna operation.

Mängden vegetation beräknas utifrån dessa perspektivkorrigerade bilder. Vegetationen segmenteras fram främst via färgsegmentering i HSV-färgrymden (Hue, Saturation, Value). Slutresultatet blir en binär bild enligt Figur 20. Procentuell yttäckningen beräknas som:

$$Yttäckning = \frac{\text{antalVitaPixlar}}{\text{TotalAntalBildPixlar}} * 100$$

Man kan även för manuell kontroll se maskad vegetation i perspektiv som i Figur 21 som beskriver vegetation inom slipersbredden som i Figur 18.





Figur 19 Perspektivkorrigerat original inom intresseytan



Figur 20 Binär (perspektivkorrigerad) bild av vit yttäckande vegetation





Figur 21 Funnen vegetation från den utökade ytan av intresse = slipersbredd

### Analys och resultat

Vid implementering av bildanalysalgoritmen hittas rälsen och beräknas yttäckning i 171 av 176 bilder från junisessionen, d v s i 97,2% av fallen, respektive 176 av 178 bilder från augustisessionen, d v s 98,8%.

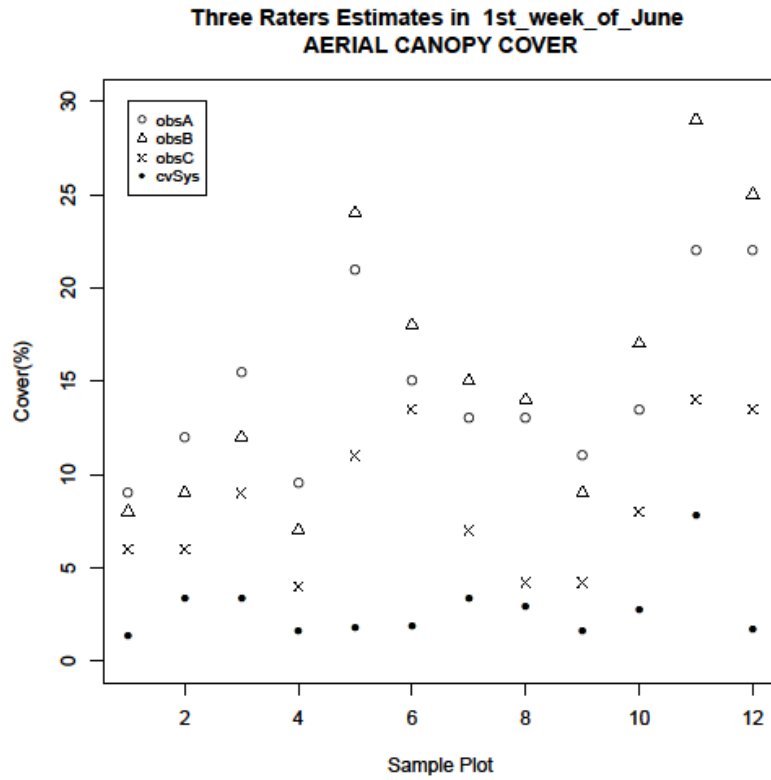
Beräknat data för yttäckningen över *hela sträckan* med dokumenterade bilder som indata redovisas i Tabell 1. Augustivärden är avsevärt lägre p g a dels en mycket torr sommar och dels vegetationsbekämpning inom ramen för denna studie.

Tabell 1 Resultat machine vision metoden. Beräkning av yttäckning längs hela sträckan

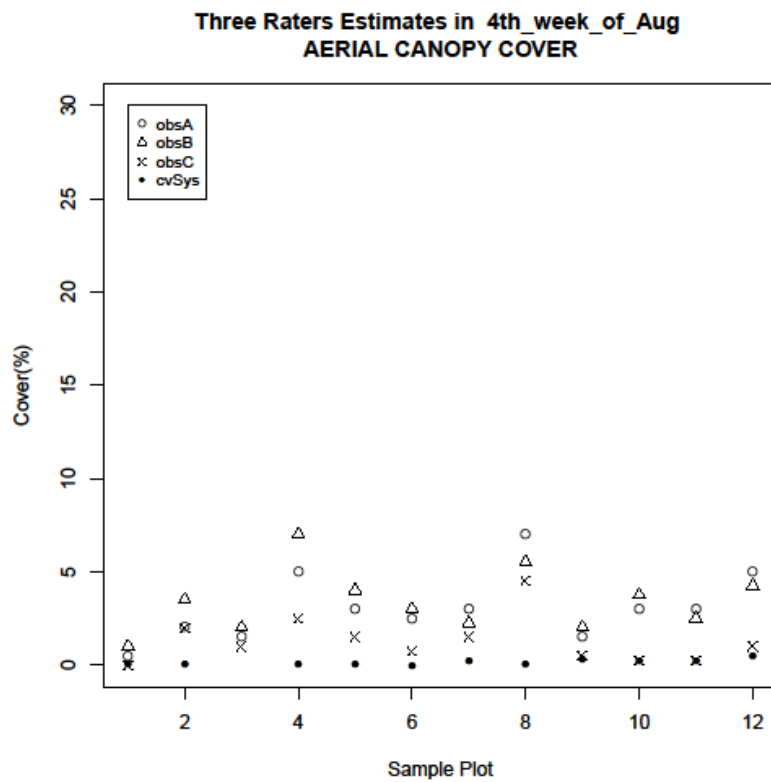
	Juni Yttäckning (%)	Augusti Yttäckning (%)
Medel	3,19	0,51
Standardavv.	1,55	0,55
Max	13,3	3,76
Min	0,63	0

### Observatörers bedömning av yttäckning

De tre observatörernas observationer kan ses nedan i Figur 22 och Figur 23. Körning av de dokumenterade bilderna för samma plottar i program som implementerat machine vision algoritmen visas med svarta prickar.



Figur 22 Observationer (yttäckning) i juni



Figur 23 Observationer (yttäckning) i augusti

De tre observatörernas medelobservationer sammanfattas i Tabell 2. Att notera vid jämförelse med Tabell 1 är att observatörerna överlag överskattar yttäckningen.

Tabell 2 Översikt över observatörers bedömningar för alla samplottar längs hela sträckan

	Juni Yttäckning (%)	Augusti Yttäckning (%)
Medel	12,89	2,6
Standardavv.	6,2	1,8
Max	29	7
Min	4	0

Två stycken envägs ANOVA genomfördes (på signifikansnivå  $\alpha=0.05$ ) för att jämföra observatörerna A, B, respektive C's bedömningar avseende *vegetationens yttäckning* i de tolv samplottarna. Det första testet avsåg juni månads fältstudie och det andra augusti månads fältstudie. Båda testerna visade sig vara signifikanta,  $p < 0.05$ . Utfallet redovisas i Tabell 3 respektive Tabell 4.

De tre observatörernas datavärden kan ses i bilaga 1, tabell canopy.frame

Tabell 3 ANOVA-tabell: Observatörers bedömning av yttäckning i juni månad

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	Pr (>F)
Bedömare	2	372,25	186,125	6,3034	0,0048 (**)
Residualer	33	974,41	29,528		

Signif. koder: 0 (\*\*\*) 0,001 (\*\*) 0,01 (\*) 0,05

ANOVA - juni: Beräknat F-värde = 6,3 med 2 frihetsgrader är **signifikant**  $p = 0,0048$  indikerar att alla observatörer inte var överens.

För att testa om observatörerna var överens, dvs håller med varandra, i sina bedömningar (Eng: agreement) så beräknades ICC(2,1) koefficienten

ICC(2,1) koefficient = 0,53.

Signifikant på nivån  $\alpha = 0,05$  med  $p = 3,9 * 10^{-7}$  med 11 frihetsgrader.

Tabell 4 ANOVA-tabell: Observatörers bedömning av yttäckning i augusti månad

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	Pr (>F)
Bedömare	2	30,295	15,15	5,97	0,006127 (**)
Residualer	33	83,74	2,538		

Signif. koder: 0 (\*\*\*) 0,001 (\*\*) 0,01 (\*) 0,05

ANOVA-augusti: Beräknat F-värde = 5,97 med 2 frihetsgrader är **signifikant**  $p = 0,006127$  indikerar att alla observatörer inte var överens.

Igen genomfördes ett test om observatörerna var överens i sina bedömningar så beräknades ICC(2,1) koefficienten

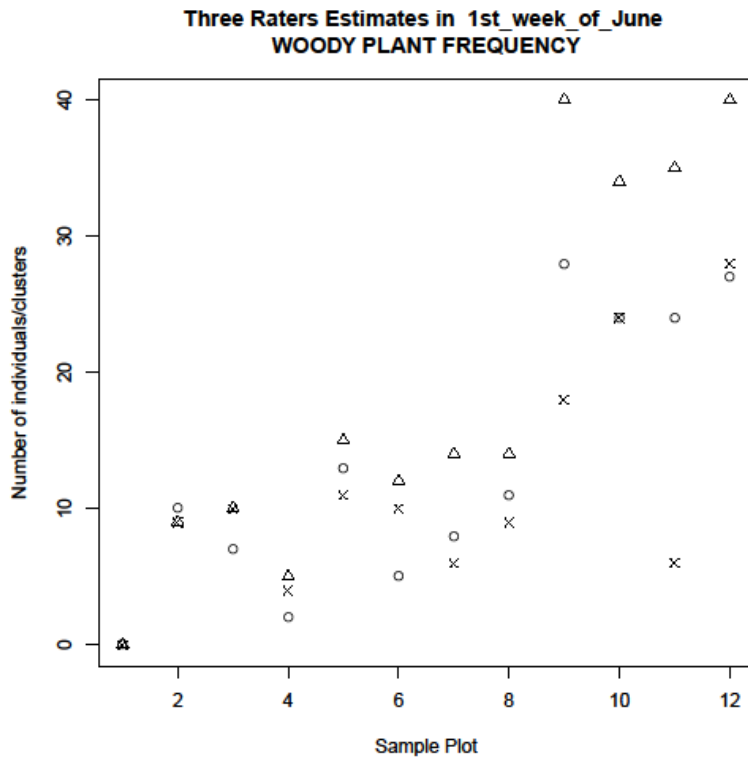
ICC(2,1) koefficient = 0,51.

Signifikant på nivån  $\alpha = 0,05$  med  $p = 3,15 * 10^{-6}$  med 11 frihetsgrader.

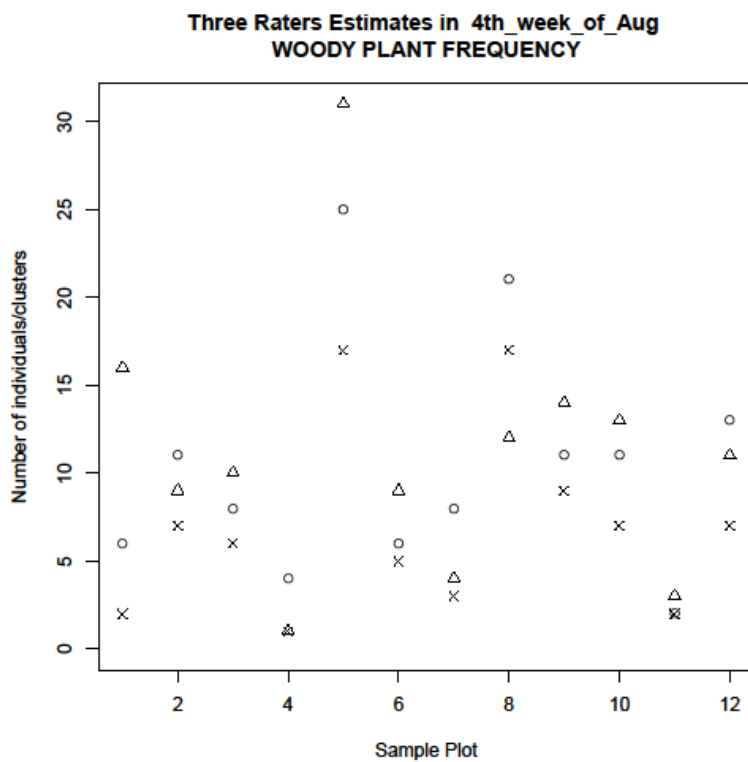
### **Observatörers frekvensbedömning av vedartade växter**

Två stycken envägs ANOVA genomfördes (på signifikansnivå  $\alpha=0.05$ ) även här för att jämföra observatörerna A, B, respektive C's bedömningar avseende *räknande av antalet vedartade växter* i de tolv samplottarna. Det första testet avsåg juni månads fältstudie och det andra augusti månads fältstudie. Båda testerna visade sig vara icke signifikanta,  $p > 0.05$ . Utfallet redovisas i Tabell 5 respektive Tabell 6.

De tre observatörernas observationer kan ses nedan i Figur 24 och Figur 25



Figur 24 Observationer (frekvens vedartade växter) i juni



Figur 25 Observationer (frekvens vedartade växter) i augusti

Tabell 5 ANOVA-tabell: Observatörers bedömning av antal vedartade växter i juni månad

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	Pr (>F)
Bedömare	2	388,5	194,25	1,5857	0,22
Residualer	33	4042,5	122,5		

Signif. koder: 0 (\*\*\*) 0,001 (\*\*) 0,01 (\*) 0,05

Beräknat F-värde = 1,5857 med 2 frihetsgrader är **icke signifikant**  $p = 0,22$ , indikerande att de var överens i sina frekvensbedömningar.

För att testa om observatörerna var överens, dvs håller med varandra, i sina frekvensbedömningar så beräknades ICC(2,1) koefficienten

ICC2 koefficient = 0,72

Signifikant på nivån  $\alpha = 0,05$  med  $p = 3,8 * 10^{-7}$  med 11 frihetsgrader.

Tabell 6 ANOVA-tabell: Observatörers bedömning av antal vedartade växter i augusti månad

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	Pr (>F)
Bedömare	2	122,17	61,08	1,3742	0,2671
Residualer	33	1466,83	44,449		

Signif. koder: 0 (\*\*\*) 0,001 (\*\*) 0,01 (\*) 0,05

Beräknat F-värde = 1,3742 med 2 frihetsgrader är **icke signifikant**  $p = 0,2671$ , indikerande igen de var överens i sina frekvensbedömningar.

Igen, för att testa om observatörerna var överens i sina frekvensbedömningar så beräknades ICC(2,1) koefficienten

ICC(2,1) koefficient = 0,71.

Signifikant på nivån  $\alpha = 0,05$  med  $p = 9,36 * 10^{-7}$  med 11 frihetsgrader.

### Jämförelse manuell bedömning och machine vision metoden

Graden av korrelation mellan alla observatörers plottvisa medel respektive machine vision metodens beräkning av yttäckning visas i Figur 26 och Figur 27. Data som ligger till grund för korrelationsberäkningarna kan beskådas i Figur 22 respektive Figur 23.

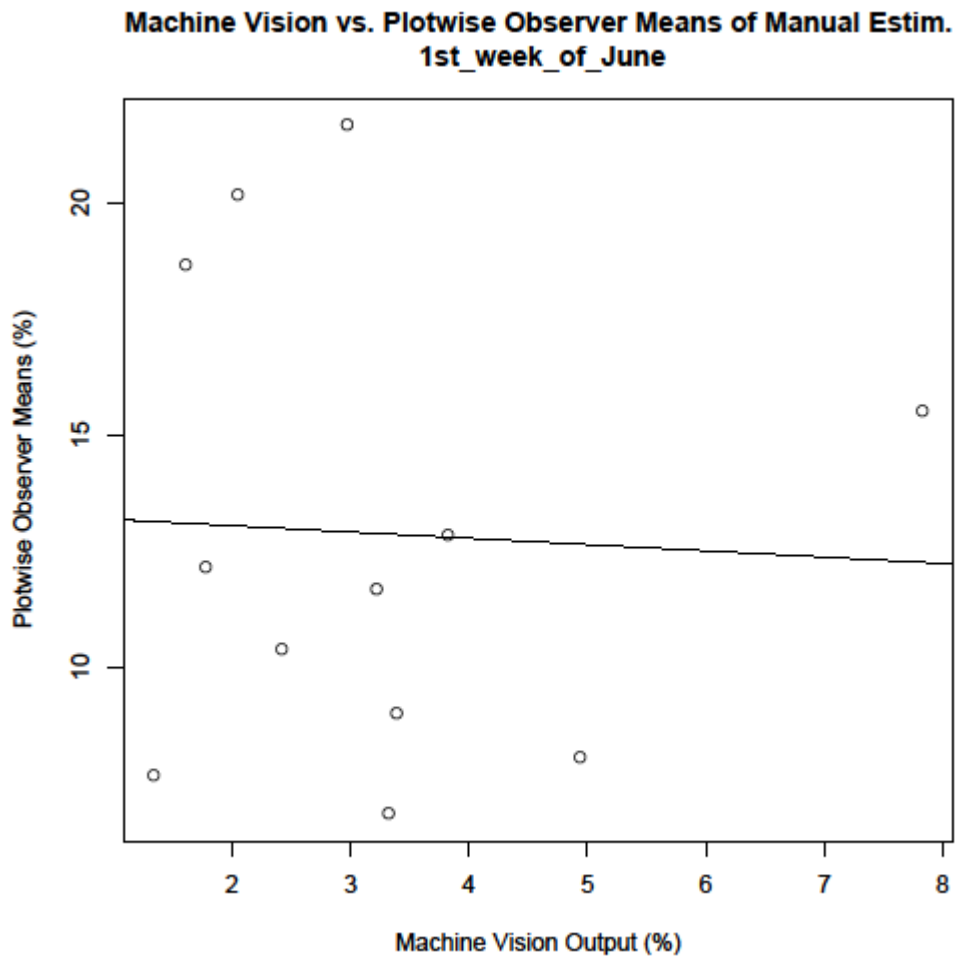
**Juni:** Antal datapunkter 12. Se Figur 26

$r = -0,04769$ ,  $df = 10$ ,  $p\text{-value} = 0.883$

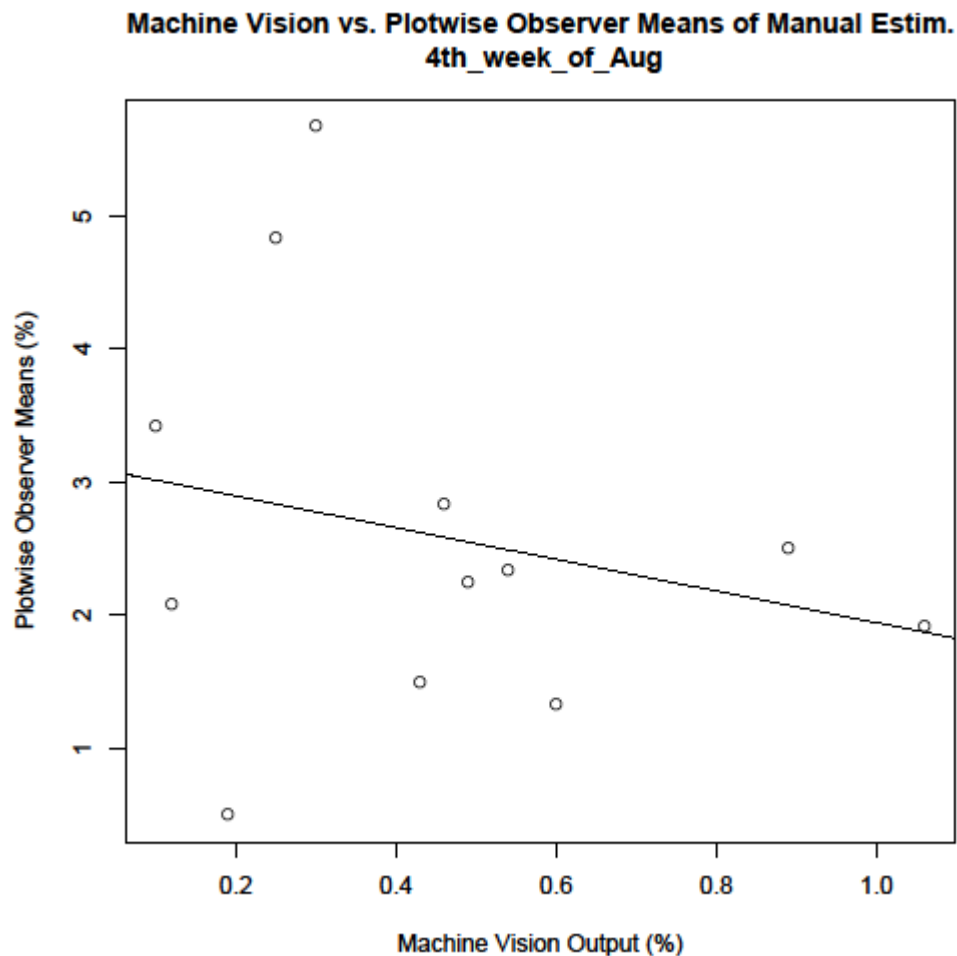
**Augusti:** Antal datapunkter: 12 Se Figur 27

$r = -0.2412784$ ,  $df = 10$ ,  $p\text{-value} = 0.45$

Båda resultaten visar på svag korrelation mellan manuell bedömning och computer vision systemet, men båda resultaten är icke-signifikanta.



Figur 26 Graden av korrelation mellan manuell och machine vision metoden (juni)



Figur 27 Graden av korrelation mellan manuell och machine vision metoden (augusti)

### Diskussion machine vision

I undersökningen avseende manuell besiktning (observatörer emellan) finner man att **bedömningen av yttäckning är signifikant olika** under båda tillfällena. Detta trots att genomgång av protokoll för hur bedömning skulle gå till omedelbart innan start. Detta resultat stärks av de relativt svaga ICC2 koefficienterna, ICC(2,1) 0,53 respektive 0,51.

När det gäller att uppskatta frekvensen (antalet) vedartade växter inom sampelytorna så var resultatet icke signifikant, d v s observatörerna var relativt överens i sin frekvensräkning. Resultat bekräftas inte lika tydligt som vid bedömning av yttäckningen ovan. ICC2 koefficienter, ICC(2,1) 0,72 respektive 0,71 är ok till bra, men inte perfekt.

Med utgångspunkt från denna undersökning och tidigare dragna slutsatser (Nyberg et al. 2013b) så bör man vara **aktsam med tolkningar från manuella bedömningar**. Samma person kan vara konsekvent i sitt bedömande, men att jämföra med andra personer kan ge missvisande resultat.

Den implementerade bildanalysalgoritmen beräknar rälernas position samt vegetationens yttäckning i 97,2% respektive 98,8% av alla inputbilder. Om man jämför observatörernas medelbedömning i respektive sampelyta (avseende yttäckning) med resultaten från



datorsystemet (computer vision system, CVSys) så ser man att i den manuella besiktningen oftast överskattar förekomsten av vegetation. I denna undersökning visar sig den manuella besiktningen inte heller ha god korrelation med det resultat som datorsystemet beräknar ( $r=0,53$  respektive  $r=0,27$ ). Dessa r-värden var dock icke signifikanta.

Som en följd av detta föreslås en automatiserad metod som ett komplement till manuella inspektioner och som över tiden helt eller delvis kan ersätta dessa.

Det finns flera **fördelar** att automatisera besiktningsspektioner av vegetation genom användning av kameran sensorer i föreslaget machine/computer vision system.

- Den detaljerade dokumentation som införskaffas via bilder gör att slutsatser om total mängd vegetation längs en given sträcka kan beräknas på ett objektivt sätt.
- Utöver denna översikt kan även enskilda förutbestämda arter identifieras och platsbestämmas. Detta innebär t ex att den numera på kemisk väg svårbekämpade vedartade vegetationen kan platsbestämmas och vid behov kan bekämpas mekaniskt genom att skicka ut underhållspersonal på plats för mekanisk röjning.
- Detaljrikedom i bilder: I princip kan allt registreras i bilder. Den biologiska mångfalden längs med järnvägsbankar kan kartläggas och bibehållas genom övervakning av viktiga arter.
- Låg kostnad för materialinköp gör att även de mindre järnvägsunderhållsföretagen kan köpa in utrustningen.
- Verifierbarhet: Detaljrikedom i bilderna gör att de alltid, vid behov, kan verifieras manuellt i efterhand
- Öppenhet och full insyn garanteras för alla parter om Trafikverket är central beställare av funktioner och lagrar information, men som givetvis delges beställare och utförare av besiktning.
- Information om aktuell vegetationsstatus kan centraliseras. Därigenom har alla samma information vilket underlättar underhållsprocessen och i upphandling av underhållsåtgärder. Alla parter (beställare, utförare av underhåll och operatörer) vinner på detta.
- Inga kommersiella intressen i tredje part försvårar utveckling av eller insyn i påtänkt system. T ex kan förslag om vidareutveckling omgående genomföras.
- Portabilitet: I detta arbete har enskilda bilder analyserats automatiskt. Att härifrån övergå till filmklipp utgör inga direkta hinder, då det fortfarande är fråga om att analysera enskilda bildrutor i filmklippet. Vanligt är från 24 bildrutor per sekund upp till flera tusen bildrutor per sekund.
- Integration med liknande system för exempelvis övervakning av vegetation vid sidan av järnvägen underlättas.

De nackdelar som finns med att automatisera besiktningsspektioner med hjälp av machine vision är:

- Systemet måste vidareutvecklas vilket tar tid. Sannolikt ett år från beslut. Bedömt kan en fungerande prototyp vara i produktion våren 2015.
- Det tillkommer tid för ytterligare vidareutveckling för att kunna lösa nya uppgifter, men det gäller alla typer av icke heltäckande system.

## Fortsatt arbete

Karakterisering av vegetationen, d v s **bestämna vegetationens spatiala mönster** och fastställa **vilken typ av vegetation** (främst t ex vedartade växter som kan behöva tas bort mekaniskt, men också för att finna hotade arter) behöver undersökas närmare. Detta för att statistiskt kunna säkerställa skattningar (av t ex antal, yttäckning, biomassa o s v) mellan stickprovets ytor. Undersökningar i hur **vegetationens spatiala mönster** maskinellt kan bedömas och hur karakterisering av **vedartad vegetation** kan ske via bl a mönsterigenkänning och maskininläring undersöks i dagsläget i ett doktorandprojekt som beräknas vara **klart under innevarande år**.

Ytterligare robusthet, när det gäller att finna vegetation, uppnås genom användning av **nära infrarött ljus NIR** (~720-1000nm). Detta undersöks just nu parallellt med det synliga ljuset från ordinär kamera och beräknas vara **klart under innevarande år**.

**Höjden på växtligheten** är ytterligare ett mätbart attribut som beskriver vegetationen. Med hjälp av ytan och höjdinformation kan sedan växtens/klustrets volym överslagsräknas. Om artens densitet kan skattas så kan även biomassan uppskattas. Metod för datainsamling samt analysmetoder undersöks, men behöver undersökas ytterligare.

Det behöver undersökas **var kameran sensorer ska vara monterade** (på t ex locket/vagnen), hur och när exponering ska ske, med vilket intervall ska kamerorna avfyras, hur vibrationer och stötar under framfärd påverkar kamerorna o s v.

Att tillföra **geografisk position** (x-,y-,z-koordinater, hastighet, tillryggalagd sträcka, lutning o s v) via GPS-enhet som kopplas till varje bild eller bildruta i filmkamera är enkelt. Robusta externa GPS-enheter finns på hyllan hos återförsäljare till en låg kostnad av 1000kr/st och uppåt. Man kan också välja att ha den inbyggd i kameran eller filmkameran. Val av detta och vilken modell behöver bestämmas i detalj.

Att kunna **presentera geografiska positioner** kopplat till inhämtat data från övervakningen i t ex Google Maps, eller Google Earth är relativt okomplicerat och tar därför någon vecka att implementera, inklusive datamodellering.

En intressant utvidgning vore **att samla in data under den mörkare delen av dygnet**. En tänkbar lösning vore att belysa järnvägsbanken med aktivt infrarött ljus, som vi människor inte ser. Fördelen med detta vore möjligheten att kontrollera ljuset, som annars alltid är ett presumtivt problem vid fotografering. All nattgående godstrafik skulle kunna utnyttjas som bärare av sådan datainsamlingsutrustning.

## Notis

Algoritmutveckling och implementering har skett i i Mathworks MATLAB. Statistiska beräkningar har gjorts i R.

## Visuell bedömning och manuell bildanalys i försök med kemisk bekämpning

### Beskrivning av försökets upplägg

Försöksplatsen som användes inom projektet användes samtidigt för att testa effekten hos ett antal ogräspreparat, se Tabell 7. Dessa tester utvärderades också med hjälp av en form av bildanalys (se beskrivning nedan) och resultaten har inkluderats här som jämförelsematerial till de båda automatiserade metoderna.

Syftet med testerna av ogräspreparat var i första hand att utvärdera preparatet Chikara i kombination med Roundup Bio för att se om en sådan blandning kan ge en bredare/mer långvarig effekt. Tidigare försök har visat lovande resultat med Chikara (se rapporter från Testprogrammet år 2008-2009). Ett annat önskemål var att testa något preparat med den aktiva beståndsdel flumioxazin men då något sådant preparat inte gick att få tag på inför utläggningen av försöket ströks detta led och istället lades några försöksled med reducerade doser av Roundup Bio in, se Tabell 8.

Tabell 7 Översikt över de testade preparaten

	Tillverkare	Reg. nr.	Aktiv(a) beståndsdel(ar)
Roundup Bio	Monsanto	3937	glyfosat(isopropylaminsalt) 486 g/L
Chikara 25 WG	ISK Biosciences	-	flazasulfuron 250 g/L

Tabell 8 Översikt över de olika behandlingarna

	Behandling	Dos (preparat)
1	Kontroll	-
2	Roundup Bio	3 L/ha
3	Roundup Bio	4 L/ha
4	Roundup Bio	5 L/ha
5	Chikara 25 WG	200 g/ha
6	Roundup Bio + Chikara 25 WG	3 L/ha + 200 g/ha

För varje behandling besprutades 5 st. 25 m långa parceller med sprutbredden 3 m. En försöksparcell lades ut på vardera sidan om banvallen (0-3 m från spärrmitt) och mellan varje

par av parceller (höger + vänster sida i banans riktning) gjordes ett uppehåll på cirka 5 m för rengöring av sprututrustningen. Parcellerna märktes ut med plåtbrickor som spikades fast i rälerna vid parcellens start och slut. Försöket var uppdelat i 5 block med 10 parceller inom vilka utplaceringen av en av varje behandling slumpades ut (se Tabell 9).

För försöksutläggningen användes Carl Westbergs parcellspruta monterad på en järnvägstralla som hyrdes in från Rosenqvist Entreprenad i Stockholm. Trallan drogs av en traktorgrävare i 4 km/h. Vattenmängden var för samtliga behandlingar 200 l/ha. Utläggningdagen var solig och ganska varm. Besprutningen skedde ungefär mellan kl. 17-19 på kvällen 2013-06-03 och det var i stort sett vindstilla.

Tabell 9 Översikt över försöksdesignen

	Parcel	Behandling	Parcel	Behandling
Block I	H1	4	V1	2
	H2	5	V2	1
	H3	6	V3	3
Block II	H4	3	V4	6
	H5	4	V5	2
	H6	1	V6	5
Block III	H7	1	V7	4
	H8	6	V8	3
	H9	2	V9	5
Block IV	H10	5	V10	6
	H11	2	V11	4
	H12	3	V12	1
Block V	H13	5	V13	3
	H14	1	V14	4
	H15	6	V15	2

### Utvärdering av ogräseffekterna

Försökparcellerna avlästes strax innan utläggningen 2013-06-03, samt 2013-06-25 och 2013-08-28, 22 respektive 86 dagar efter besprutning. Avläsning skedde på två olika sett; dels visuellt där en bedömning gjordes av effekten sedd över hela försökparcellerna och dels med hjälp av bildanalys (se beskrivningar nedan).

### Visuell avläsning

En avläsning gjordes av varje hel försökparcell där effekten (hämning av vegetationen) uppskattades som ett siffrvärde mellan 0-100 % genom att bl a jämföra med vegetationen utseende i zonerna mellan parcellerna. Värdena korrigerades för den genomsnittliga effekten som avlästes på motsvarande sätt i kontrollrutorna.

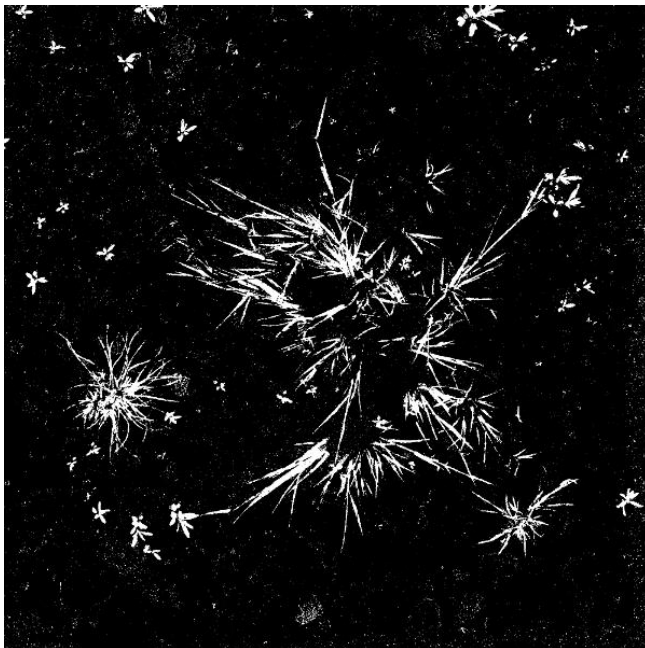
### Bildanalys

För bildanalysen fotograferades vid varje avläsningstillfälle 3 st. rutor (cirka 60 x 60 cm) inom varje parcell, d v s totalt fotograferades  $3 \times 5 = 15$  st. rutor per behandling och avläsningstillfälle. För att möjliggöra jämförelse med de övriga täckningsgradsavläsningar

som genomfördes inom projektet placerades rutorna direkt vid sliprarnas yttre kant för att hamna inom den zon som avlästes med andra tekniker. Platserna för rutorna märktes vid rälsbasen med fettkrita för att möjliggöra återkomst till samma plats vid samtliga avläsningstillfällen. Rutorna fotograferades med en kamera uppställd på stativ, i RAW-format, vid en brännvidd av 24 mm och bländare 9, med kameran inställd på bländarprioritet. Innan varje bild togs, lades en träram ut på banvallen för att markera det område som skulle avläsas, samt bredvid ramen, rutans sifferkod på ett litet skrivblock för att möjliggöra senare identifiering av bilden.

Bilderna importerades till Adobe Lightroom där den totala färgmättnaden ställdes till + 100 %, färgmättnad och luminansen för färgen grönt ställdes till 100 % färgmättnad och luminans för övriga färger ställdes till – 100 % och där nyansen för grönt ställdes till + 100 % (d v s drogs åt det turkosa hållet). Inställningarna synkroniserades mellan samtliga bilder. Därefter beskars varje bild individuellt så att endast det kvadratiska området inom ramen (60x60 cm) togs med, exporterades till JPEG-format inom RGB-rymden och döptes i processen efter sin sifferkod.

I steg 2 processades bilderna med hjälp av bildhanteringsverktyget GIMP. För varje bild ställdes ljusstyrkan för turkos till värdet 100 och ljusstyrkan för övriga kulörer till – 100. Syftet med färgomställningarna är att tydligt särskilja levande växtdelar (som blir ljusa) från döda växtdelar, stenar etc. Efter färgjusteringen appliceras funktionen tröskelvärde på bilden så att de ljusa delarna konverteras till vitt och de mörka konverteras till svart, se Figur 28.



Figur 28 Exempel på bild som användes som underlag för bildanalysen. Bilden kommer från det första avläsningstillfället och är beskuren och konverterad till svartvitt.

Användande av funktionen histogram i GIMP ger ett medelvärde för pixlarnas färg i bilden. Detta värde kan utnyttjas för att beräkna täckningsgraden då i RGB-formatet samtliga vita pixlar ges värdet 255 och samtliga svarta pixlar ger värdet 0. Beräkningen ser ut enligt följande:  $\text{färgmedelvärde}/255 * 100 = \text{täckningsgrad (\%)}$

## Visuell kontroll av bildanalysen

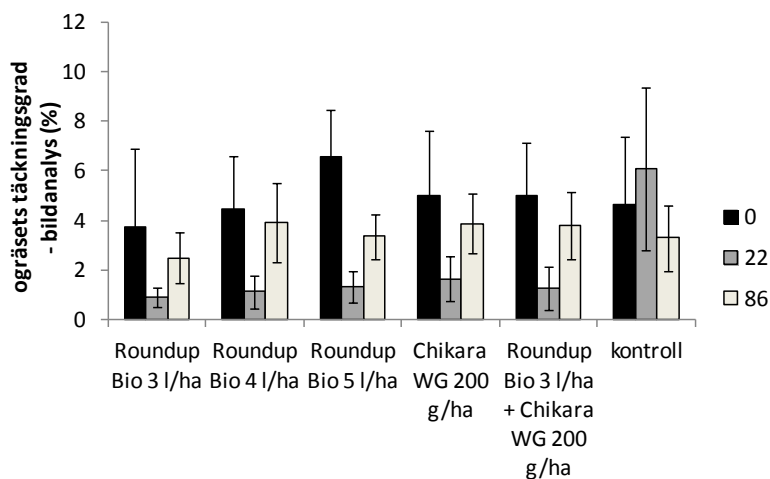
Då det upplevdes att bildanalysen, speciellt vid det sista avläsningstillfället, överskattade täckningsgraden på grund av problem med att hantera solreflexer så utfördes även (retroaktivt på skärmen) en visuell skattning av den strikta täckningsgraden utifrån samma bildmaterial. För att underlätta denna bedömning så lades ett rutnät ut över varje bild där varje enskild ruta motsvarade 1 % täckningsgrad.

## Ogräsens sammansättning och täckningsgrad

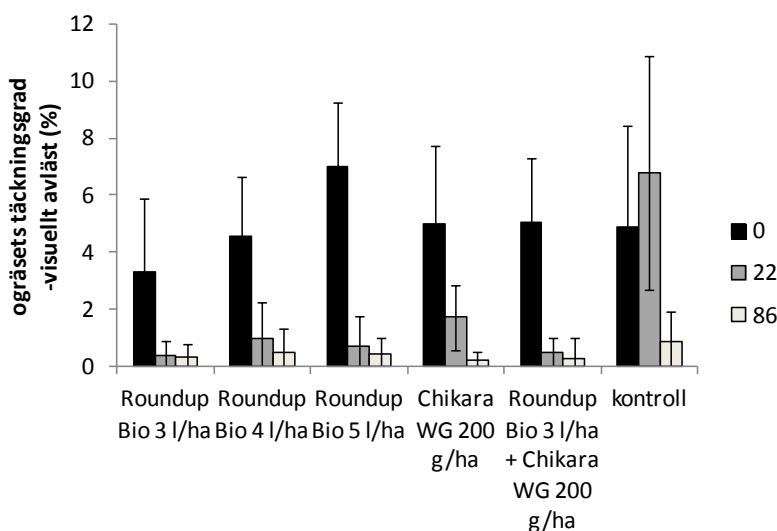
Såväl ogräsförekomst som ogrässammansättning (se artlista i metoddelen) skiljde sig signifikant åt mellan banvallens topp och dess slänt. Uppe i spåret, där testrutorna för bildanalysen lades ut var ogräsens täckningsgrad relativt låg, endast cirka 4-6 % vid försökets start och därefter ännu lägre. En så låg täckningsgrad gör det relativt svårt att bedöma och jämföra effektiviteten hos de testade preparaten och kan göra att små felkällor i bedömningen av täckningsgrad får stort genomslag. En slutsats är därför att bedömningen i högre utsträckning bör ske i banvallens slänt där ogräsförekomsten är större. Sommaren var också mycket torr vilket medförde att ogräsen hade hunnit vissna även i kontrollrutorna vid det sista avläsningstillfället. Detta försvårade också en jämförelse av preparatens ogräseffekter.

Vid avläsningen dag 22 uppvisade samtliga behandlingar god effekt och skillnaderna i täckningsgrad mellan behandlingarna var små. Samtliga behandlingar förutom kontrollen uppvisade en täckningsgrad på i genomsnitt mellan 0.9-1.7 %, se Figur 29 eller 0.4-1.7 % vid visuell uppskattning från bilder, se Figur 30).

Bildanalysen gav sken av att täckningsgraden hade ökat nästan till ursprungsnivån vid den sista avläsningen, se Figur 29. Jämförelsen mellan bildanalysen och en visuell uppskattning som utfördes utifrån samma bilder indikerade dock att detta förmodligen bara var en artefakt förorsakad av solreflexer (se vidare diskussion under avsnittet bildanalys). Den visuella uppskattningen indikerade istället att täckningsgraden hade fortsatt minska (till mellan 0.2-0.5 % i genomsnitt) och också var mycket låg i kontrollen (0.9 % i genomsnitt) vid dag 86, se Figur 30.

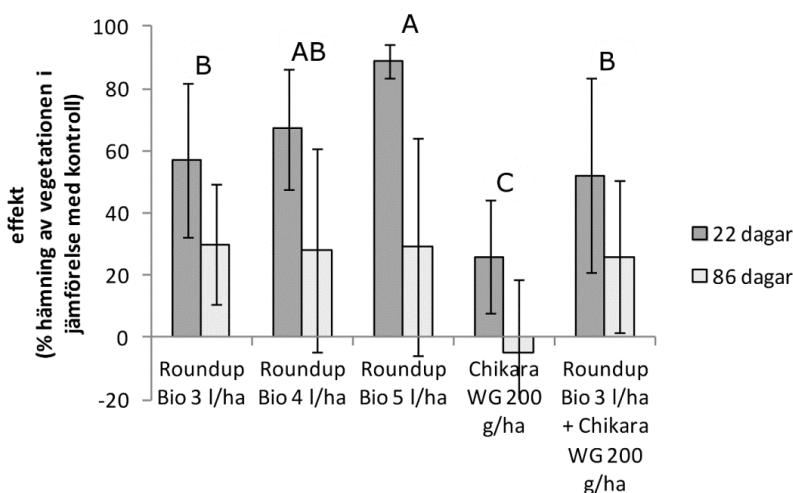


Figur 29 Avläsningsresultatet från bildanalysen uttryckt som % täckningsgrad. Försöket avlästes direkt innan besprutningen, samt 22 och 86 dagar därefter. Felstaplarna visar  $\pm$  standardavvikelsen ( $n = 15$ ).



Figur 30 Avläsningsresultatet från den visuella uppskattning av täckningsgrad utifrån samma bildmaterial som användes för bildanalysen (se Figur 29) uttryckt som %. Försöket avlästes direkt innan besprutningen, samt 22 och 84 dagar därefter. Felstaplarna visar  $\pm$  standardavvikelsen ( $n=15$ ). Resultatet är likartat för de två första avläsningstillfällena, men avviker tydligt från bildanalysen vid avläsningen dag 86.

Den visuella bedömningen som gjordes i fält av hela försöksparcellerna visade större skillnader mellan behandlingarna, se Figur 31. Trots att denna bedömning enbart baserades på 5 upprepningar skiljde sig fler behandlingar signifikant åt. Roundup Bio i dosen 5 och 4 L/ha uppvisade bäst effekt, följt av Roundup Bio i dosen 3 L/ha och kombinationen Roundup Bio 3 L/ha + Chikara WG. Sämst effekt gav besprutning med enbart Chikara WG.



Figur 31 Avläsningsresultatet från den visuella avläsningen uppskattat som % hämning av vegetationens täckningsgrad jämfört med dag 0. Resultatet har korrigerats för den uppskattade hämningen av vegetationen i kontrollrutorna. Felstaplarna visar  $\pm$  standardavvikelsen ( $n = 5$ ) och bokstäverna ovanför staplarna visar resultatet från den statistiska analysen där behandlingar som tilldelas olika bokstäver anses statistiskt skiljda åt ( $p < 0.05$ ). Observera att denna bedömning skedde visuellt, direkt i fält och utifrån hela parcellens yta (25x3 m) inklusive slänten.

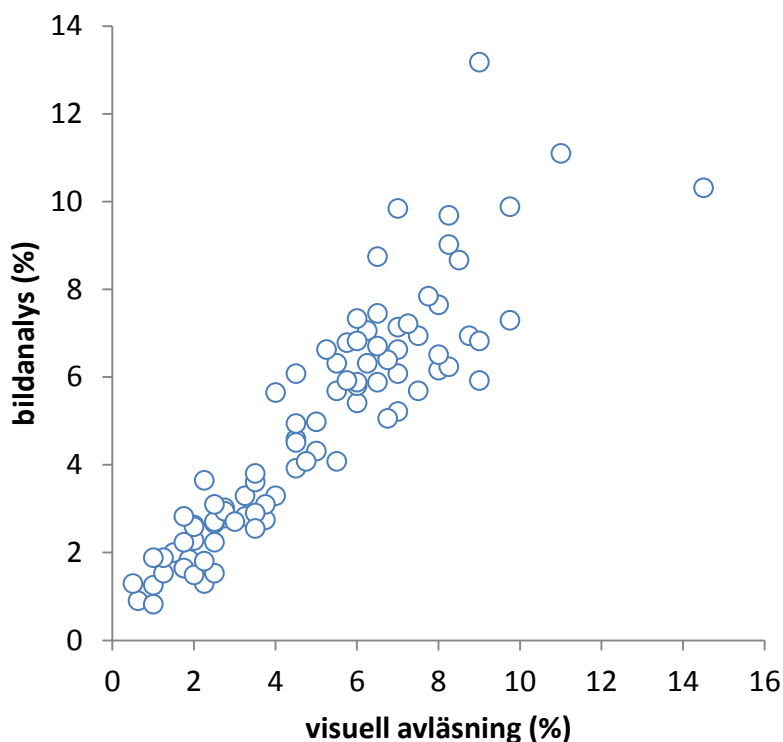
## Diskussion bildanalys

Under fältförsöket 2012, som utfördes inom testprogrammet, drogs slutsatsen att bedömning av ogräseffekterna med bildanalys gav en större säkerhet i bedömningarna jämfört med visuell avläsning i fält. Denna slutsats gäller fortfarande men med vissa förbehåll.

En förutsättning för att bildanalysen ska ge ett rättvisande resultat av ogräseffekterna är att de rutor som avfotograferas och används i bedömningen är utplacerade på ett representativt sätt i försöksparcellerna. I årets försök placerades samtliga testrutor uppe i spåret trots att huvuddelen av ogräsen växte längre ned i slänten och artsammansättningen skiljde sig åt. Det faktum att fältbedömningarna av ogräseffekten skiljde sig så pass mycket åt från bildanalysens resultat indikerar att detta inte var ett representativt urval.

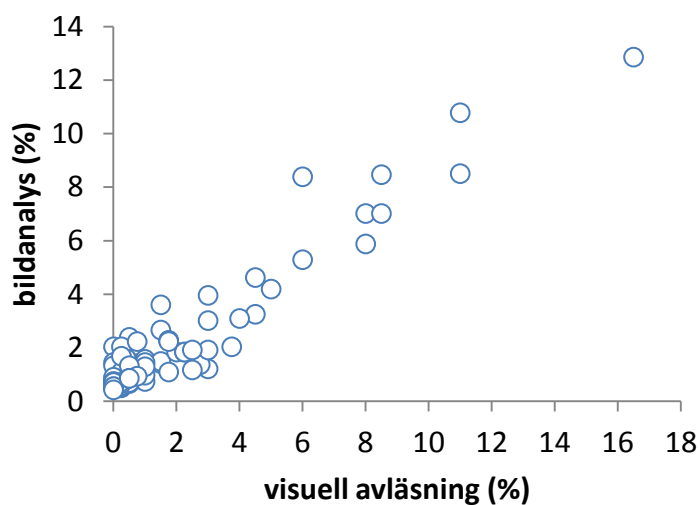
Årets analys demonstrerade också att bildanalysen som den utfördes är känslig för förhållanden med låg ogrästäckningsgrad och starkt solsken. Solreflexer i bilden kan misstolkas som ogräs vilket leder till en överskattning av täckningsgraden med några procentenheter. Då bildmaterialet som ligger till grund för skattningen finns kvar kan sådana fel kontrolleras och korrigeras i efterhand genom en visuell analys, vilket dock är tidsödande. Ett lämpligt tillvägagångssätt i framtida försök kan därför vara att förebygga problem genom skuggning, och sedan först och främst kontrollera hur väl bildanalysen överensstämmer med visuella skattningar i ett antal stickprov.

Jämförelsen mellan resultaten från bildanalysen och den visuella skattningen av täckningsgrad i samma bildmaterial visade att överensstämmelsen mellan metoderna var relativt god vid de två första avläsningstillfällena (se Figur 32 och Figur 33).



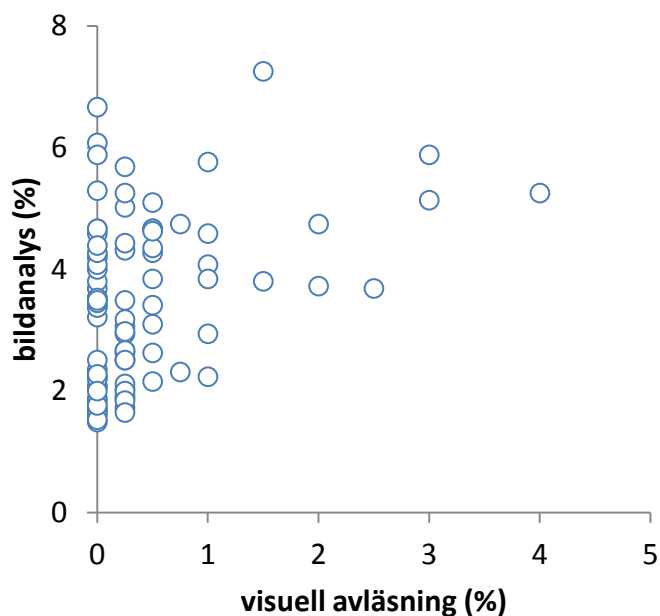
Figur 32 Jämförelsen mellan resultatet från bildanalysen och den visuella uppskattningen av täckningsgrad i samma bilder vid det första avläsningstillfället visade god överensstämmelse.





Figur 33 Jämförelse mellan resultatet från bildanalysen och den visuella uppskattningen av täckningsgrad i samma bilder vid avläsningen dag 22. Täckningsgraden har generellt minskat på grund ogräsmedlens verkan – överensstämmelsen mellan metoderna är fortsatt relativt god.

Vid avläsningstillfället dag 86 överskattades dock täckningsgraden med i genomsnitt 3.5 % jämfört med den visuella skattningen, och som Figur 34 visar var graden av överskattning inte systematisk utan varierade kraftigt mellan de olika bilderna.



## **N-sensorteknik**

### **Inledning**

N-sensorn är utvecklad av Yara AB och mäter grödans innehåll av klorofyll och mängden biomassa. Ju högre klorofyllinnehåll desto mer kväve (N) har grödan tagit upp. Utrustningen beräknar även mängden biomassa utifrån reflekterat ljus inom ett våglängdsområde våra ögon inte kan se. Vilka våglängder som används är inte offentligt, men bör omfatta PAR-området (400-700 nm, Photosynthetic Active Radiation). Utrustningen kan kompletteras med ytterligare mätton som inkluderar våglängder som bestäms av användaren.

”N-sensorn” är en teknik som används inom lantbruket för att mäta grödans växtnäringstillstånd. Den teknik som används där består av en plastlåda som monteras på traktortaket och i rät vinkel mot körriktningen, se Figur 35. I vardera kortsida är en kapslad sensor monterad som sänder ut en ljuspuls riktad mot marken. Det återkastade ljuset registreras av samma sensor och mätvärdena presenteras på en datorskärm i traktorn samt sparas i loggfiler som kan användas för att göra kartor eller styra t ex en gödnings-spridare.

De erhållna mätvärdena för biomassa presenteras som ett värde kallat S/N. Detta mätvärde är ett uträknat värde baserat på två andra mätvärden kallade S1 och S2 som i utrustningens programvara sammanvägs till samlingsvärdet S/N.

Mängden ovanjordisk biomassa uttrycks således med ett mätvärde som i teorin varierar från 0 till oändligheten. I praktiken finns det en biologisk gräns för hur mycket vegetation som kan finnas på en viss yta och därmed kommer inte S/N-värdet att kunna bli oändligt. Själva bearbetningen av registrerade mätdata sätter också begränsningar, då mätvärden under ett visst tröskelvärde sammanvägs till ett presenterat S/N-värde som generellt är lägre än uppmätt värde.

I praktiken innebär detta att en planta i spåret (Figur 36) i kan registreras av mätsensorn till ett S1-värde om 4,5 vilket dock ligger under det av utrustningen satta gränsvärdet för beräkning av S/N-värde. Förekomst av biomassan presenteras därför som värdet 0.



Figur 35 Traktor med N-sensor (blåfärgad utrustning) monterad på taket. I vardera kortsida sitter en sensor monterad som registrerar grödans klorofyllhalt.



Figur 36 Önskad vegetation i spår. Mätutrustningen identifierar biomassan såsom 4,5, men detta värde ligger under tröskelvärdet för beräkning av S/N-värdet.

## Genomförande

Den valda provsträckan utgjordes av bansträckan från Vetlanda mot Kvillfors, där proven utfördes med start vid km 35 i riktning Kvillfors.

En enkel spårbunden testrigg (Figur 37) användes i studien. På testriggen monterades två N-sensorer som antingen var för sig eller tillsammans mätte mängden biomassa (Figur 38). Mätvärdena registrerades i en mätfil och presenterades i realtid på mätatorns skärm. Strömförsörjning av 12 V skedde genom ett bärbart mobilt elverk. Ansvarig utförare kunde under färd på spåret notera mätdata för särskilt intressanta platser.



Figur 37 Testtriggen med N-sensorna monterade i takets borte del riktade nedåt mot rälerna. Drivning av testtriggen sker med en enkel fyrhjulig motorcykel anpassad för spår användning.

Försöken genomfördes vid två tillfällen, dels den 3-4 juni och dels 29-30 augusti 2013. Vid första tillfället utfördes mätning av biomassa på vegetation som inte bekämpats kemiskt. Vid andra försökstillfället utfördes mätning av biomassa på såväl bekämpade som icke bekämpade ytor.

Försöken genomfördes på så sätt att testtriggen kördes upprepade gånger på spåret varvid sensorerna mätte förekomst av biomassa. Sensorerna placerades så att de antingen mätte förekomst av vegetation över rälen, mellan rälerna eller i diket utanför banvallen.

Den 12-13 juni genomfördes försök vid JTI i Uppsala. I dessa försök studerades inverkan av plantantal (granar) på mätvärdena S1 och S/N. Vi undersökte även initialt om väteperoxid kan användas för kemisk bekämpning av gran.



Figur 38 Närbild på en av sensorerna (ljusgrå låda). I Bakgrunden syns den bärbara datorn kopplad till sensorn. Mätvärden från sensorn avläses direkt på datorskärmen och lagras samtidigt i en mätfil för senare bruk.

### **Mätvärden och verklig vegetationsförekomst**

En viktig fråga är att finna samband mellan N-sensors mätvärde och en visuell bedömning av ogräsmängden på banvallen. Anledningen till detta är att det idag inte finns några tydliga kriterier för när mängden ogräs övergår från att vara acceptabel till att vara alltför stor och kräva åtgärder. Vad som är ”för mycket ogräs” är således inte reglerat vare sig i mängd, t ex friskvikt av plantor på en specificerad yta, eller som bedömd marktäckningsgrad. Beslutet om huruvida det är för mycket ogräs på en banvall ligger därför hos entreprenören eller representanten för Trafikverket.

Olika typer av vegetation kan i sig ha samma biomassa, men vara mer eller mindre skadliga för spårfunktionen. Låga gräs, mossa, torrmarksväxter i allmänhet kan ha stor utbredning på banvallen, men ha ringa effekt på spårets tekniska kvalitet. I motsats till dessa växter kan barrväxterna gran och tall ha kraftig påverkan på spåren trots ringa ovanjordisk utbredning. Barrväxter är också svåra att bekämpa kemiskt varför dessa ofta blir kvar som enda vegetationstyp efter en ogräsbekämpning.

I undersökningen på JTI, Uppsala studerade vi därför översiktligt N-sensors känslighet för mängden biomassa (Figur 39), representerat av granplantor – ett problemogräs på banvallar.





Figur 39 Prov där N-sensorns känslighet för variationer i biomassa registreras.

I lådor om 1,2 x 0,8 meter fördelades skogsplantor av gran på sådant sätt att fyra kvadranter bildades med antingen olika planttäthet (Figur 40) eller samma planttäthet (Figur 41). Planttätheterna per yta om 0,6 x 0,4 m var: 1, 2, 3, 4, 6, 12, 24 respektive 30 plantor motsvarande cirka 4, 8, 12, 16, 48, 96 respektive 120 plantor per m<sup>2</sup>.

N-sensorn mätte därefter biomassan i de olika kvadranterna och mätvärdena registrerades.



Figur 40 Granplantor som representerar olika mängd biomassa per ytenhet, 1-4 plantor per 0,6 x 0,4 m eller 4-16 plantor per kvm.



Figur 41 Bestånd av granplantor som representerar 25 plantor per kvm.

## Resultat

Tekniken visade sig överlag fungera bra, även om vi hade problem med dragkraften till testriggen. Det var enkelt att, under gång, se mätvärdena på den bärbara datorn och loggning av mätdata fungerade också som förutsatt. Elförbrukningen av 12V elektricitet var liten och det bärbara elverket hade inga problem att kraftförsörja utrustningen.

Den valda bansträckan var alltför välskött för att utrustningen skulle ge resultat som på ett pedagogiskt sätt illustrerar metoden. Stora delar av provsträckan hade endast några få plantor av lövträd (Figur 36) eller mindre grästuvor.

Vid prov av sensorerna riktade mot diken längs banvallen, erhöles bättre data eftersom vegetationen var riklig.

## Mätdata kan presenteras i Google Earth

En ny och värdefull funktion i N-sensorsystemets mjukvara är att man efter bearbetning kan få fram en karta i Google Earth som visar erhållna mätdata presenterade i färg (Figur 42). Detta gör det möjligt för en entreprenör eller Trafikverkets personal att antingen i fält eller i normal kontorsmiljö notera behovet av vegetationsbekämpning eller effekten av en bekämpning.

De olika färgerna representerar olika nivåer av mätvärden där en mörkare färg innebär högre S/N-värden och därmed större mängd biomassa.

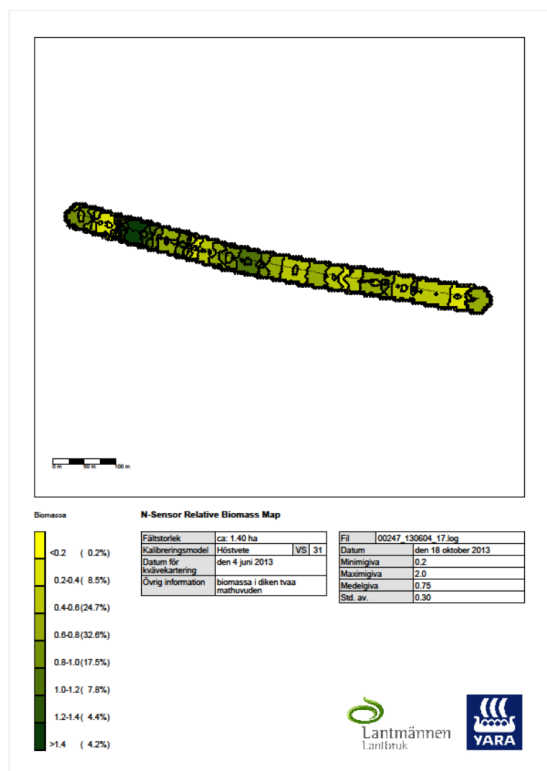




Figur 42 Exempel på erhållt resultat av N-sensorkörning vid km 35 i riktning Kvillsfors. Mörkare blå färg indikerar högre förekomst av vegetation i form av ogräs/sly.

### Vegetationsförekomst längs spåren

Förutom att få fram resultaten av mätningarna i Google Earth erhålls excelfiler och en kartbild i pdf-format (Figur 43). Exemplet i Figur 43 visar förekomst av vegetation i dikena längs mätsträckan. Den mörka gröna färgen indikerar en hög förekomst av biomassa. Genom att mätningen är registrerad med ett GPS-system kan således den exakta platsen för den mörka gröna färgen anges till en entreprenör som då kan vidta särskilda åtgärder. Dokumentet kan skrivas ut och tjäna som underlag i en åtgärdsplan eller för att dokumentera att en viss bekämpningsåtgärd är genomförd.

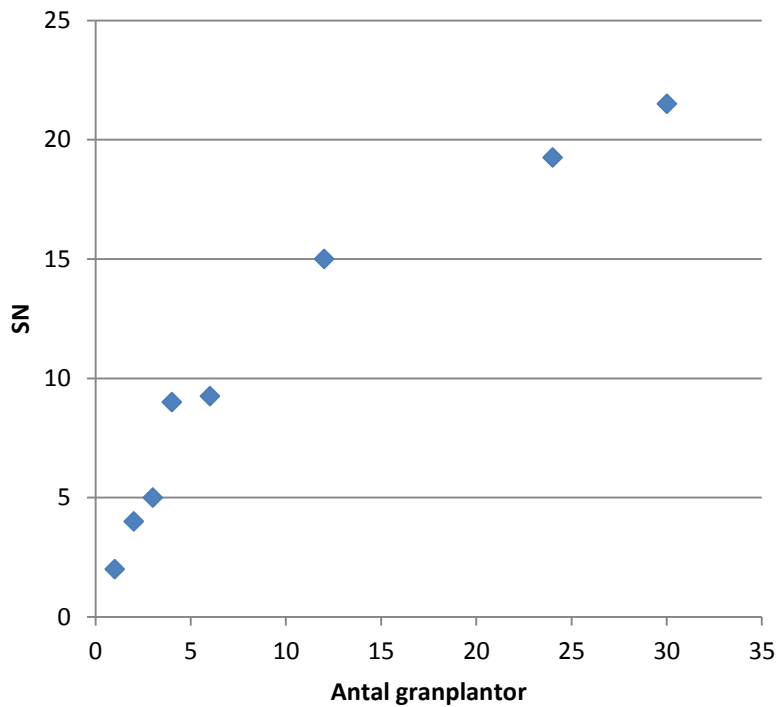


Figur 43 Exempel på erhållt resultat av N-sensorkörning vid km 35 i riktning Kvillsfors. Mörkare grön färg indikerar högre förekomst av vegetation i form av ogräs/sly.



## Sensors mätvärden behöver kopplas till vegetationsmängden

Det fanns en tydlig koppling mellan antalet granplantor (mängden biomassa) och de erhållna S/N-värdena (Figur 44), men vi noterade att ökningen av S/N-värdet avtog när biomassan blev så stor att den täckte marken. Vid lågt antal granplantor (Figur 40 och Figur 41) erhöles mätvärden upp till S/N-värden på max 10 enheter. När plantantalet överskred 24 plantor per ruta (d v s mer än 96 plantor per m<sup>2</sup>, Figur 45) nådde mätvärdena ett slags maximalt värde om 22 enheter. I en praktisk situation innebär detta att även ett lågt mätvärde kan innebära en kraftig ogräsförekomst.



Figur 44 Erhållna mätvärden (SN-värden) plottade mot antalet granplantor i mätytan (0,40 x 0,60 m).



Figur 45 Bestånd av granplantor med cirka 96 plantor per m<sup>2</sup>.

## Diskussion N-sensorteknik

Proven med N-sensorn har visat att tekniken är användarvänlig, bl a tack vare kopplingen mellan N-sensorns programvara och Google Earth, vilket gör att man inom samma arbetsdag kan få fram en karta som visar ogräsförekomsten längs den aktuella banan. En entreprenör kan således redan i fält få en uppfattning om vilka områden som kräver särskilda insatser av ogräsbekämpning.

Systemet bygger på registrering av data tillsammans med en GPS-positionering. Det finns således möjlighet att återkomma till samma plats med annan utrustning för att utföra t ex rensning med handkraft, specialmaskiner eller dylikt. Det finns därmed inget behov att samma organisation eller person utför såväl vegetationsregistreringen som själva bekämpningen.

Tekniken tillåter också att, på samma sätt som i lantbruket, koppla samman mätningen med N-sensorsystemet till en spruta som bekämpar de platser där vegetationen är för kraftig. En sådan sammankoppling kan ske med samma spårbundna fordon, t ex en mätdressin utrustad med N-sensor i fronten och en bekämpningsutrustning monterad på en efterföljande vagn.

## N-sensorns begränsningar

N-sensorn arbetar genom att skicka ut ljus där det reflekterande ljuset mäts och utgör grunden för mätvärdena. Denna ljusimpuls och efterföljande mätning sker en gång per sekund. I det fall utrustningen monteras på en mätdressin finns det givetvis ett intresse av att mätningen kan ske i så hög hastighet som möjligt. Antalet mätpulser per sekund kan ökas för att ge en mer detaljerad karta, men samtidigt finns det knappast behov att erhålla en noggrannare upplösning än 1 mätpunkt per 10 meter vilket motsvarar en körhastighet om 36 km/timme. Det vore önskvärt om utrustningen klarade körhastigheter om 60-80 km per timme, vilket bedöms möjligt att uppnå genom en förändring av N-sensorns programvara.

*Hastigheten för mätning är således en begränsning med dagens utrustning.*

N-sensornas teknik är placerad i kapslade metallådor om cirka 25 x 40 x 10 cm. Dessa lådor bör inte utsättas för regn eller yttre påverkan i form av slag eller stötar. Vid montering på en mätdressin eller annat fordon måste man vara noggrann med att placera metallådorna så att de inte utsätts för dessa påfrestningar. Det är därför lämpligt att ett yttre skal byggs runt tekniken, gärna med ett dämpande material inuti för att minska vibrationer.

*Teknikens känslighet för regn, slag och annan yttre påverkan bör beaktas vid montering på en mätdressin eller annat fordon.*

N-sensorns beräkning av S/N-värdet är baserat på en okänd matematisk formel med tröskelvärden för biomassan. Det innebär att systemet registrerar data som dock inte presenteras för användaren. För att öka utrustningens känslighet och ge användaren möjlighet att kategorisera ogräsförekomst på flera olika nivåer, bör de matematiska beräkningarna anpassas till järnvägsförhållanden. Vid kontakt med Lantmännen (svensk teknisk support för N-sensorn) samt Yara AB, förefaller detta vara genomförbart med ganska små arbetsinsatser.

*N-sensorn behöver kalibreras för låga nivåer av ogräs för att ge användaren bättre möjlighet att nivågruppera ogräsförekomsten.*

## Ekonomiska aspekter

Kostnaderna för *användande* av N-sensortekniken bedöms vara låga. Tekniken strömförsörjs av 12 V, t ex från batterier, enkla mobila elverk eller via annan befintlig strömkälla. Till N-sensor kopplas en standarddator, gärna bärbar för fältbruk, vari de olika programmen för styrning och bearbetning av mätdata är installerade. Arbetstiden för bearbetning av mätdata bedöms vara låg, 10-15 minuter per körning och en körning kan i princip vara en hel bansträcka (flera tiotals kilometer).

Kostnaden för *själva utrustningen* beror dels på antalet sensorer och dels på hur dessa skall integreras i befintliga system. En komplett utrustning avsedd för lantbruksändamål och innehållande två sensorer kostar cirka 240 000 SEK. Vi bedömer att investeringskostnaden för två sensorer monterade på en mätdressin inklusive lämplig kapsling, kabeldragning, programvara och mätdator uppgår till cirka 300 000 SEK exklusive moms. Därtill kommer arbetstid för montering och intrimning.

En viktig fråga är vad Trafikverket, dess entreprenörer och järnvägssektorn i stort vinner på att använda N-sensortekniken. Vi har identifierat bl a följande positiva effekter:

- Möjlighet att kartlägga vegetationsförekomst i spår i syfte att planera åtgärder för underhåll.
- Möjlighet att kontrollera att upphandlad ogräsbekämpning har genomförts.
- Möjlighet att bekämpa vegetation i spår med plats specifika åtgärder genom att koppla N-sensorn till bekämpningsmedelssprutan.

Genom att använda N-sensortekniken kan man kombinera mätning av andra spårtekniska parametrar med vegetationsbedömningen och därmed dels få en helhetsbild av spårets kvalitet eller funktion, och dels minska insatsen av manuell vegetationsbesiktning.

Det är inte klarlagt hur mycket arbetstid som idag används till vegetationsbesiktning eller heller kostnaderna får sådan aktivitet. Normal marschtakt vid promenad är 3-4 km per timme. Arbetstidskostnaden kan uppgå till 1000 SEK per timme, vilket gör att en km kostar cirka 250 kronor att besiktiga manuellt. Därtill kommer arbetstid för sammanställning, rapportskrivning, informationsöverlämnande m fl moment som gör att den slutliga kostnaden mycket väl kan uppgå till 500-1000 SEK per spårkilometer. En investering i N-sensortekniken kan således vara lönsam redan vid besiktning av 300-600 km spår.

## Slutdiskussion

Vi har i projektet studerat tre olika metoder för automatiserad eller faciliterad bedömning av ogräsförekomst på banvallar baserade på olika former av bildanalys . Två metoder kan vara aktuella för Trafikverket att använda sig av i praktisk drift i framtiden: 1) Machine vision metoden utnyttjar kamerasensorer för att känna av sin omgivning i det synliga respektive nära infraröda spektrumet. I denna studie mättes vegetationens totala yttäckning som grundar sig på det i bilder registrerade passiva (sol-)ljus som reflekteras i plantornas klorofyll. Genom att även detektera rälsens position i bilderna så blir systemet medvetet om dess egen relativa position ovan banvallen. 2) N-sensorn sänder ut ljus inom det område som reflekteras av växternas klorofyll. Mängden klorofyll ger ett mätvärde som kan korreleras till biomassan och därmed ge ett mått på hur mycket vegetation som finns på den studerade ytan. Genom att jämföra de mätvärden man får på en viss bansträcka med referensvärden från ytor vars ogräsförekomst är både visuellt bedömd och analyserad med N-sensor, går det att skapa kartor som visar vegetationsförekomst på den aktuella bansträckan. Dessa båda metoder jämfördes

också med resultaten från den bildanalys som genomfördes för att utvärdera resultaten av de tester av ogräsbekämpningsmedel som genomfördes på försökssträckan.

Två av teknikerna jämfördes med manuella (visuella skattningar) av ogräsförekomsten. I undersökningen fann vi att den visuella skattningen av yttäckningsgrad av ogräs i fält skiljde sig statistiskt mellan olika bedömare och att de visuella skattningarna inte heller överensstämde särskilt väl med resultaten som erhöles med machine vision. När det gäller att uppskatta frekvensen (antalet) vedartade växter (träd och buskar) inom provytorna så var observatörerna relativt överens i sin frekvensräkning.

Detta resultat illustrerar hur svårt det är att utföra fältbedömningar av ogräsförekomst och hur svårt det är att jämföra värden som inrapporterats från olika bedömare. Med utgångspunkt från vår undersökning och tidigare dragna slutsatser (t ex Nyberg et al. 2013b) så bör man vara aktsam med tolkningar från manuella bedömningar. Samma person är ofta konsekvent i sitt bedömande, men att jämföra med andra personers bedömning av hur mycket ogräs som täcker en yta kan ge missvisande resultat.

I kontrast till detta resultat visade bildanalysen som genomfördes i smårutor en relativt god överensstämmelse med visuella skattningar i två av tre fall (se Figur 32 och Figur 33). En förklaring till skillnaderna kan vara att dessa visuella bedömningar genomfördes i lugn och ro framför en datorskärm och på en begränsad yta (60x60 cm) med stödraster som extrahjälp. Fältbedömningarna utfördes på en betydligt större yta (cirka 4,5x2,3 m, d v s. 35 gånger större) och utan stödjande rutnät under en begränsad tid. En genomgång av hur bedömningen skulle gå till gjordes omedelbart före start men ingen systematisk kalibrering mellan bedömarna genomfördes. Problemen med manuell bedömning av ogräsen kan undvikas om man kompletterar med automatiserade system som, på sikt, helt eller delvis kan ersätta de manuella metoderna.

Utöver fördelarna med ett system som standardiserar själva bedömningen av ogräsförekomsten, finns det fördelar i användningen av tekniken; öppenhet och full insyn garanteras för alla parter, d v s beställare och utförare av besiktning har tillgång till samma bakgrundsdata från den aktuella bansträckan. Tekniken ger möjlighet att centralisera information om aktuell vegetationsstatus. Därigenom har alla samma information vilket underlättar underhållsprocessen och i upphandling av underhållsåtgärder. På sikt kan denna information läggas i databaser som är direkt åtkomliga för berörda organisationer och t o m online i fält under eller i samband med en bekämpningsåtgärd.

Den detaljerade dokumentation som införskaffas via bilder gör att slutsatser om total mängd vegetation längs en given sträcka kan beräknas på ett objektvt sätt. Utöver denna översikt kan även enskilda förutbestämda arter identifieras och platsbestämmas. Detta innebär t ex att vedartade vegetationen kan platsbestämmas och vid behov kan bekämpas mekaniskt. Ytterligare attribut för att ännu bättre beskriva vegetationen kan läggas till efterhand vid behov.

En nackdel med de system vi undersökt är att beräkningsalgoritmen måste vidareutvecklas vilket gissningsvis tar cirka ett år från dags datum.

Såväl machine vision metoden som N-sensortekniken bygger på registrering av data tillsammans med en GPS-positionering. Det finns således möjlighet återkomma till samma plats med annan utrustning för att utföra t ex rensning med handkraft, specialmaskiner eller

dylikt. Det finns därmed inget behov att samma organisation eller person utför såväl vegetationsregistreringen som själva bekämpningen.

Proven med N-sensorn har visat att tekniken är användarvänlig, bl a tack vare kopplingen mellan N-sensors programvara och Google Earth, vilket gör att man inom samma arbetsdag kan få fram en karta som visar ogräsförekomsten längs den aktuella banan. En entreprenör kan således redan i fält få en uppfattning om vilka områden som kräver särskilda insatser av ogräsbekämpning.

### ***Jämförelse mellan de olika teknikernas resultat***

N-sensortekniken användes på de ytor längs teststräckan i Småland som senare behandlades med herbicider. Längs merparten av bansträckan var ogräsnivån låg före behandling och lika låg eller lägre efter herbicidbehandlingen. Den torra sommaren 2013 påverkade även den mängd och frekvens av ogräs på bansträckan. Sammantaget resulterade detta i att ogräsmängden både före och efter kemisk bekämpning låg under det tröskelvärde som krävdes för att biomassan skulle registreras för användaren. Det är således svårt att jämföra de mätvärden som N-sensor metoden gav med de övriga metoderna.

### ***Teknikval för bedömning av ogräs på banvallar en fråga om behov***

De olika tekniska lösningarna har några funktioner gemensamt, de kan båda användas för att registrera förekomst av ogräs eller annan vegetation på spår eller längs med spåren, men därefter skiljer sig metoderna åt vad gäller funktion och användbarhet. Med hjälp av machine vision kan man få information om såväl täckningsgrad av ogräs som kvalitativ information om vilka (örtartade eller vedartade) ogräs som finns på banvallen. Tekniken ger således information som kan styra valet av underhållsåtgärd. Systemet ger stora mängder indata i form av bilder, flera gigabyte (GB) per km spår, vilket gör att bearbetningen av data kan bli omfattande. Lagringen av data kräver också stor kapacitet.

N-sensormetoden ger information om mängden biomassa, d v s hur mycket ogräs eller annan vegetation som finns på banvallen, men systemet ger ingen information om hur stor yta denna vegetation täcker eller vilka arter som utgör biomassan.

Båda tekniska system kan genom GPS-positionering ge användaren information om var längs linjen den önskade vegetationen finns.

Vad gäller användarvänlighet är N-sensorsystemet enklare; tekniken bygger på komponenter och teknik som redan idag används inom lantbruket och därmed är steget till annan användning liten. Tekniken är också mer robust och okänslig för väder, vibrationer och smuts. Den medföljande mjukvaran ger kartbilder som ger information om mängden ogräs och positionen för ogräset. Mjukvaran kan kopplas samman med teknik för kemisk bekämpning som kan göras antingen i samband med avläsningen eller vid ett senare tillfälle.

Båda tekniska systemen har förmågor som gör de användbara för järnvägens vegetationsproblem. En avgörande fråga blir syftet med ogräsregistreringen. Om syftet är att översiktligt kartlägga vegetationsförekomst i spår för att planera åtgärder för underhåll är N-sensortekniken lämplig. Om man över ytan och tiden vill övervaka och kartlägga aktuell och precis vegetationsstatus för att kunna bekämpa utvald vegetation med vissa preparat eller mekaniskt är machine vision metoden bättre än N-sensormetoden. Beroende på vilken nivå i

underhållsorganisationen som konsumerar informationen kan precisionen ökas eller reduceras till ett för den lämpligt format

### ***Tidsaspekter på införande av tekniken***

Machine vision metoden som vi studerat kräver ytterligare insatser både vad gäller de matematiska beräkningarna och själva utrustningen, för att bli operativ. Vi bedömer att detta arbete kan vara klart under våren 2015.

N-sensortekniken är i princip operativ idag, men även här behöver viss mjukvara anpassas och kalibreras efter järnvägens flora, vilket gissningsvis tar 2-3 månader.

### ***Ekonomiska aspekter***

Det är inte klarlagt hur mycket arbetstid som idag används till vegetationsbesiktning eller heller kostnaderna för sådan aktivitet. Normal marschtakt vid promenad är 3-4 km per timme. Arbetstidskostnaden kan uppgå till 1000 SEK per timme, vilket gör att en km kostar cirka 250 kronor att besiktiga manuellt. Därtill kommer arbetstid för sammanställning, rapportskrivning, informationsöverlämnande m fl moment som gör att den slutliga kostnaden mycket väl kan uppgå till 500-1000 SEK per spårkilometer.

Kostnaderna för installation och användande av ett machine vision system är svåra att uppskatta i dagsläget, men involverar sannolikt en till två höghastighetskameror där man bör räkna med priser på minst 20 000 SEK per kamera. Dessa behövs för att kunna ta bilder/filma rakt ned i banvallen i höga hastigheter, 50 - 100km/h ~ 14 - 28 meter/sekund, och samtidigt få god skärpa i bilden/bildrutan. Med god skärpa finns möjligheter att detektera i princip allt i bilden/bildrutan. Utöver kameror som blir den dyraste komponenten tillkommer utvecklingskostnad för programvaran, samt kostnader för elektriska komponenter och inbäddad dator för anslutning av systemet. Små datorer som kan bäddas in i system som dessa finns för numera för mindre än tusen kronor inkl. tillbehör, t ex av märket Raspberry Pi.

Kostnaderna för *användande* av N-sensortekniken bedöms vara låga. Tekniken strömförsörjs av 12 V, t ex från batterier, enkla mobila elverk eller via annan befintlig strömkälla. Till N-sensor kopplas en standarddator, gärna bärbar för fältbruk, vari de olika programmen för styrning och bearbetning av mätdata är installerade. Arbetstiden för bearbetning av mätdata bedöms vara låg, 10-15 minuter per körning och en körning kan i princip vara en hel bansträcka (flera tiotals kilometer).

Kostnaden för själva *utrustningen* beror dels på antalet sensorer och dels på hur dessa skall integreras i befintliga system. En komplett utrustning avsedd för lantbruksändamål och innehållande två sensorer kostar cirka 240 000 SEK. Vi bedömer att investeringskostnaden för två sensorer monterade på en mätdressin inklusive lämplig kapsling, kabeldragning, programvara och mätdator uppgår till cirka 300 000 SEK exklusive moms. Därtill kommer arbetstid för montering och intrimning.

### ***Förslag på vidareutveckling av metoder och teknik***

Vad gäller machine vision metoden behöver studier över kameratekniken genomföras. Frågor om lämplig placering, exponeringstider och känslighet för vibrationer och väder behöver undersökas. Utbudet av lämpliga vibrationståliga höghastighetskameror är delvis en fråga om kostnader och man bör räkna med priser på minst 20 000 SEK per kamera.

Det finns möjlighet att genomföra datainsamlingen nattetid genom att belysa banvallen med ett kontant aktivt infrarött ljus. Fördelen är att möjligheten att kontrollera ljuset, som annars alltid är ett presumtivt problem vid fotografering dagtid. Nattgående trafik skulle kunna utnyttjas för datainsamlingen och därmed kan trafiken i övrigt störas minimalt.

För N-sensortekniken behöver mjukvaran kalibreras bättre mot den ogräsflora och mängd som generellt förekommer på banvallar. Detta arbete kräver att insatser av det företag som utvecklat mjukvaran och som idag står bakom alla de sensorer som säljs i Sverige.

För att lyckas i den praktiska tillämpningen av metoder och teknik för att mäta och analysera ogräsförekomst ställs det stora krav på att denna del av ett system för hantering av vegetation kan integreras i de delar av Trafikverket som arbetar med planering, utförande och utvärdering av underhåll. Organisatoriska gränser och geografiska avstånd mellan resurspersoner ställer stora krav i implementeringen, med en väl fungerande kommunikation som en viktig del. Tydliga instruktioner är en annan avgörande faktor där t ex dagens instruktioner för säkerhetsbesiktning är otydliga avseende vegetation.

I ett framtida system som kontinuerligt samlar information om vegetationstillståndet skapas förutsättning för ett "lärande system" som bl a möjliggör en allt högre precision i att göra prognoser för vegetationsutveckling. Genom denna erfarenhetsinsamling kommer man också kunna utvärdera bekämpningsinsatser som grund för kunskapsutveckling om effekter av utförda bekämpningsinsatser med möjligheter till ökad precision i prognoser av bekämpningsresultat som en konsekvens. Styrsystemet kan också kalibreras genom att erfarenhetsdata används för att revidera fastställda bekämpningströsklar vilka ligger till grund för aktivering av bekämpningsinsats i olika situationer. Sammantaget skapar en utveckling i denna riktning förutsättningar för ett beslutsunderlag för bedömning av ogräsbekämpningsbehov med betydligt högre precision än i dagsläget. I förlängningen innebär det ökade möjligheter att förebygga driftsstörningar orsakade av vegetation samtidigt som verksamheten t ex kan anpassas till det nya direktivet för hållbar användning av bekämpningsmedel.

Kunskapen om hur vegetationen utvecklas på banan under olika förutsättningar är begränsad. Genom att anlägga ett antal kontrollplatser och följa vegetationens utveckling med ett mätprogram kan kunskapen om vegetationens utveckling successivt öka. Teoretiska modeller för vegetationsutveckling kan tillsammans med dessa data öka precisionen i prognoser för vegetationsutveckling som kan användas i planering av underhållsinsatser.

## **Slutsatser med rekommendationer**

Projektet har studerat metoder för vegetationsinventering och kommersiellt tillgänglig teknik som kan användas för sådan inventering.

Projektet har visat på de tekniska möjligheter som finns för en mer automatiserad och enhetlig inventering av oönskad vegetation på banvall och i diken längs med banvallen. Vi ser det som möjligt att i praktisk drift kvantifiera och inventera ogräsförekomst på banvallar snabbare och med mycket högre precision än idag.

De studerade tekniska systemen kan med låga kostnader positionsbestämma ogräsförekomsten med GPS. Det är önskvärt att sådan noggrann bestämning sker eftersom det

ger möjlighet för en entreprenör, eller Trafikverkets egen personal, att veta exakt vilka ytor som skall behandlas mot oönskad vegetation.

Tekniken med machine vision metoden behöver utvecklas ytterligare för att kunna användas i praktisk drift. N-sensortekniken kan inte på samma sätt som machine vision metoden mäta frekvens (antal), spatialt bestämma vegetationsmönster eller karakterisera/identifiera arter, men är i dagsläget användbar för bestämning av förekomst och mängd av ogräs på banvallar. En viktig fråga att klargöra är vilka spårgående fordon som kan eller bör utrustas med den valda tekniken. En fördel med befintliga mätdressiner eller andra fordon för besiktning av spårsläge, är att bildanalystekniken/N-sensortekniken kan integreras direkt i de befintliga systemen för lagring av olika tekniska data. Man kan således få en samlad bild av banans funktion och kvalitet.

Oavsett val av insamlingsfordon måste insamlade data på ett kontrollerat sätt läggas in i databaser och vara åtkomliga för berörd personal. Ansvar för inläggning, sammanställning och åtkomst av data bör ligga på Trafikverket. Vidare behöver systemet som helhet, för användning av informationen om ogräsförekomst, utvecklas. Tröskelvärden för hur mycket ogräs som kan tolereras på olika typer av spår/driftsplatser är en viktig komponent i ett sådant system. Dessa tröskelvärden kan ligga till grund för beslut om när och vilken typ av bekämpningsåtgärd som behöver sättas in. Denna typ av klassificeringssystem ska kunna hantera de krav som ställs för att säkerställa banans kvalitet och olika förutsättningar som trafikförhållanden, platsgivna förutsättningar för banan och vegetationens egenskaper.

## **Rekommendationer**

Vi rekommenderar Trafikverket att:

- diskutera hur tröskelvärden för vegetationsförekomst på spår kan fastställas
- genomföra registrering av vegetationsförekomst över längre och fler sträckor med en eller flera av de metoder som studerats i projektet
- inleda införande av system som effektivt kopplar informationen om vegetation till position
- inkludera förekomst av vegetation i den registrering som idag sker av spårens (banans) tekniska kvalitet och ansluta datamaterialet till övriga underhållsrelaterade databaser
- inrätta ett antal representativa ytor där ogräsfloran på spåren regelbundet inventeras och mäts för att få en bild av den långsiktiga utveckling som grund för säkrare prognoser för vegetationsutveckling
- säkerställa att nödvändiga utbildningsinsatser genomförs

## **Referenser**

Banverket (2005), BVF 807.2 - Sakerhetsbesiktning av fasta anläggningar.

Banverket (2005), BVH 807.31 - Underhållsbesiktning av banunderbyggnad

Banverket (2005), BVH 807.30 - Underhållsbesiktning av banöverbyggnad

Banverket (2005), BVH 807.34 Underhållsbesiktning av signalanläggningar

Banverket (2005), BVH 807.33 - Underhållsbesiktning av elkraftanläggningar



- Banverket (2005), BVH 807.36 - Underhållsbesiktning av övriga anläggningar
- Banverket (2001), BVH 827.2 - Behovsanalys inför vegetationsreglering
- Banverket (2000), BVH 827.1 - Handbok om vegetation
- Batchelor, B G., "Coming to Terms with Machine Vision and Computer Vision: They're Not the Same!" *Advanced Imaging*, pp. 22-24. Jan. 1999
- Coulloudon, B.; Eshelman, K.; Gianola, J. & Habich, N. *Sampling Vegetation Attributes* Bureau of Land Management's National Applied Resource Sciences Center, 1999
- Comaniciu, D.; Meer, P., "Mean shift: a robust approach toward feature space analysis," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* , vol.24, no.5, pp.603,619, May 2002
- Dalal, N.; Triggs, B., "Histograms of oriented gradients for human detection," *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on* , vol.1, no., pp.886,893 vol. 1, 25-25 June 2005
- EC (2014-01-20). *EU Biodiversity Strategy to 2020 – towards implementation*.  
<http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/2020.htm> [2014-01-27]
- Felzenszwalb, P.F.; Girshick, R.B.; McAllester, D.; Ramanan, D., "Object Detection with Discriminatively Trained Part-Based Models," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* , vol.32, no.9, pp.1627,1645, Sept. 2010
- Gonzalez, R. C. & Woods, R. E. "Digital Image Processing" (3rd Ed), Prentice Hall, 2007
- Krebs, C. "Ecological Methodology", Benjamin/Cummings, 1999
- Nyberg, R. G.; Gupta, N.; Yella, S. & Dougherty, M. Detecting Plants on Railway Embankments *Journal of Software Engineering and Applications*, 2013a, 6, 8-12
- Nyberg, R. G.; Gupta, N.; Yella, S. & Dougherty, M. Monitoring Vegetation on Railway Embankments : Supporting Maintenance Decisions *Proceedings of the 2013 International Conference on Ecology and Transportation*, 2013b, 1-18
- Otsu, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 1979, 9, 62 -66
- Photography Calculators*, <http://www.tawbaware.com/maxlyons/calc.htm> (2013-12-09)
- Scrivner, R. (Ed.) Railroad Vegetation Management, *Proceeding of the California Weed Science Society*, 2004, 56
- Viera, A. J. & Garrett, J. M. Understanding Interobserver Agreement: the Kappa Statistic. *Family Medicine*, 2005, 37, 360 - 363

## Bilaga 1 Data

Bedömning av total procentuell yttäckning

canopy.frame

seq_nr	dotmark_20th_sleeper	obsA	obsB	obsC	month
1	0	6.0	8	9.0	6
2	4	6.0	9	12.0	6
3	8	9.0	12	15.5	6
4	12	4.0	7	9.5	6
5	16	11.0	24	21.0	6
6	20	13.5	18	15.0	6
7	24	7.0	15	13.0	6
8	28	4.0	14	13.0	6
9	32	4.0	9	11.0	6
10	36	8.0	17	13.5	6
11	40	14.0	29	22.0	6
12	44	13.5	25	22.0	6

---

1	0	0.00	1.00	0.5	8
2	4	2.00	3.50	2.0	8
3	8	1.00	2.00	1.5	8
4	12	2.50	7.00	5.0	8
5	16	1.50	4.00	3.0	8
6	20	0.75	3.00	2.5	8
7	24	1.50	2.25	3.0	8
8	28	4.50	5.50	7.0	8
9	32	0.50	2.00	1.5	8
10	36	0.25	3.75	3.0	8
11	40	0.25	2.50	3.0	8

12	44		1.00	4.25	5.0	8
----	----	--	------	------	-----	---

### Bedömning av antalet vedartade växter

wPlant.frame

seq_nr	dotmark_20th_sleeper	obsA	obsB	obsC	month
1	0	2	16	6	8
2	4	7	9	11	8
3	8	6	10	8	8
4	12	1	1	4	8
5	16	17	31	25	8
6	20	5	9	6	8
7	24	3	4	8	8
8	28	17	12	21	8
9	32	9	14	11	8
10	36	7	13	11	8
11	40	2	3	2	8
12	44	7	11	13	8

## Bilaga 2

Denna bilaga syftar till att på ett förenklat sätt beskriva förhållandet mellan den tredimensionella fältmiljön på järnvägsbanken och dess reducerade avbildning i två dimensioner på bild.

### Kamera DSLR Nikon D90

Sensorstorlek: 23,6 x 15,8 mm; totalt 12,9 miljoner pixlar

Bildstorlek (pixlar): 4288 x 2848 [L], 3216 x 2136 [M], 2144 x 1424 [S]

Källa: <http://imaging.nikon.com/lineup/dslr/d90/> (Hämtad: 2013-12-16)

	Sensorbred d	Sensorhöjd	AOV bredd	AOV höjd
Nikon D90	23,6	15,8	99,4403°	76,6175°

### Kamerauppsättning

Kamerauppsättning på den rälsgående kärran visas i Figur 4, Figur 46 och Figur 47.

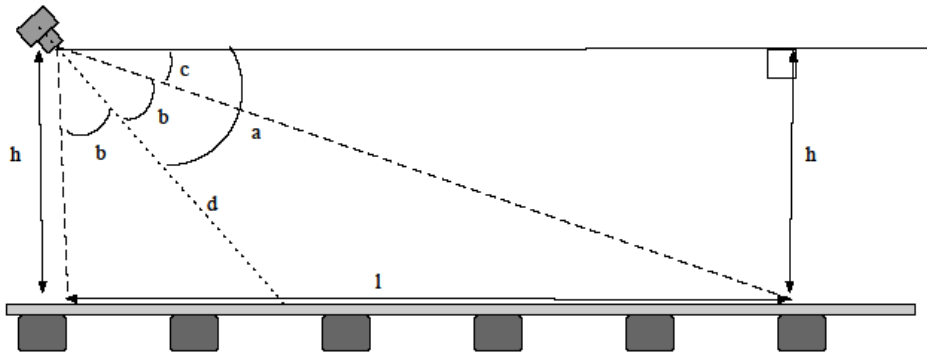
Beräkning av verklig approximativ spårlängd  $l$  (meter) som ryms i en bilds höjded.

$$\tan c = \frac{h}{l} \Rightarrow l = \frac{h}{\tan c} \Rightarrow l = \frac{2,25}{\tan(65 - (76,3/2))} \Rightarrow l = \frac{2,25}{\tan(26,85)} \approx 4,45 \text{ meter}$$

där vinklar:  $c = a - b$

Beräkning av verkligt approximativt avstånd mellan kamera till bildcenter  $d$  (meter):

$$\sin a = \frac{h}{d} \Rightarrow d = \frac{h}{\sin a} \Rightarrow d = \frac{2,25}{\sin(65)} \Rightarrow l = \frac{2,25}{\tan(26,85)} \approx 2,48 \text{ meter}$$

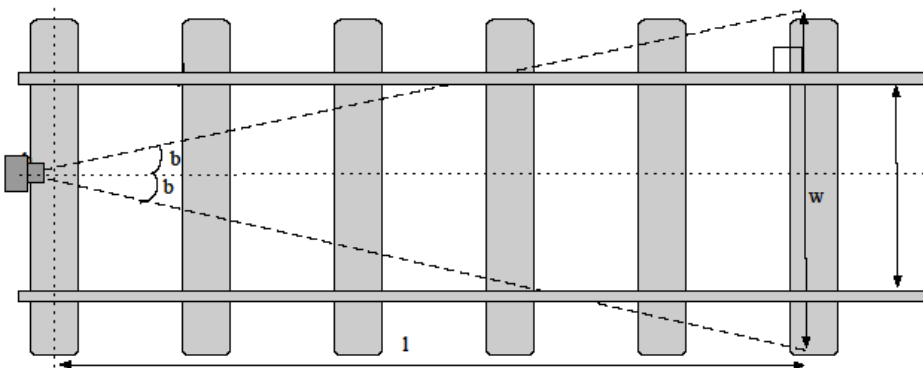


Figur 46 Kamerauppsättning sett från sidan

### Bildprojektion

Beräkning av verklig approximativ bredd  $w_{max}$  (meter) som ryms i bild längst ifrån kameran, dvs i bildens övre kant:

$$w = 2 * \tan b * l \Rightarrow 2 * \tan(99,56/2) * 4,45 \approx 10,52 \text{ meter}$$



Figur 47 Kamerauppsättning sett från ovanifrån

Beräkning av verklig bredd  $w_{min}$  (meter) som närmast kameran, dvs i bildens nedre kant:

$$w = 2 * \tan b * l \Rightarrow 2 * \tan(99,56/2) * 2,25 \approx 5,32 \text{ meter}$$

Förhållande, verklig approximativ bredd:

$$\frac{(\text{bildens överkant})}{(\text{bildens nederkant})} = \frac{10,52}{5,32} \approx 1,98$$

innebärande att objekt, tex rälsens spårvidd 1435 mm är på bild (med denna kamera uppsättning) ungefär två gånger så bred i bildens underkant än i dess överkant. Detta pga av projektion. Alla avstånd mellan bildens överkant och underkant kan därmed överslagsmässigt beräknas genom linjär interpolation

## Bilaga 3

### Allmänna principer för integrerat växtskydd

1. Bland de olika till buds stående alternativen för att förebygga och/eller hålla tillbaka skadegörare och ogräs ska framför allt följande användas eller stödjas:

— Växtföljd.

— Användning av lämplig odlingsteknik (såsom falsk såbädd, såtidpunkter, planttäthet, insådd, reducerad jordbearbetning, gallring och direktsådd).

— Användning där så är lämpligt av växtmaterial som är resistent/tåligt samt bruksutsäde/certifierat utsäde och plantmaterial.

— Användning av metoder för anpassad gödning, kalkning och bevattning/dränering.

— Förebyggande av spridning av skadliga organismer genom hygienåtgärder (t ex genom regelbunden rengöring av maskiner och utrustning).

— Åtgärder för att skydda viktiga nyttoorganismer och öka deras antal, t ex genom lämpliga växtskyddsåtgärder eller användning av ekologiska infrastrukturer på och utanför produktionsställena.

2. Skadliga organismer ska övervakas med hjälp av lämpliga metoder och verktyg, där sådana finns att tillgå. Sådana lämpliga verktyg bör omfatta fältobservationer och vetenskapligt underbyggda system för varning, prognos och tidig diagnos, där så är möjligt, samt rådgivning av professionella rådgivare.

3. Yrkesmässiga användare ska utifrån resultaten av övervakningen fatta beslut om huruvida och när växtskyddsåtgärder ska vidtas. Tillförlitliga och vetenskapligt välunderbyggda tröskelvärden är väsentliga för beslutsfattandet. Innan någon behandling inleds ska när så är möjligt hänsyn tas till vilka tröskelvärden för skadliga organismer som fastställts för regionen, de särskilda områdena, grödorna och de särskilda klimatförhållandena.

4. Hållbara biologiska, fysiska och andra icke-kemiska metoder ska ges företräde framför kemiska metoder om de leder till tillfredsställande bekämpning av skadegörare och ogräs.

5. De växtskyddsmedel som används ska vara så målspecifika som möjligt och ha minsta möjliga biverkningar för människors hälsa, icke-målorganismer och miljön.

6. Yrkesmässiga användare bör begränsa användningen av växtskyddsmedel och andra ingrepp till vad som är nödvändigt, exempelvis genom minskade doser, minskad spridningsfrekvens eller partiell spridning och därvid ta hänsyn till att riskerna för växtligheten ska vara acceptabla och att insatserna av växtskyddsmedel inte får öka risken för att populationerna av skadliga organismer ska utveckla resistens.

7. Om risken för resistens mot ett växtskyddsmedel är känd och när förekomsten av skadliga organismer kräver att växtskyddsmedel vid upprepade tillfällen används på någon gröda, ska tillgängliga strategier mot resistens användas, så att växtskyddsmedlen inte förlorar sin verkan. Detta kan innebära användning av flera olika växtskyddsmedel med olika verkningsätt.

8. De yrkesmässiga användarna bör på grundval av dokumentationen över användningen av bekämpningsmedel och övervakningen av skadliga organismer, undersöka nyttan med de växtskyddsåtgärder som vidtas.