

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA	<i>Projekttitlel</i> Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 1 (50)

Projektrapport

Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur

**TRAFIKVERKET****ePilot**

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29		<i>Sida</i> 2 (50)

1 Övergripande sammanfattning

I detta projekt har metoder för tillståndsövervakning av infrastruktur från ordinarie tågtrafik demonstrerats och jämförts med avseende på om övervakningssystemen kan ge en mer frekvent övervakning, snabbare kvittens på effekter efter utförda åtgärder, upptäcka skador på grund av plötsliga händelser, samt ge en kontinuerlig information om felutveckling vilket underlättar planering

De mobila system som har demonstrerats är:

- Damill:s Track-Logger
- D-Rail:s D-Rail system
- Perpetuum installerad i SJ:s X2000 tåg.

Som referens har huvudsakligen följande av Trafikverkets underhållssystem tillämpats:

- Bessy (besiktningssystem), Ofelia (felhanteringssystem) och Optram (mätvagnsdata)

eMaintenance365 har byggt upp en infrastruktur och ett verktyg för hämtning, lagring, kvalitetssäkring, analys och visualisering som möjliggör jämförelsen mot Trafikverkets system Bessy, Ofelia och Optram.

Projektet har inte gjort några egna jämförelser av mätresultat från de mobila mätsystemen gentemot Trafikverkets system, utan detta har genomförts av respektive mätleverantör genom att använda eMaintenance365 analysverktyg eller egentutvecklad analysmetod.

Projektet möjliggör en praktisk tillämpning av utvecklad lösning för tillståndsbedömning av banöverbyggnad. Denna lösning förväntas bidra till:

- en ökad kostnadseffektivitet inom drift och underhåll för både infrastruktur och rullande materiell genom mer tillståndsbaserat underhåll
- förbättrad tillförlitlighet genom bättre funktions säkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet
- ökad tillgänglighet och robusthet genom minskade störningar, färre akuta fel samt effektivare felavhjälpning
- ökad kapacitet genom ökad tillgänglighet och robusthet samt förbättrad tillgänglighet
- bättre resursutnyttjande

Bedömd nytta består av:

- frigöra kapacitet i spår, dvs. fler gods- och passagerartåg kan släppas in på banan
- mäta i belastat spår dvs. kontrollera de faktiska driftsförhållandena
- snabbare kontroll av att utförd åtgärd har medfört effekt samt hur bestående åtgärden är
- snabbare höja hastigheten efter stabilitetspåverkande arbeten
- reducera kostnaderna för den idag mycket dyra manuella besiktningen och istället besiktiga mer noggrant via sensorernas indikering.

	<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA	<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0	
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29		<i>Sida</i> 3 (50)

- lagerlägg all information per position för att se samband, följd fel, återkommande fel, förarkommentarer och kostnadsuppföljning.
- besiktningsmän kan bättre utnyttjas i det förebyggande underhållet
- ge tidigare varning om felutveckling som möjliggör bättre planeringsförutsättningar för att genomföra underhåll efter besiktning
- upptäcka skador i tid och förhindra olyckor
- vara ett verktyg för att övergå från avhjälpande till förebyggande underhåll

Med sensorövervakning på passerande tåg erhålls en betydligt bättre bevakning på förändringar och vid indikationer som kan kompletteras med en manuell besiktning omedelbart för att fastställa orsak och lämplig åtgärd. Att kunna följa utvecklingen och att planera och agera i tid ger förutsättningar för en mer proaktiv underhållsstrategi som omvandlar avhjälpande underhåll till förebyggande tillståndsbaserat underhåll.

De mobila mätsystemen har visat stor potential att tillämpa mer frekvent tillståndsovervakning av järnvägsinfrastruktur från reguljär trafik. Det behövs dock fortsatt utvecklingsarbete och flera av delsystemen kommer att användas inom andra projekt. I samtliga projekt så är det viktigt att indikationer och larm genererade av de fordonsbaserade systemen kan verifieras av personal i anläggningen som komplement till en triangulering via multipla databaser.

För att få en bredare implementering i den löpande verksamheten måste dock mer långsiktiga affärsuppgörelser mellan parter upprättas och metoder för innovationsupphandling utvecklas.

Ett stort mål för järnvägen idag är att minska alla akuta fel som orsakar många tågstörningar. Projektet har visat på möjligheten att genom frekvent och effektiv bevakning med ny sensorteknik kunna erbjuda betydligt bättre beslutsunderlag för lämpliga åtgärder. Med dessa mätdata borde man klart effektivare kunna förhindra akuta fel och dessutom kunna utföra mer förebyggande underhåll med de mest kostnadseffektiva och bestående åtgärderna genom att succesivt bygga upp en erfarenhetsbank. Resultaten bör kompletteras med all tillgänglig information per position och dessutom delges samt berikas med expertkompetens genom ett lämpligt informationssystem.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA	<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 4 (50)

Tillkännagivande

Projektet vill först och främst tacka ePilot och Trafikverket för deras finansiella stöd som möjliggjort genomförandet av detta arbete.

Vidare vill projektet särskilt tacka följande personer som har medverkat med sin kompetens och kunskap i detta arbete:

- Peter Söderholm, Stefan Kratz, Jan Olersbacken och Rikard Granström, Trafikverket
- Pär Söderström (PS) och Johan Enstedt, SJ
- Håkan Jarl, Norrtåg/Tåg i Bergslagen
- Dan Larsson och Christian Gustafsson (GG), Damill
- Christoffer Hamin (CH), D-Rail
- Bengt Jonsson, Jesper Westerberg (JW) och Anton Nilsson (AN), eMaintenance365
- Roger Norman, Krister Pettersson och Lennart Skoog, Tågkompaniet
- Roland Bång (RB), Infranord
- Ramin Karim och Veronica Jägare, LTU

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29		<i>Sida</i> 5 (50)

Innehållsförteckning

PROJEKTRAPPORT	1
1 ÖVERGRIPANDE SAMMANFATTNING	2
TILLKÄNNAGIVANDE	4
2 INLEDNING	7
2.1 BAKGRUND.....	7
2.2 MÅL	8
3 METOD	9
3.1 TILLKOMMANDE AKTIVITETER.....	9
4 GENOMFÖRDA AKTIVITETER	10
4.1 VAL AV MÄTSTRÄCKOR OCH FELMODER	10
4.1.1 Felmoder.....	10
4.2 MÄT- OCH BESIKTNINGSSYSTEM	11
4.2.1 Track Logger.....	11
4.2.2 D-Rail.....	12
4.2.3 Perpetuum.....	13
4.2.4 Bessy, Ofelia och Optram.....	13
4.3 DIGITALA MOLNTJÄNSTER FÖR BESLUTSTÖD	17
4.4 UPPFÖLJNING I SPÅR	20
4.5 KOSTNADSBESPARINGAR	21
5 RESULTAT	22
5.1 TILLSTÅNDSGIVNING.....	22
5.1.1 Damill	22
5.1.2 D-Rail.....	22
5.1.3 Perpetuum.....	23
5.2 MÄTNINGAR.....	23
5.2.1 Damill	23
5.2.2 D-Rail.....	27
5.2.3 Perpetuum.....	33
5.3 ANALYS OCH MOLNTJÄNST.....	34
5.3.1 Osäkerheter i datakällor.....	34
5.3.2 Överensstämmelse D-Rail, Track-Logger och Bessy	35
5.3.3 Felutveckling - repeterbarhet	39
5.4 SCHABLONBERÄKNING NYTTA.....	41
6 DISKUSSION	43
6.1 NUVARANDE STRATEGI OCH BEHOV AV FÖRÄNDRING	43
6.2 SYFTE	43

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29		<i>Sida</i> 6 (50)

6.3	NYTTA	43
6.4	SYSTEM FÖR TILLSTÅNDSÖVERVAKNING	44
6.4.1	Montering, funktionalitet och tillståndsgivning	44
6.4.2	Mätdata	45
6.4.3	Verifiering	45
6.4.4	Molntjänst	45
6.5	SLUTSATSER	46
7	SAMMANFATTNING	47
8	FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE	49
	REFERENSER	50

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29		<i>Sida</i> 7 (50)

2 Inledning

Denna projektrapport beskriver de mobila mätsystem som har monterats i tågfordon och resultat från genomförda mätningar och analysera för att mäta tillståndet på järnvägsanläggningen.

Syftet med projektet är att demonstrera och utvärdera om tillståndsövervakning av infrastrukturen (i första hand bana och kontaktledning) går att genomföra via mobila system som monterats på fordon i reguljär tågtrafik.

2.1 Bakgrund

Sveriges järnvägssystem är åldrande och har en stor underhållsskuld. Regeringen satsar därför 125 miljarder kronor på höjd järnvägsstandard under den kommande 10-årsperioden. Ett problem är att det kommer att råda resursbrist på kompetent personal för att omvandla denna satsning till effektiva underhållsåtgärder. Det behövs innovativa metoder för att bättre utnyttja de resurser som idag finns tillgängliga för att lösgöra kompetens från bl.a. tidkrävande manuell tillståndskontroll. Idag ligger ansvaret för kompetensförsörjning hos underhållsföretagen.

Inspektion/besiktning av tillståndet hos delsystemet spåranläggning utgör enligt AUTOMAIN (2011) 21 % av underhållskostnaden. Inspektion och besiktning är en mycket viktig verksamhet med avseende på trafiksäkerhet och att få in rätt beslutsstöd för underhållsåtgärder. Här finns en stor potential att frigöra expertresurser för att arbeta om avhjälpande underhåll till förebyggande.

Besiktning/tillståndskontroll av fasta järnvägsanläggningar genomförs idag av underhållsrentreprenör inom förutbestämda intervaller reglerade i TDOK 2014:0240. Besiktning sker via speciella mätfordon och manuella av besiktningar. Periodicitet för kontrollerna är från varannan månad och uppåt beroende på besiktningsklass.

Det medför att den manuella besiktningen som görs idag inte ger den bevakning av akuta förändringar som önskas då den utförs för sällan. Med sensorer monterade på passerande tåg erhålls en omedelbar bevakning på förändringar och vid indikationer borde dessa kunna kompletteras med en manuell besiktning för att fastställa orsak och lämplig åtgärd. Att kunna följa utvecklingen och att planera och agera i tid ger förutsättningar för en mer proaktiv underhållsstrategi som omvandlar avhjälpande underhåll till förebyggande; tillståndsbaserat underhåll. Även möjligheten att upptäcka skador som uppstår på grund av plötsliga händelser och möjlighet att vidta åtgärder innan oönskade konsekvenser uppstår.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 8 (50)	

Med mer frekventa tillståndskontroller erhålls också bättre beslutsunderlag och resultaten skulle succesivt bygga upp en erfarenhetsbank, då det är besiktningsunderlag, mätdata och tågföringsstatistik som ligger till grund för de flesta beställningar av reinvesteringar. Dessa mätdata kan även användas för att se effekten av genomförda åtgärder, både på kort och lång sikt.

En annan nytta med att övervaka tillståndet på banan från ordinarie tåg trafik är att tid för underhållsbesiktning ej stjälar kapacitet från banan samtidigt som tillståndskontrollen sker i belastat spår.

Det är därför intressant att testa olika fordonsbaserade mättekniker för tillståndsbedömning av infrastrukturen som utvecklats i branschen såsom:

- Damill:s mobila mätväska Track-Logger som mäter slag och stötar i vertikal och lateral led samt höjd- och sidoläge.
- D-Rail:s sensorer för övervakning av kontaktledning, banunderbyggnad och spår.
- Perpetuums mätsystem som är installerade i SJ ABs X2 tågset.

Projektet möjliggör en praktisk tillämpning av utvecklad lösning för tillståndsbedömning av banöverbyggnad. Denna lösning förväntas bidra till:

- en ökad kostnadseffektivitet inom drift och underhåll för både infrastruktur och rullande materiell genom mer tillståndsbaserat underhåll
- förbättrad tillförlitlighet genom bättre funktions säkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet
- ökad tillgänglighet och robusthet genom minskade störningar, färre akuta fel samt effektivare felavhjälpning
- ökad kapacitet genom ökad tillgänglighet och robusthet samt förbättrad tillgänglighet
- bättre resursutnyttjande

2.2 Mål

Målet med detta projekt är att skapa en modell för fordonsbaserad tillståndsovervakning från reguljär trafik, av infrastruktur och riskbaserat beslutsstöd med tillämpning på spår. Detta genom integration av olika fordonsbaserade sensortekniker, som t ex mättåg, autonoma sensorer och integrerade sensorer, testa och utvärdera framtagna lösningar från ePilot för banöverbyggnad på sträckorna Uppsala - Umeå, Sundsvall - Ånge.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 9 (50)	

3 Metod

I projektet ska test av mobil mätutrustning ombord på fordon i reguljär trafik för tillståndskontroll av järnvägsinfrastruktur, utvecklad av Damill, D-Rail och Perpetuum, utvärderas och jämföras mot tillståndsdata från Trafikverkets underhållssystem för Optram, Bessy och Ofelia.

Ursprungligt planerade aktiviteter framgår enligt nedan:

- Val av teststräckor, med målsättning att kunna se om mätsystemen upptäckt samma/ liknande avvikelser.
- Identifiering av historiska felmoder på dessa sträckor.
- Mätningar
 - Damill-monterat system (Track-Logger) i nattågen på övre Norrland på sträckan Stockholm-Luleå.
 - D-Rail monterat system i Tågkompaniets fordon som trafikerar sträckan Sundsvall – Umeå samt sträckan Sundsvall – Östersund.
 - SJ installerat systemet Perpetuum i sina X2000 tåg på sträckan Stockholm-Sundsvall.
- Utveckla verktyg för dataanalys
 - Mätdataimport, lagring, kvalitetssäkring och lagring
 - Utveckling av analysverktyg
 - Visualisering

3.1 Tillkommande aktiviteter

På grund av mer omfattande arbete för att erhålla tillstånd att montera mätutrustningarna på tågen, kalibrering, samt nya önskemål om att bl.a. jämföra genomförda mätningar mot Optram samt möjlighet att genom fältbesök verifiera upptäckta avvikelser, kompletterades med följande aktiviteter:

- Ny teststräcka Katrineholm-Hallsberg (bandel 414 och 416), där Perpetuum kalibreras och valideras av Trafikverket, SJ och Perpetuum tillsammans. Bl.a. genom att använda data från Ofelia, Bessy och Optram, men även Öppna data från Trafikverket.se för att hantera positionering angiven i km+m respektive GPS.
- Uppföljning av avvikelse genom verifiering via fältbesök alternativt i dialog med underhållsentreprenör utförs av mätleverantörerna:
 - Damill på sträckan Bastuträsk-Boden.
 - D-Rail på Gävle-Ockelbo.

På önskemål från Trafikverket och Infranord utökades analysen med jämförelse av mätsystem D-Rail och Track-Logger mot mätdata från Optram, med egenutvecklat verktyg respektive med hjälp av eMaintenande365 verktyg.

En enklare kostnadsnytta-kalkyl har genomförts för en av de identifierade felmoderna för att visualisera nyttan.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 10 (50)	

4 Genomförda aktiviteter

Detta avsnitt beskriver kort de aktiviteter som genomförts i projektet.

4.1 Val av mätsträckor och felmoder

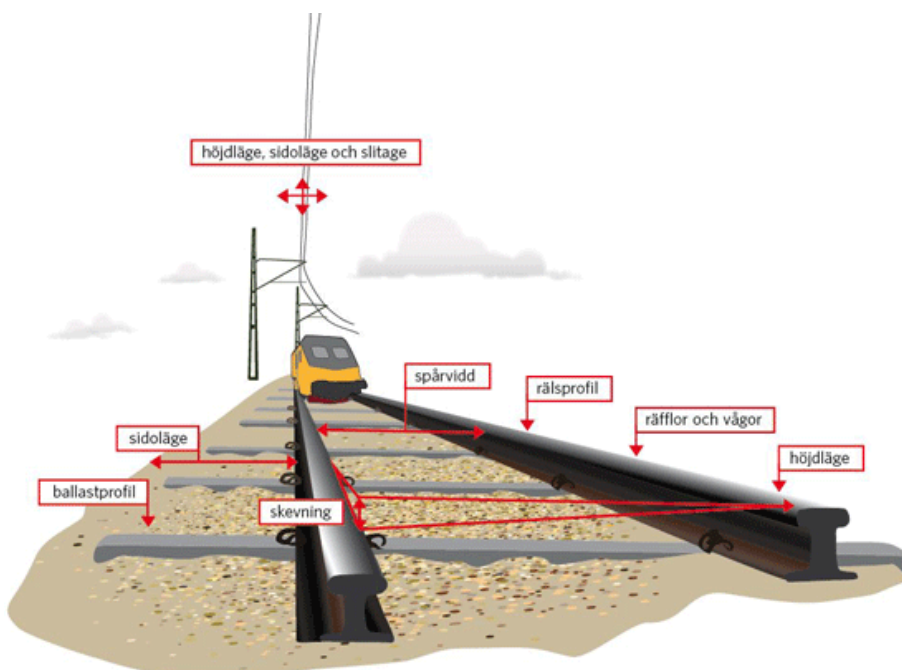
Stora mängder data kommer att samlas in och för att kunna göra en realistisk utvärdering och test, beslutades att data skulle hämtas från ett begränsat spåravsnitt från vilka data skulle samlas in och levereras till eMaintenance365 för analys. På rekommendation från Infranord valdes sträckorna Örnsköldsvik-Gimonäs respektive Härnösand – Sundsvall.

4.1.1 Felmoder

Genom att analysera historisk data från Trafikverkets system (Optram, Ofelia och Bessy) identifierades ett antal felmoder som förväntades kunna paras ihop med tillståndsmätningarna. Dessa är (se även figur 1):

- Spårlägesfel; avvikelse i höjd 1-25, avvikelse i sida 1-25, skevning 3 m och skevning 6 m
- Rälsskador; räfflor och vågor (RoV), ytskador t.ex. slirsår, squat
- Dåliga rälsskarvar; låga isolerskarva, svetskarvar
- Spårväxlar; profilavvikelser korsningsspets
- Kontaktledningsfel

Dålig underbyggnad, d.v.s. bankroppen, upptäcks normalt via spårlägesmätningar såsom t.ex. skevning.



Figur 1. Felmoder (www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/forvaltning-och-underhall/Periodisk-matning/Kollpa-sporet-i-200-kmtim).

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 11 (50)	

4.2 Mät- och besiktningssystem

Detta kapitel beskriver den olika mätsystemen och deras förväntade mätresultat samt befintliga system som används av Trafikverket.

4.2.1 Track Logger

Track Logger är ett mobilt mätsystem bestående av en mätdator, en GPS-mottagare, ett gyro och tre accelerometrar som utvecklats av Damill. Mätsystemet kan monteras på valfritt spårgående fordon med syfte att under normal drift utföra kontinuerliga mätningar av infrastrukturen, se Figur 2. Om fordonet saknar ström så kan mätsystemet köras på batteridrift.

Med hjälp av mätsystemets accelerometrar och gyro registreras lägesförändringar i utvalt hjulpar. Detta skapar möjligheten att studera det enskilda hjulets rörelse och upptäcka avvikelser i höjd- och sidoläge samt skevning. Med dessa parametrar kan skador så som räfflor och vågor (RoV), dåliga isolerskarvar, dålig banunderbyggnad, slitna växelkorsningar och slitna växeltungor detekteras. Dessa avvikelser lokaliseras med meterprecision med hjälp av mätsystemets GPS-mottagare.

Med framtida uppdatering beräknas mätsystemet även kunna använda sig av navigeringsmetoden "död räkning" för skadelokalisering där GPS-signalen inte är tillräcklig, exempelvis i tunnlar.

Genom användning av Track Logger ges möjlighet till tidig detektion av rälsskador och dåligt spårläge vilket ger ökad säkerhet för trafiken och bättre planerbarhet i det tillståndsbaserade underhållet. Genom fler och mer frekventa mätningar kan även effekten av utfört underhåll avgöras och underhållsåtgärdens varaktighet följas.



Figur 2: Track Logger monterad på en av SJ:s personvagnar.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 12 (50)	

4.2.2 D-Rail

Mätssystemet från D-Rail består av trådlösa, batteriförsedda, mät datorer och en mottagande dator för insamling av mätdata, positionering och sändning av data till moln.

De trådlösa, batteriförsedda, datorerna installeras på fordonets strömvtagare samt på en boggiram, se Figur 3. På Tågkompaniets fordon (X62) som blev bärare av D-Rail i detta projekt, är försedd med två strömvtagare och detta resulterade i att totalt tre stycken mät datorer installerades, två stycken på respektive strömvtagare respektive en på boggin.

Mät datorerna har mätutrustning kopplat via kabel. Kabeln förläggs med befintligt kablage i boggin som fästs med slangklämma på det objekt som ska mätas.

För att mäta spårkomponenter såsom skarvar, räl och spårväxlar, räfflor och vågor, och spårläge används två mätpunkter på en solid hjulaxel.

För att mäta kontaktledningen dynamiskt, dess position och höjd, används tre mätpunkter på en strömvtagare, samtliga mätpunkter mäter tredimensionellt, X, Y och Z, vilket medför att en mät dator samlar in, hanterar, beräknar och skickar vidare upp till 43 200 mätningar per sekund.

All data som samlas in, varenda mätpunkt, får en geografisk position kopplad till sig som är synkroniserad ner till 30 mikrosekunder. Det resulterar i en maximal differens mellan positionsdata och mätdata på under 1 cm vid en hastighet på 350 km/h. I befintlig installation på Tågkompaniets tåg positioneras data med GPS vilket ger en noggrannhet på ca 2,5 m. I nästa version av D-Rail mätsystem så används GPS och 3D ADR med en positionering ner på cm nivå.

Datorn som tar emot mätdata och GPS position installeras inuti fordonet på lämplig plats där den kan strömförsörjas. Datorn inuti fordonet bestämmer när mätsystemet ska samla mätdata med avseende på om fordonet rör sig.



Figur 3. D-Rail monterad på Tågkompaniets tåg. Den silvriga lådan, på axelboxen syns även en silvrig mätpunkt.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitlel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 13 (50)	

Mätssystemet förväntas mäta (med minst samma noggrannhet på 1 – 25m spårläge) höjd- och sidoläge och skevning som mätvagnen gör enligt gällande tekniska bestämmelser hos Trafikverket.

Då mätningar utförs kontinuerligt förväntas data samlas in och analyseras, som kan förhindra tidigare oförutsedda händelser såsom undermineringar av banvallen p.g.a. bristande dränering/dikning samt att tidiga larm (innan kritiska gränser nås) kan förhindra t.ex. kontaktledningsnedrivningar.

4.2.3 Perpetuum

Efter ett par års provdrift har Perpetuum, installerats under 2018 på alla SJ ABs X2 tågsätt. Perpetuum är ett Brittiskt hjullager-övervaknings system, vars primära syfte är hjullagerövervakning "BHI" (Bearing Health Index) samt hjulslitbanaövervakning "WHI" (Wheel Health Index).

Som en sekundär produkt ger systemet information om infrastrukturen – "THI" (Track Health Index).

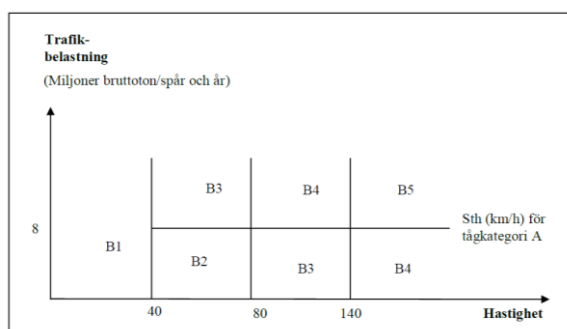
Systemet bygger på att det på varje hjullagerbox finns en vibrationsövervakningssensor monterad, därtill i ett par vagnskorgar per tågsätt. Perpetuum har en enhet för datainsamling (Data Concentrator) med vidhängande position och kommunikationssystem (GPS & GSM). THI åskådliggörs med redovisning av vibrationsnivåer (vertikalt, lateralt och horisontellt) och visa vibrationsnivå förändringar över tid per spårsektion. Initialt har bandel 414 och 416 (Katrineholm-Hallsberg) valts som sträcka för att kalibrera systemet gentemot hos Trafikverket kända spårfel, och genomförda underhållsåtgärder, etc.

4.2.4 Bessy, Ofelia och Optram

Trafikverket samlar in tillståndsdata för anläggningarna via underhållssystemen Bessy, Ofelia och Optram. Tillståndsdata insamlas och rapporteras via underhållsentreprenör (Bessy och Optram) och via Trafikverket anläggningsövervakning och underhållsentreprenörer (Ofelia).

Trafikverkets tillståndsovervakning utförs av underhållsentreprenören och styrs av regelverket "TDOK 2014:0240 Säkerhetsbesiktning av fasta järnvägsanläggningar". Intervallerna för besiktning/mätning styrs av banans besiktningsklass, som i sin tur styrs av tonnage på banan och största tillåtna hastighet, se Figur 4.

Antalet besiktningstillfällen varierar beroende på anläggning från 1 till 6 ggr per år. Den tätaste frekvensen, varannan månad tillämpas för banklass B4 och B5 och omfattar spårläge och spårväxlar.



Figur 4. Besiktningsklasser

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitlel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 14 (50)	

4.2.4.1 Bessy

Bessy (Besiktningssystem) är det system som används att samla in uppgifter om anläggningarnas tillstånd för det tillståndsbaserade underhållet. Besiktning av banan utförs av underhållsentreprenörens besiktningsmän och baseras till stora delar på okulär bedömning och manuella mätningar, t.ex. med bladmått eller linjal. Besiktningsmannen klassificerar avvikelserna enligt nedan: (eP119-001)

Avhjälpande underhåll

A (akut) Anmärkning av sådan art att den medför en omedelbar risk för olycka eller tågstörning. För dessa anmärkningar ska nödvändiga åtgärder vidtas omedelbart (inklusive eventuell avstängning av spår) och besked om detta ofördröjligen lämnas till ansvarig enhet.

V (vecka) Anmärkning av sådan art att den ska åtgärdas inom två veckor från besiktningsdatum.

Tillståndsbaserat underhåll

M (månad) Anmärkning av sådan art att den ska åtgärdas inom tre månader från besiktningsdatum, alternativt ska chefen för underhållsområdet följa upp anmärkningen på nödvändigt sätt.

B (besiktning) Anmärkning av sådan art att den ska åtgärdas innan nästa besiktningstillfälle alternativt ska chefen för underhållsområdet följa upp anmärkningen på nödvändigt sätt.

Ö (övrig) Övriga anmärkningar, åtgärdas i mån av tid.

Vid genomförande av besiktningen använder besiktningsmannen en handdator som efter slutförd besiktning förs över i pc-miljö. Besiktningsmannen registrerar funna anmärkningar och totalt kan 31 fält matas in. I inmatningsfältet ska typ av anmärkning matas in på så sätt att det ska gå att föreslå en åtgärd.

4.2.4.2 Ofelia

Ofelia (Noll fel i anläggningarna) används för rapportering och uppföljning av fel på anläggningarna. Samtliga fel (inklusive A-anmärkningar som upptäcks av en besiktningsman) rapporteras till drifttekniker på Anläggningsövervakning. Driftteknikern registrerar en felrapport och anger symptomen på felet. Därefter kontaktats underhållsentreprenör som kallar ut en reparatör. Reparatören åtgärdar felet och rapporterar den verkliga felorsaken tillbaka till Ofelia. (eP119-001)

Ofelia möjliggör uppföljning av inställetid (d.v.s. hur lång tid det tar från det att entreprenören fått vetskap om felet till dess reparatör finns på plats), medeltid att reparera fel, medeltid mellan fel, felfrekvens per anläggning, felorsaker m.m. (eP119-001)

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 15 (50)	

Antal möjliga inmatningsfält är 71 stycken som vid enkel sökning i systemet, levereras som stora Excelark med 71 kolumner och en rad per felrapport. (eP119-001)

Vissa av fälten är obligatoriska att fyllas i såsom anmält, vidareanmält och avslutat datum, läge i form av stråk, bandel, trafikplats, symptomen på anläggningstyp samt verkligt fel och åtgärd på anläggningen. (eP119-001)

4.2.4.3 Optram

Optram (OPTimized TRAck Management). De periodiska mätningarna av spårets och kontaktledningens tillstånd utförs löpande och omfattar bland annat spårläge, rälsprofil, räfflor och vågor, kontaktledningens läge, ballastprofil och videofilmning av spår och omgivning. Mätningarna genomförs med mätvagnarna IMV100 och IMV200 (Infranords benämning, benämns av Trafikverket som MD100 och MD200).

Spårläge mäts med parametrarna spårvidd, skevning, rälsförhöjning, höjd- och sidoläge.

Mätvagnarna tar bl.a. fram två mått för spårläget; K-tal och Q-tal. Dessa två mått mäter komforten för resenärerna och spårlägeskvaliteten, men används också i underhållskontrakt som ett målvärde på underhållskvaliteten. Målvärdets nivå bygger på ett förutbestämt underhåll ur ett LCC-perspektiv. Banans livslängd optimeras och nedbrytningstakten kontrolleras genom cyklisk spårriktning. Det finns också en undre gräns för ett vidmakthållande av banan med avseende på livslängden. Underskrids den undre gränsen bedöms nedbrytningstakten vara hög och banans livslängd uppnås ej.

Optram kan även göra analyser för trendning och prognoser och används för att få fram ett optimalt underhåll i spår- och kontaktledning.

Uppgifterna från mätvagnarna hanteras i Optram och kan analyseras tillsammans med uppgifterna som finns i Trafikverkets baninformationssystem BIS (position, anläggningstyp, plan- och profilgeometri).

4.2.4.4 Mätfordon

Trafikverket upphandlar periodisk mätning med mätvagn MD200 (IMV200) och MD100 (IMV100) från Infranord mätenhet se figur 5 och bilaga 1. De beteckningar inom parentes som angivits är Infranords klassifikation. Totalt finns fyra mätfordon, en MD200 och tre MD100.

MD 100 benämndes tidigare EM80. MD200 som ersatt Banverkets tidigare mätvagn STRIX kan mäta tillstånd på infrastrukturen med en hastighet upp till 200 km/h. MD 200 kan kontrollera spår och kontaktledning i 200 km/timme, men bristen på lok som kan köra så snabbt begränsar i praktiken hastigheten till 160 km/timme.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 16 (50)	



Figur 5. Mätvagn MD100 (till vänster) och Mätvagn MD200 (till höger)

MD100 levererar:

- Spårläge enligt SS-EN 13848
- Kontakttrådens statiska läge
- Kontakttråds slitage
- Beräkning av ekvivalent konicitet enligt SS-EN 15302
- Rälprofil och Rälsslitage
- Ballastprofil
- Avstånd till närliggande spår
- Videofilmning av kontaktledning
- Videofilmning av banan
- Videofilmning av omgivning
- Spårstyhetsmätning
- Radiotäckning GSM-R (TRV)

MD200 levererar:

- Spårläge, enligt SS-EN 13848
- Dynamisk kontaktledningsmätning enligt SS-EN 50317
- Rälprofil (max 2 ggr/år) och Rälsslitage
- Beräkning av ekvivalent konicitet enligt SS-EN 15302
- Loggning av balisinformation (ATC)
- Varmgångssimulering
- Korrugering, dvs. räfflor och vågor (max 1 gång/år)
- Videofilmning av strömvtagning
- Videofilmning av banan
- Radiotäckning GSM-R (TRV)

Omfattningen av mätningen varierar mellan 1 och 6 gånger per år beroende på besiktningsklass, se kapitel 4.2.4. Följande parametrar mäts:

- Spårläge, 1–6 gånger per år, regleras i TDOK 2014:0240
- Rälprofil, upp till 2 gånger per år
- Räfflor och vågor, upp till 1 gång per år
- Videofilmning av spår och omgivning 1–2 gånger per år
- Ballastprofil, ¼-1 gång per år

Kontaktledningen mäts på spår med högsta besiktningsklassen tre gånger per år genom mätning av kontakttrådens statiska läge, kontakttrådens tjocklek samt dynamiska mätningar.

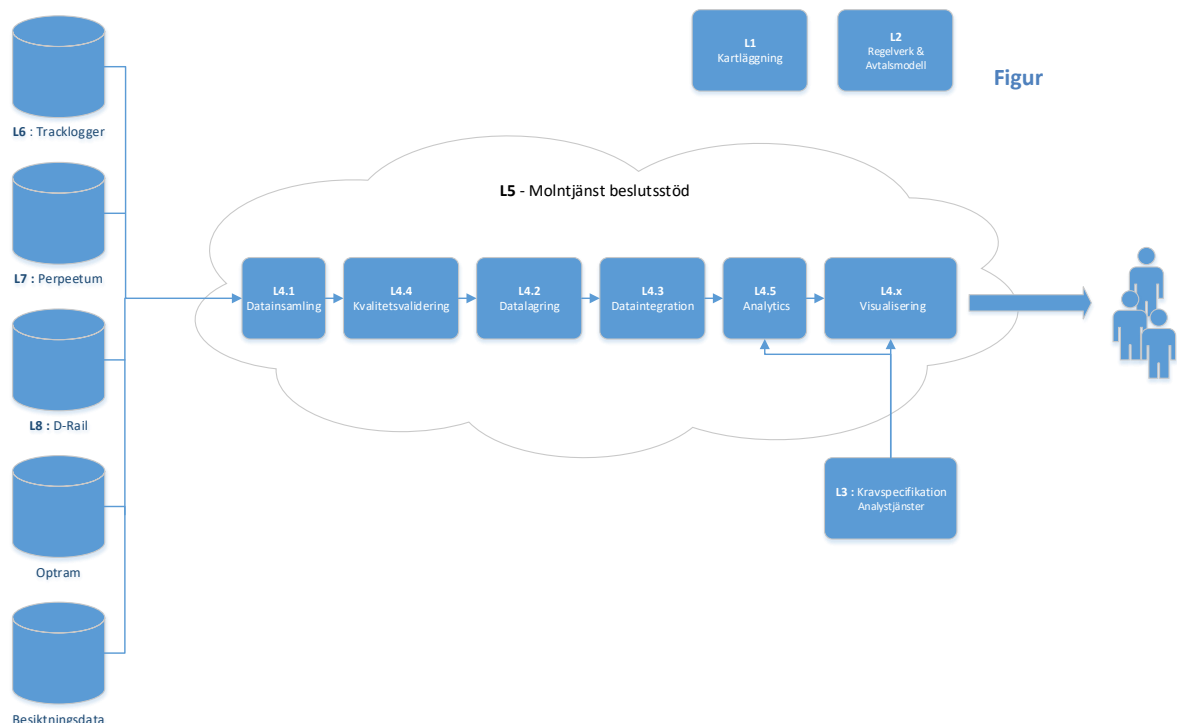
<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 17 (50)	

De mätdata som MD200 registrerar visas i kurvdiagram på bildskärmar vid operatörsplatsen. Positionen bestäms med GPS på någon meter när. Varje kväll skickas mätdata från vagnens datorer till Infranords mätenhet i Borlänge. Där förs de in i Trafikverkets analysverktyg och databaser. Om ett urspårningsfarligt spårålägesfel registreras går ett larm direkt i vagnen. Operatören ringer då upp enheten Anläggningsövervakning hos Trafikverket och sänder ett mejl med information om felet. Åtgärden blir hastighetsnedsättning eller trafikstopp, beroende på hur allvarligt felet är.

4.3 Digitala molntjänster för beslutstöd

Den digitala molntjänsten för beslutstöd är baserad på en anpassning av E365 Analytics®. Molnplattformen E365 Analytics® bygger på flera små tjänster som tillsammans kan anpassas för att samla in, integrera, analysera och visualisera data från en mängd olika datakällor genom olika format och protokoll. En överblicksbild av molntjänsten och dess delkomponenter för detta projekt kan ses i Figur 6.

Datainsamling hanterar inkommande data ifrån de olika källorna inom projektet. Besiktningsdata (Bessy) samt data från Optram exporteras från Trafikverket i CSV-format som sedan sorteras in ett mer lätthanterligt format i SQL. Data från Tracklogger levereras som sammanställda CSV-filer per e-post från Damill. Sammanställningen genomförs av Damill för att minimera datamängden och överföra data på ett mer lätthanterligt sätt. Data från D-Rail tillgängliggörs av D-Rail via ett webb-API.



6. Överblicksbild av molntjänsten (L1-L8 syftar till projektspecifikationens Leverabler)

Till detta API skickas request för hämtning av nya data, vilken sedan lagras i samma format som övrig data för att möjliggöra enkel integration. Formatet på vilket D-Rail erbjuder data är JSON och är uppdelat i tre olika datatyper Alarm, Identification och Wear. Samtliga datatyper är processade

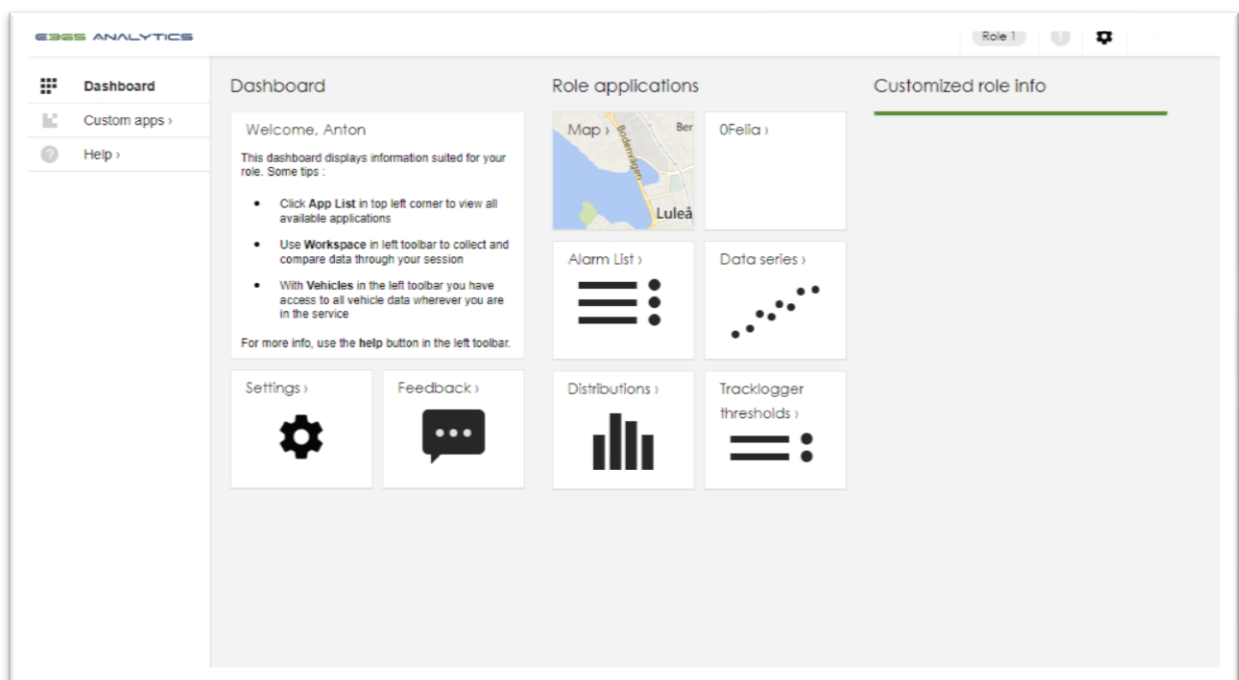
<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 18 (50)	

sammanställningar av mätningarna, där Indications och Alarms belyser platser med högt slitage. Utöver dessa datakällor är det även förberett för mottagning av Perpetuum(L7) data via ett REST API.

Data från samtliga system lagras lokalt och sorteras in i en strukturerad databas (SQL) för att möjliggöra samkörning och sökning i datamängderna.

Data från Trafikverkets system Bessy, OFelia och Optram används då dessa källor är sedan tidigare verifierade metoder för insamling eller verifierat i spår av besiktningsmän. Mobil mätutrustnings data levererad inom projektet är Tracklogger och D-Rail data. För att kombinera data används Trafikverkets spårmeteersystem av samtliga parter tillsammans med WGS84 eller SWEREF99-GPS koordinater.

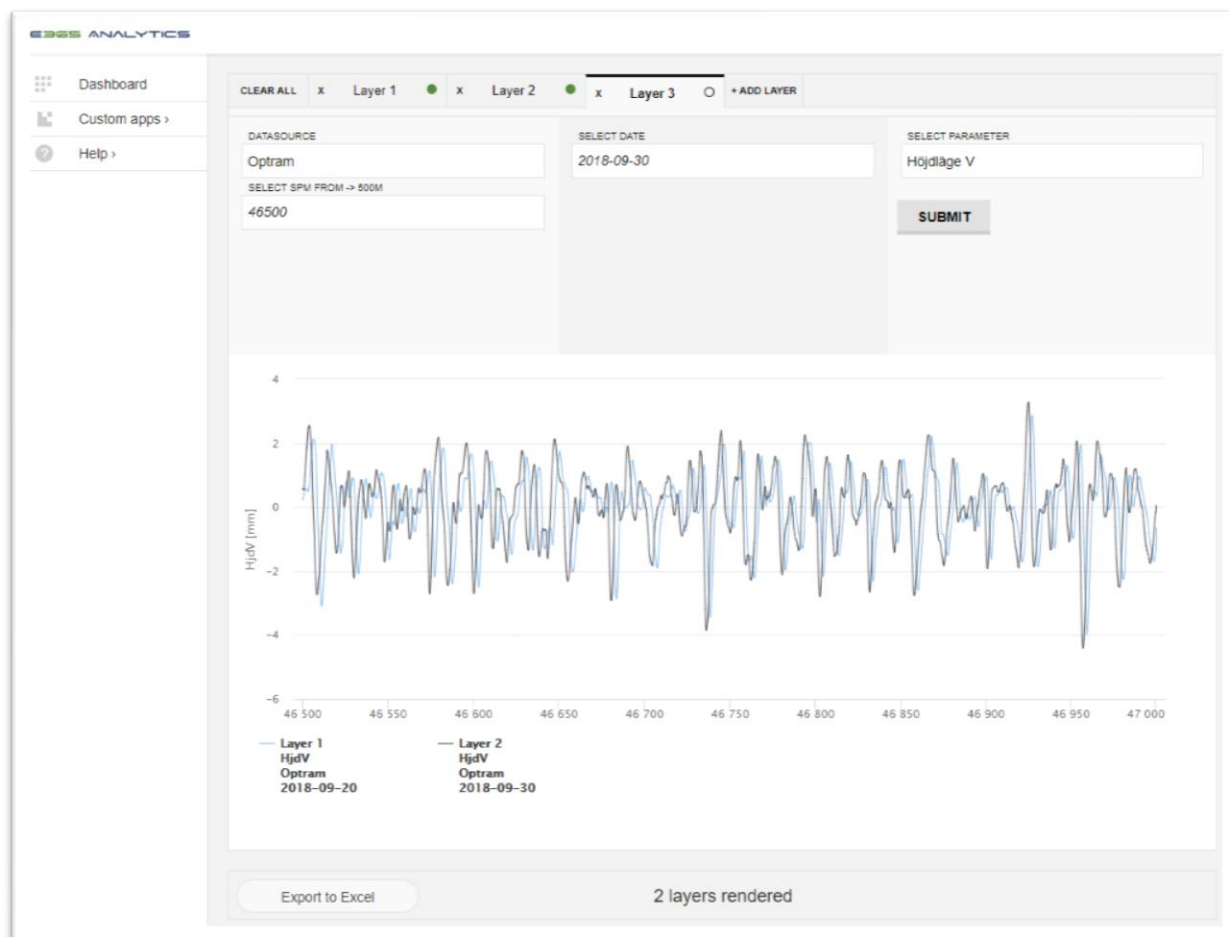
För att möjliggöra för användare att enkelt komma åt, jämföra och hantera data används en webbportal (Figur 7). Med en personlig inloggning kan användare logga in och överblicka all tillgängliga data genom en vanlig webbläsare. Webbtjänsten är uppbyggd som en plattform där olika applikationer kan anpassas för att uppfylla användarens behov.



Figur 7. Webbportal

Då en stor del av data som samlas in utgörs av tillståndsdata har användaren behovet att jämföra mätvärden mot varandra för flertalet olika parametrar och körningar. Till detta finns applikationen Dataserier. I Dataserier kan användaren visualisera individuella mätvärden från en passage och parameter. I visualiseringen presenteras en sträcka på 500 meter i taget för att göra innehållet mer överskådligt för användaren (se Figur 8). Genom att skapa flera lager i applikationen kan användaren göra jämförelser mellan olika system och olika körningar.

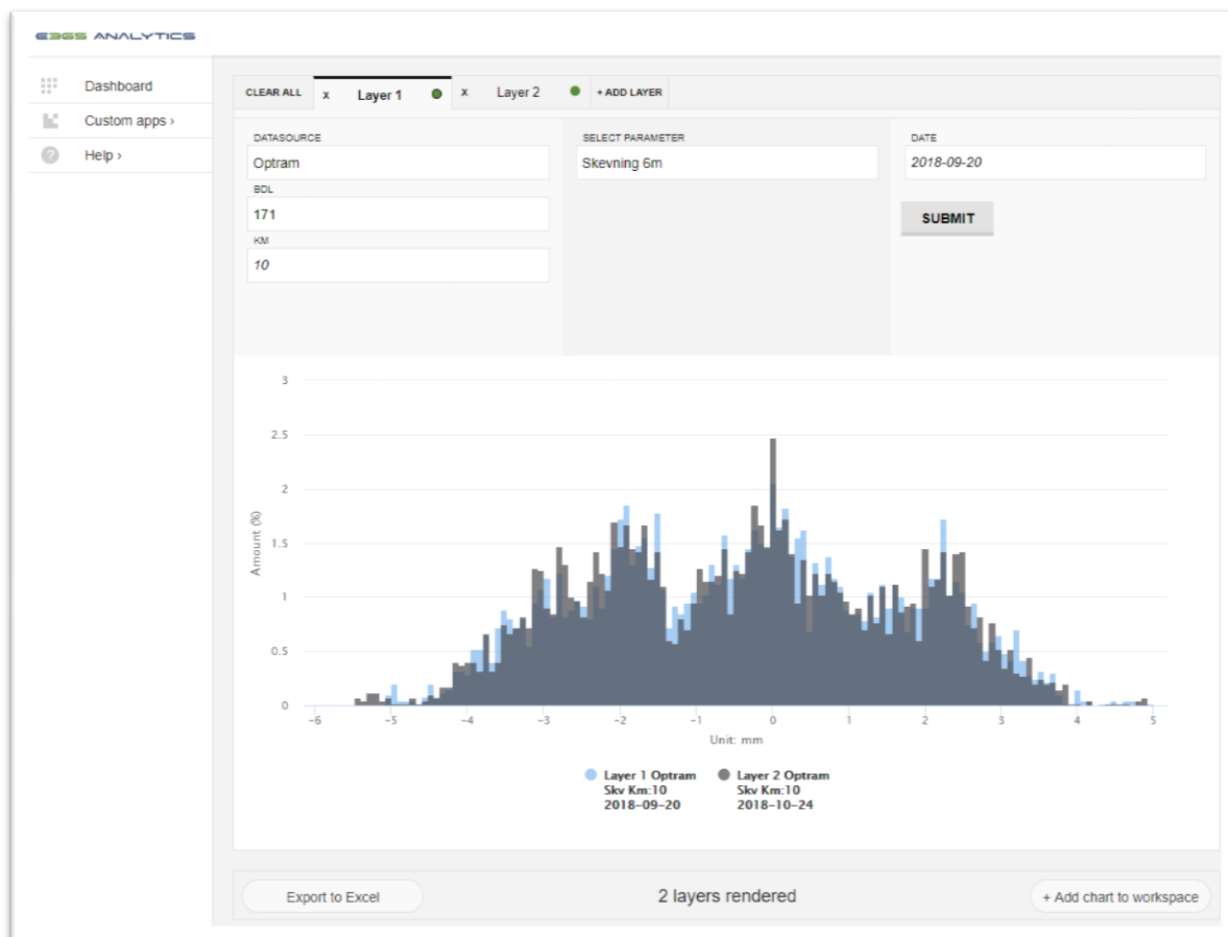
Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA	Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 19 (50)



Figur 8. Dataserier med två lager där Höjdläge jämförs mellan två Optramkörningar.

För att få en mer övergripande bild av data kan användaren även skapa fördelningar och jämföra olika spårkilometrar, datakällor eller passager utifrån vald parameter. Likt dataserier väljer användaren datakälla, spårmeter/spårkilometer, parameter och datum för körning vilket presenterar distributionen av mätvärden (se Figur 9). För att göra en jämförelse så läggs till flera lager där ny datakälla, spårmeter/spårkilometer och datum kan väljas av användaren.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 20 (50)	



Figur 9. Fördelningar över mätvärden av skevning för två Optram-mätningar

Genom att använda en karta och olika lager i ett GIS-system istället för att studera larm från en lista kan larm från de olika systemen visualiseras samtidigt för bättre översikt av status på rälen. Korskörning av systemen gör det möjligt att presentera larm/anmärkningar i närområdet av intressanta platser. Även egendefinierade gränsvärden för parametrar väljas och då presenteras dessa tillsammans med övrig information på kartan.

4.4 Uppföljning i spår

För att delprojektet ska ge minimal störning för operativt underhållsarbete planerades initialt att kanalisera funna avvikelser från Damill, D-Rail och Perpetuum via eMaintenance365, som fick i uppdrag att checka av om avvikelserna redan fanns rapporterade i Trafikverkets system. Om så inte var fallet rapporterar eMaintenance365 avvikelserna till Trafikverkets anläggningsövervakning i Gävle.

Denna aktivitet utökas med en kommunikationsplan i syfte med att hålla berörda parter informerade om de aktiviteter som pågår i delprojektet. Dessa parter är Trafikverkets enhet för anläggningsövervakning i Gävle, Tågledningscentralerna i Ånge och Boden samt underhållsentreprenörer och Trafikverket projektledare för underhåll. Detta genomförs via informationsbrev samt via deltagande på samordningsmöte (UL-möte) per telefon.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA	<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 21 (50)

4.5 Kostnadsbesparingar

I samband med att D-Rail mätte upp en avvikelse på kontaktledningen som visade sig bero på ett trasigt tillsatsrör, som i sin förlängning kunnat medföra en kontaktledningsnedrivning genomfördes en mindre kostnads kalkyl, för att visualisera konsekvenser om avvikelsen ej upptäckts samt besparing/nytta.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA	<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 22 (50)

5 Resultat

5.1 Tillståndsgivning

Transportstyrelsen ska godkänna delsystem när de väsentliga kraven på säkerhet, driftskompatibilitet, miljö, hälsa, tillgänglighet och tillförlitlighet är uppfyllda. Godkännandet ska också säkerställa att de olika delsystemen är driftskompatibla och kan användas tillsammans (fordon - infrastruktur - signalsystem). För installation av nya delsystem så är det den för tekniken ansvariga parten som skall ta fram erforderligt underlag så att en väsentlighetsbedömning enligt CSM-RA 402/2013 och i förekommande fall riskanalys skall kunna genomföras av det ansvariga järnvägsföretaget, på vars järnvägsfordon sensorer avses monteras på. Detta innan installation kan ske på järnvägsfordon.

I detta delprojekt är ansvariga parter för utformning av väsentlighetsbedömning och riskanalys Damill, D-Rail och Perpetuum.

Erforderligt underlag ska innehålla:

- Bakgrund kring varför denna mätutrustning ska installeras.
- Mått och vikter för systemets komponenter.
- Mätutrustningens totala mängd plast och platsort.
- Placering, fastsättningsmetod och kabeldragning för varje enskild komponent.
- Logistik/rutin vid montering, demontering och avtanking av systemet.
- Information och dokumentation om tidigare driftserfarenhet.
- Rutin vid underhåll av vagn.
- Riskanalys.

5.1.1 Damill

Under godkännandeprocessen etablerade en kontakt med avtalsansvarig på SJ, men det var Stab Trafiksäkerhet på SJ som hade det sista ordet innan tillståndet beviljades. Innan mätutrustningen kunde monteras på vagn krävdes ett godkännande från SJ. En tillståndsansökan gällande montage av mätutrustningen togs fram av Damill och som sedan fick godkänt av SJ.

5.1.2 D-Rail

Montage av D-Rails sensorsystem på Tågkompaniets tåg X62 och X-trafiks tåg X50 godkändes efter upprättade installationsbeskrivning som godkänts av Transitio (fordonsägare), Norrtåg (som är beställare och som ägs av Regionala kollektivtrafikmyndigheterna (RKM) i Norrbotten och Västernorrland, Länstrafikbolaget Västerbotten och Region Jämtland Härjedalen), Tågkompaniet (som kör Norrtågs trafik), X-trafik (som är RKM Region Gävleborg) och Euromaint (tågunderhåll). Tillståndsansökan har även bedömts av Transportstyrelsen som en icke väsentlig förändring av fordon vilket medför att CSM-RA inte behöver utföras. Systemet är även 100 % reversibelt och inga

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 23 (50)	

modifieringar eller inkopplingar förutom strömförsörjning påverkar fordonet. Systemet är ansvarsförsäkrat och ägt av D-Rail.

5.1.3 Perpetuum

Perpetuum är ett redan beprövat system och har tillståndsgodkännande bl.a. i Storbritannien, varför proceduren med ansökan och tillståndsgivning genomfördes enligt gängse krav och redan utförda riksbedömningar.

5.2 Mätningar

5.2.1 Damill

Damill AB har i detta projekt anpassat sin egenutvecklade mätutrustning Track-Logger till fungera i kontinuerlig drift placerad ombord på ett av SJ:s nattåg med hastigheter upp till 160 km/h. Givare och givarplacering har valts så att de ska kunna ge information som kan komplettera Trafikverkets upphandlade mätningar från Infranords spårmatande fordon IMV100 och IMV200 och där data ska kunna jämföras med delar av vad som idag sparas i Optram.

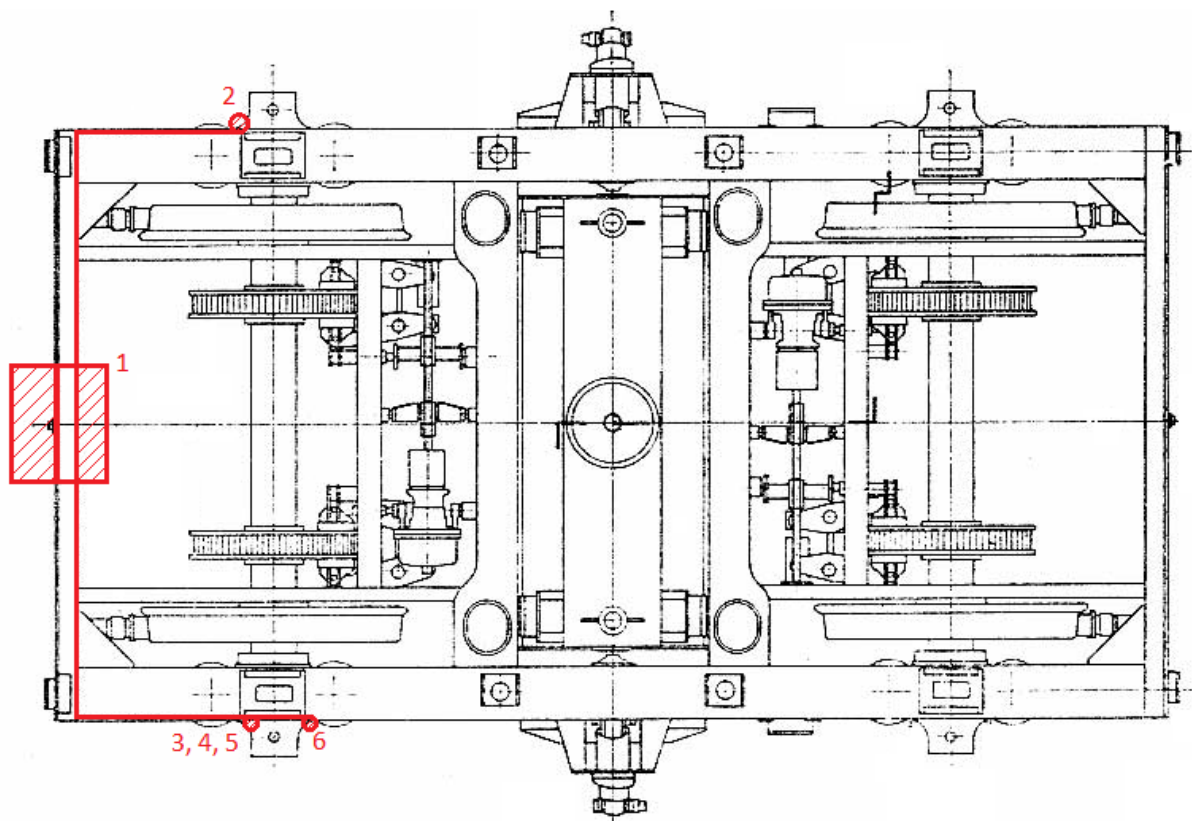
Det visade sig under projektet bli nödvändigt med omfattande programutveckling för att få godtagbar GPS-noggrannhet och för att kunna beräkna geometriska mått som höjdläge och skevning från de givare som används. Därutöver valde Damill också på eget initiativ att addera en helt ny sensor med gyro-funktion för att visa på möjligheter till mätning av rälsförhöjning eller långa skevningsfel. För projektet utlovades sedan leverans av mätdata under minst tre månader. Alla dessa punkter har genomförts med positivt resultat.

5.2.1.1 Montage av mätutrustningen

Mätutrustningen monterades 2018-06-19 vid axel 2 på vagn 5408. Detta är en av de BF4-vagnar som under hela mätperioden ingått i ett av de nattåg som trafikerar sträckan Stockholm – Luleå.

Utrustningen monterades enligt Figur 10.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 24 (50)	



Figur 10. Placering av mätsystemets komponenter. 1= mätväskan, 2= vänster accelerometer, 3= höger accelerometer, 4= lateral accelerometer, 5= gyrot, 6= GPS-mottagare.

5.2.1.2 Mätning - beräkning - leverans

När mätsystemet är i drift lagras mätdata initialt på en lagringsenhet som är sammankopplad med mät datorn. Insamling av mätdata har skett från ett tåg under två resor per vecka på sträckan Luleå-Stockholm. Lagringsenheten har hämtats från tåget minst veckovis när det befunnit sig på lämplig station. Rutiner har utvecklats i samråd med bangårdspersonal för att dessa hämtningar kan ske både säkert och snabbt och utan att störa tågens tidtabell. Efter hämtning laddas datat in till analys-PC på kontoret där GPS-positionering översätts till spårkilometer och där signalerna omvandlas till önskade spårparametrar. Inkommande mätvärden har sparats med ca 3 cm intervall i spåret, men sedan räknas de om till meterupplösning för att begränsa datamängden. Dessa beräknade data har slutligen skickats till eMaintenance365 för lagring och presentation tillsammans med data från övriga datakällor såsom Optram.

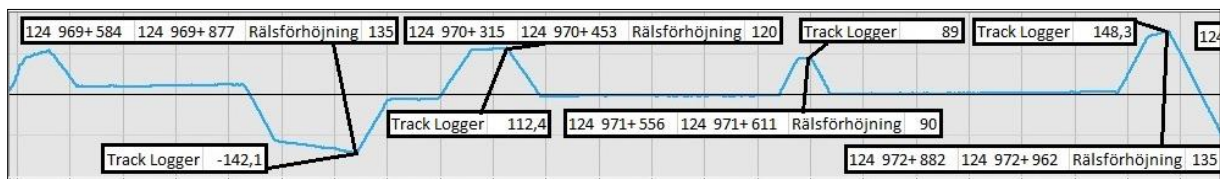
5.2.1.3 Mätsystemet funktionalitet under testen

Montaget av givare och mätutrustning har i stort sett fungerat bra under hela totala installationstiden från juli till december 2018 medan den i projektet utlovade mättiden egentligen bara sträckte sig fram t.o.m. september månad. En negativ avvikelse var den helt nya givaren med gyro som fick ett kortvarigt liv och gick sönder efter endast två veckors drift. Däremot fungerade den över förväntan under den korta tiden och gav mycket relevanta värden på rälsförhöjning, se figur 11,

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 25 (50)	

där uppmätta värden jämförs med anlagd rälsförhöjning hämtade från Trafikverkets Baninformationssystem BIS.

Att givaren gick sönder kan ha berott på ett fabriktionsfel eller på mekanisk överbelastning. Givaren som är relativt kostsam är numera utbytt, men inbyggnaden kommer också att ses över innan fler mätningar genomförs. Den hann inte användas mer i det aktuella projektet.



Figur 11. Diagram av rälsförhöjningar uppmätta med Track Logger i jämförelse (blå linje) mot anlagd rälsförhöjning enligt BIS. Anlagd förhöjning är riktvärde och kan inte antas vara exakt facit men ger en indikation om var verkligt värde bör ligga.

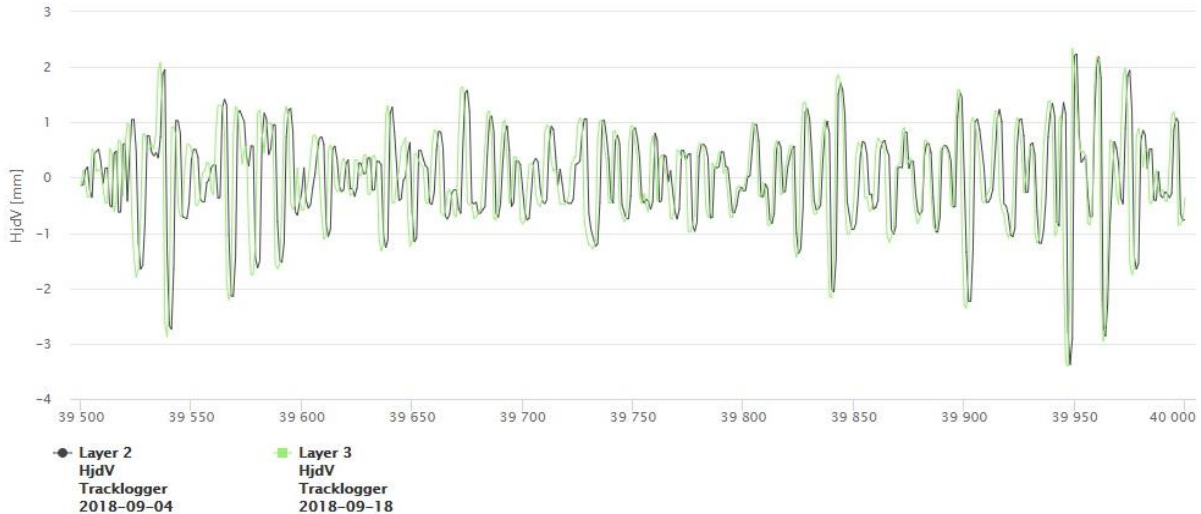
Under en vecka i september 2018 (v.37) demonterades delar av systemet för översyn vilket gav ett tillfälligt avbrott i mätserierna.

Förutom under det nämnda avbrottet så har minst en mätning per vecka av sträckan Stockholm – Luleå (tur och retur) levererats till projektet under hela utlovad mätperiod 1 juli - 30 september 2018.

När det kommer till den allmänna kvaliteten på mätningarna så kan man bedöma den utifrån figur 12. Där visas två mätningar med 14 dagars mellanrum och där spårhöjd beräknats utifrån accelerometer-värden längs en bit av spåret. Diagrammet visar en 500 m lång bansträcka med mycket bra repeterbarhet både av galler amplitud och spårposition. Positionen baserat på GPS-mottagare ligger faktiskt inom en så liten spridning som ± 1 meter. Accelerometersignalen som används för att beräkna höjdläge för det vänstra hjulet har längs samma sträcka gett en beräknad höjd med så liten spridning som $\pm 0,1$ millimeter.

Systemet har alltså genererat mycket lovande resultat. Ska man nämna några ännu saknade funktioner så är det t.ex. en funktion för att hantera GPS-bortfall i tunnlar.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 26 (50)	



Figur 12. Två mätningar och beräkningar av höjdläge för vänster hjul på samma sträcka utförda 2018-09-04 och 2018-09-18. De två graferna sammanfaller nästan helt.

5.2.1.4 Leverantörens visningsverktyg

För att kunna testa nya algoritmer för positionering och höjdbestämning så behövde Damill även utveckla ett eget visningsverktyg. Det är ingen leverabel i projektet där presentation av mätdata hanteras av eMaintenance365 AB. Visningsverktyget hos Damill AB genererar genererar grafer över valda spåravsnitt vid flera valfria mätesor och där man det går att växlar mellan alla tillgängliga mätetal och även har länk till flyg/satellitfoto för varje studerad spårmeter. Valbara parametrar är:

- Höjdacceleration för vänster och höger räl
- Höjdläge för vänster och höger räl
- Lateral acceleration för axel
- Lateralt läge för axel,
- Rälsförhöjning (enligt gyro)
- Skevning
- Fordonshastighet

5.2.1.5 Verifiering i spår

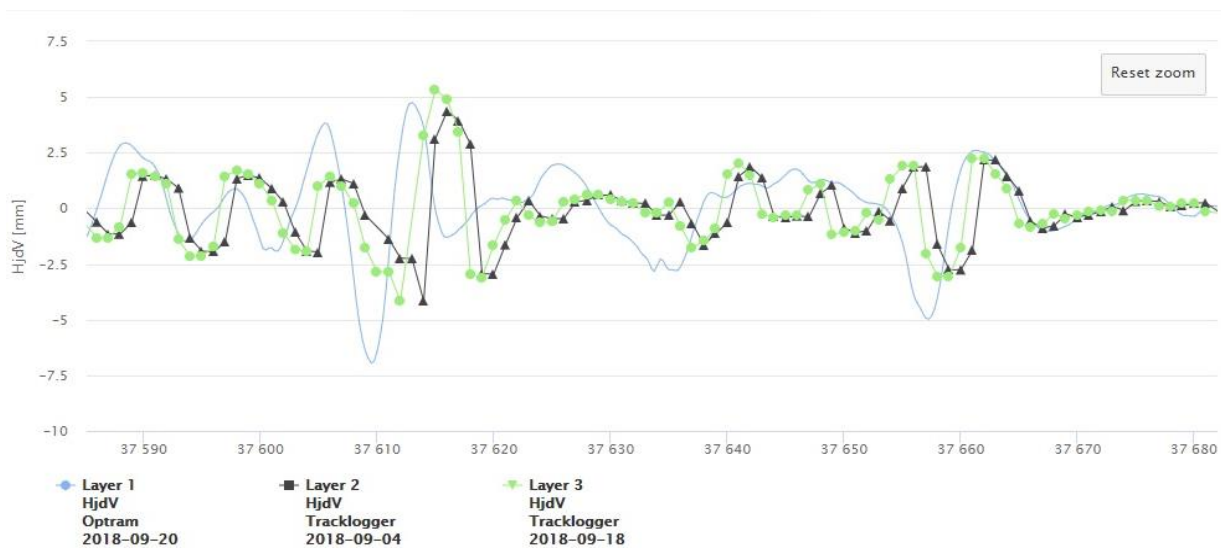
Under projektets gång har Damill AB vid ett tillfälle besökt Infranord Älvsbyn för att diskutera mätvärden på bandel 124 (Bastuträsk-Boden) och söka orsaken till vissa observerade förändringar. Under besöket diskuterades bl.a. några underhållsåtgärder som gjorts under projektets mätperiod. Damill AB kunde då på plats bekräfta att de diskuterade underhållsåtgärder gett påverkan i mätutslagen. Detta genom att analysera amplituderna på avvikelserna före och efter utförd åtgärd.

5.2.1.6 Leverantörens verifiering mot Optram, (Bessy, Ofelia)

Direkta jämförelser gentemot Trafikverkets egna mätningar har inte varit möjligt som tänkt i det web-baserade Optram eftersom numeriska data på tillräcklig detaljnivå saknas. Däremot har eMaintenance365 till sitt visningsverktyg E365 ANALYTICS fått tillgång till underliggande mätdata för

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 27 (50)	

Optram. Det ger då data med full upplösning på 25 cm mellan avläsningarna. Med sådana data kan Track Logger och Optram-mätningar plottats ovanpå varandra, se exemplet i figur 13, där Optram-data från IMV200 använts. Här ser man att GPS-kordinaterna i det aktuella fallet varierar inom ± 2 meter mellan systemen, men i andra fall har upp till ± 40 m kunnat ses. Tittar man på skillnaden i spårhöjdvärden i figur 13 ser man att Track Logger har mycket god repeterbarhet mellan två olika resor och att platserna med förhöjda värden verkar överensstämma med Optram, men att amplituden kan skilja upp till ± 3 mm vid stora utslag. Detta är vid extremfall. Annars ligger värden ofta inom ± 1 mm. Man ska i den här jämförelsen betänka att mätsystemen är monterade i två fordon med ungefär samma axellast på 14-15 ton men att hastighet och ofjädrad massa i axlarna kan skilja dem åt och att det inte är självklart att de ska ge samma mätutslag. Hastighet anses normalt ha liten påverkan på utslaget vid spårlägesmätning men här handlar det om ganska stora hastighetsskillnader. I de studerade spårlägesdata verkar mätvagnen ha kört 100 km/h medan Track Logger körts i 160 km/h. Fortsatta jämförelser är därför motiverade om man vill få en grundlig förståelse för systemens inbördes förmåga att se spårlägesfel.



Figur 13. Höjdläge för vänster hjul uppmätt av Track Logger i jämförelse mot Optram. Track Logger redovisas med data från 2 olika mättillfällen.

5.2.2 D-Rail

5.2.2.1 Montage av mätutrustning

D-Rails sensorsystem monterade på Tågkompaniets tåg X62, men även på och X-trafiks tåg X50.

5.2.2.2 Funktionalitet under testen

D-Rails mätsystem är aktiv 24-7-365 sedan installation i maj månad 2018. Batterikapacitet på sensor i dagsläget bedömt till att kunna fortsätta vara aktiv utan att laddas minst ett år till (januari 2020).

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 28 (50)	

Laddning av sensorn vid behov tar ca 1 timme och utförs på fordonet utan att "lådan" behöver demonteras. Därefter håller batterikapaciteten två år till nästa laddning behövs.

Strömavtagarmonterade sensorer stängdes av manuellt via molnet i juli p.g.a. ett fabriktionsfel. Då versionen av systemet redan var föråldrat bestämdes det att fortsatta kontaktledningsmätningar och analyser ska ske på X-trafiks fordon med den senaste versionen av systemet (version 2).

5.2.2.3 Datalagring – dataöverföring

Datalagring sker i moln med backup.

Överföring sker med Bluetooth 5 mellan mät dator och dator inne i fordonet. Kommunikation sker med GSM (Globalt System för Mobil kommunikation) på dator inne i fordonet till molnet. Alla filer säkerställs att de kommer till molnet innan de raderas från fordonet. Dataöverföringen är i realtid. För att garantera att data överförs sker backup/ fallback som buffrar alla filer vid dålig mottagning på nätet.

5.2.2.4 Leverantörens visningsverktyg

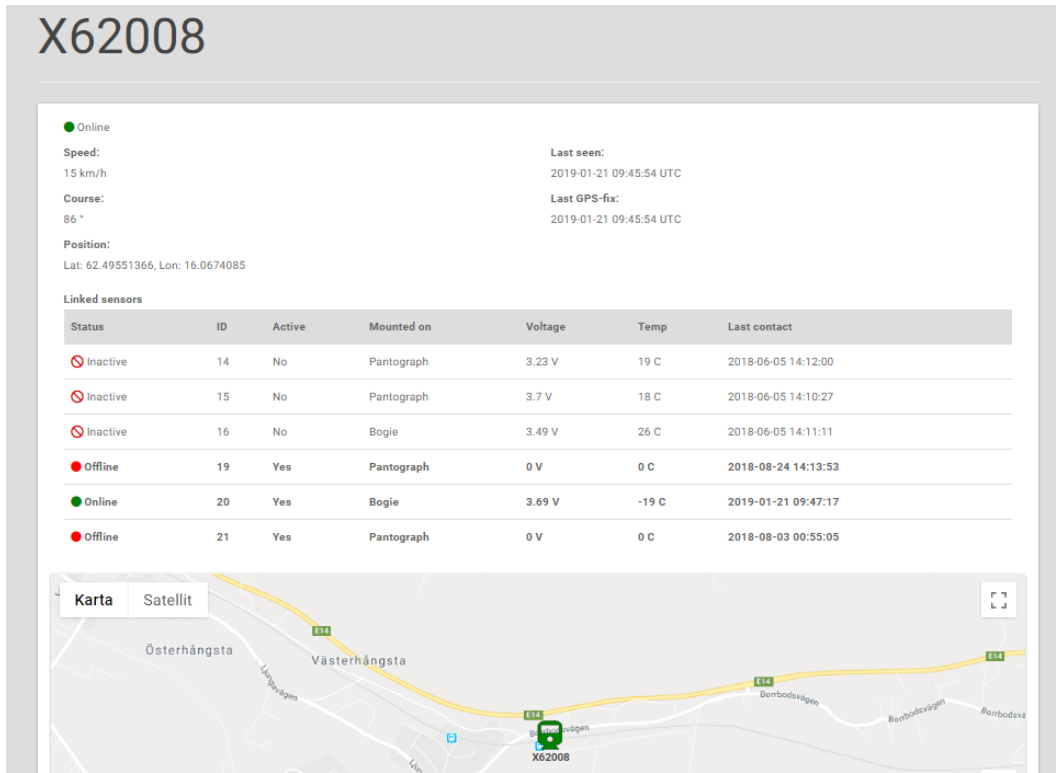
En portal har utvecklats av D-Rail parallellt med projektet för att hantera och visualisera analyser av mätdata. Portalen är placerad i ett eget moln och hämtar kontinuerligt data från molnserver för datalagring. Portalen hanterar kunder, fordon, sensorsystem, skapar unika larm med uppföljning och kommunikationsmöjligheter. Portalen visualiserar mätningar och analyser på karta och grafer, se Figur 14.

Portalen har importerat GIS data från Trafikverket för att kunna göra djupare analyser på t.ex. vissa typer av växlar eller typer av banbyggnad. Även mätvagnsdata finns importerat för att kunna jämföra senaste mätvagnsmätning på samma position som analyserats av D-Rail.

Visningsverktyget är en hemsida som går att nå från vilken enhet som helst som har internetuppkoppling. Visningsverktyget är uppbyggt för att skalbart kunna hantera enorma volymer data och analyser men att med ett användargränssnitt som är enkelt att lätt se de mest kritiska sakerna och att lätt kunna planera olika larm med hjälp av sortering och kategorisering.

Larmen är även enkla att förstå var de är och vad de betyder. Pågående uppbyggnad i portalen skapar samma larm som skapas med avseende på nivåer och kategorisering enligt gällande teknisk dokumentation för kontroll av banunderbyggnad hos Trafikverket. Detta medför automatiska larm skapade i portalen med realtidsinformation som idag kan ta veckor eller månader att få analyserade. Osäkerheten som idag finns med mätvagnen på + -5m (+- 10m upp till 25m har observerats) minskar till ca 2m med hjälp av GPS-korrelerad data och flera mätningar av samma larm under kort tid för att precisera positionen.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29		Sida 29 (50)



Figur 14. Visningsportal

5.2.2.5 Verifiering i spår

Få verifieringar har utförts i spår med avseende på mätningar via Tågkompaniets fordon. Infranord har dock verifierat ett kontaktledningslarm i strax söder Örnsköldsvik på D-Rails begäran. Detta visade sig vara ett krokigt tillsatsrör och som föranledde en akut reparation som med största sannolikhet förhindrade en kontaktledningsnedrivning (se Figur 15).

Andra mätningar som D-Rail utfört utanför projektet eP214 ImpINFRA på t.ex. tunnelbanan i Stockholm och X-Trafik i Gävleborg kan påvisa och verifiera att D-Rail detekterat avvikelser (larm med avseende på säkerhets och underhållsnivå). I SL:s tunnelbana bistod D-Rail MTR att hitta en specifik defekt i rälsen som skadade hjulen. Skadan lokaliserades som en defekt skarv på bron till Slussen. Andra exempel på verifiering är underminering i spår norr om Gävle som skapade larm i portalen (se Figur 16).

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 30 (50)	



Figur 15. Krokigt tillsatsrör, stolpe 5-3.



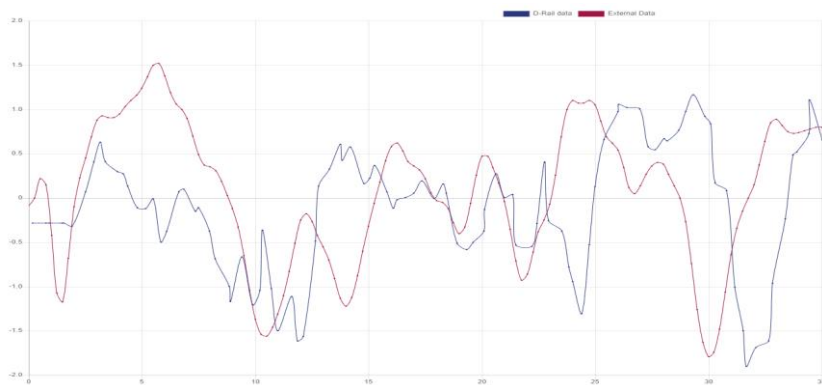
Figur 16. Detekterad avvikelse i plankorsning, nedböjning av räl.

5.2.2.6 Leverantörens verifiering mot Optram

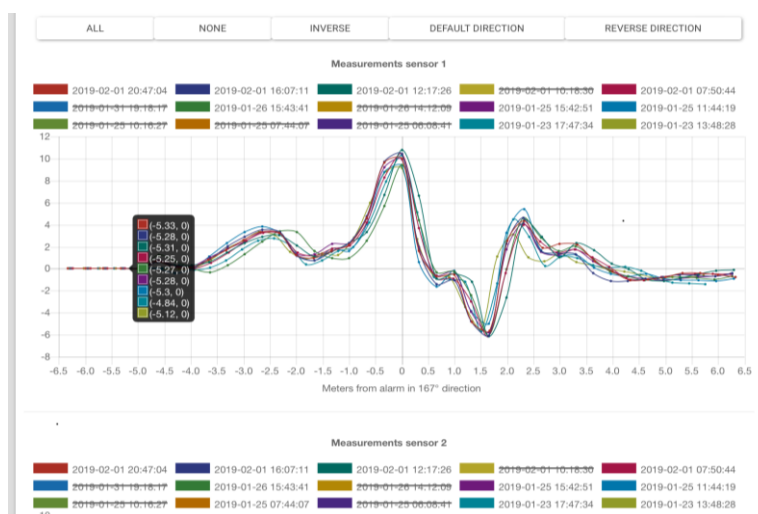
Verifieringar mot Optram har initierats med mycket goda resultat och har genomförts i egen regi på sträckan Gävle-Ockelbo. En tydlig likhet på mätresultat kan verifieras. D-Rail hävdar att de kan se och automatiskt larma vid de nivåer som de gällande tekniska bestämmelserna i TDOK 2013:0347 kravställer. Det betyder att avvikelserna för spårläget i realtid automatiskt, kan skapa beslutsunderlag med samma noggrannhet som mätvagnen på mätningar i 1-25 m. De larm som skapades på relativa avvikelser i amplitud i D-Rails portal kan istället skapas direkt för

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 31 (50)	

underhållsnivåer och kritiska nivåer som kräver som kräver omedelbar åtgärd. Detta har provats i X-Trafik fallet i slutet av projektet med mycket goda resultat. Majoriteten av de larm som fanns i Bessy kunde konstateras med samma klassning och typ av D-Rail och visualiseras som larm i portalen. Där kan utvecklingen av avvikelser följas upp för att säkerställa att avvikelserna inte eskalerar till högre nivå. Det framgår tydligt av grafen i figur 17 att det är fullt möjligt att uppmäta liknande precision på spårläget från ett vanligt passagerartåg. Dock kan det konstateras att förutom att vi ser mer tack vare frekvensen av mätningar verkar vi även kunna se fler larmtyper då vi mäter med högre upplösning än mätvagnen. Att det skiljer i slutet av grafen (fasförskjutning mätningarna emellan) är att tåget antagligen förändrat hastigheten under dessa 40 meter. Mätvagnen kör i 90 km/h emedan Tågkompaniet kör upp till 180 km/h. Data placeras/ positioneras dock väldigt exakt på karta men just i denna jämförelsegraf är det svårt att mappa meter mot meter då vi i början av grafen tar ingångshastigheten och räknar 40 meter för båda mätningarna (vår och Optram) på startläge km+m .



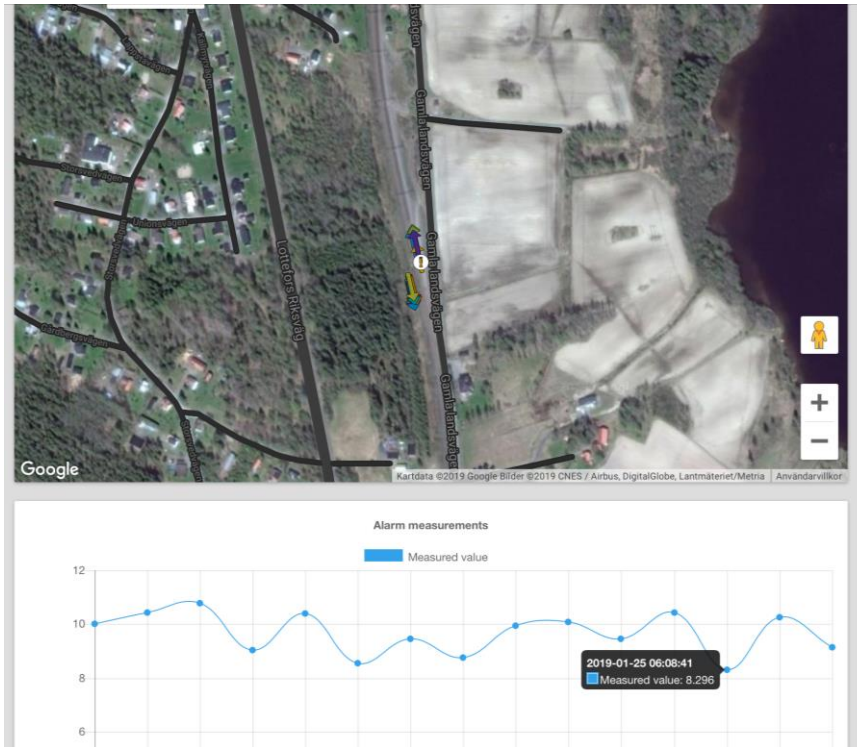
Figur 17. Defekt skarv. Röd linje är Infranords mätvagn IMV200 – Höjd kortvåg räl. Blå linje är D-RAIL (i trafik) – mätning vertikal på vänster räl. Skalan till vänster är höjd av räl i millimeter. OBS! att det är 4 månader mellan Optram och D-Rails mätserie.



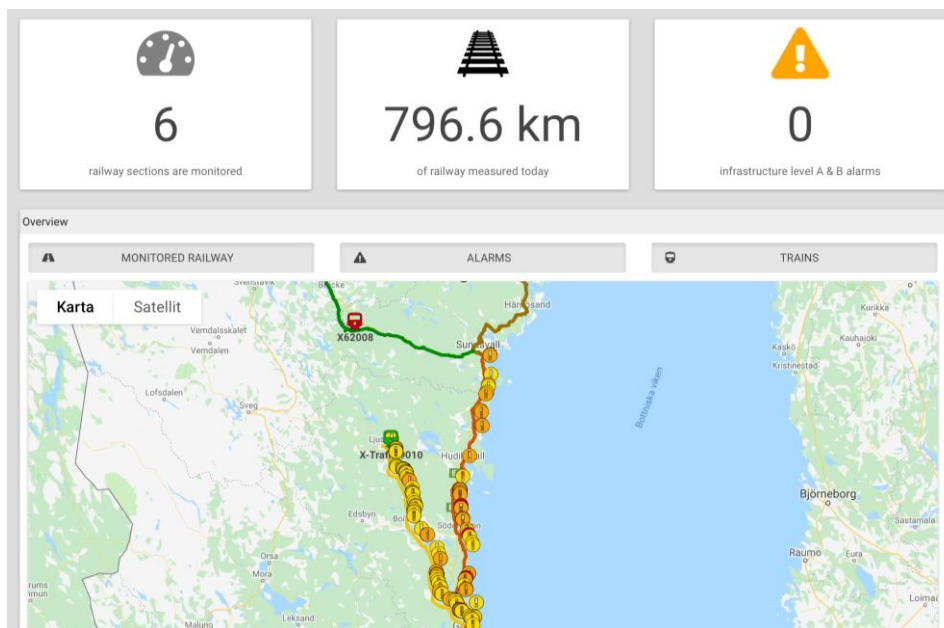
Figur 18. Exempel på mätdata vid skevning 3m bas. Varje streck är en individuell mätning av felet. Tydligt framgår reproduktionsförmågan hos systemet. Detta larm klassades automatiskt till en underhållsnivå.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA	Projekttitel Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 32 (50)

Figur 19 visar larmets position och amplitudförändring över tid.



Figur 19. Larmets position och amplitudförändring över tiden.



Figur 20. Visar en översikt av bandel 243, 217, 218 och 235 med annonserade aktiva larm.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 33 (50)	

5.2.3 Perpetuum

Perpetuum har använt data från Trafikverket för att utveckla sina algoritmer med målet att få en 90 % säkerhet på genererade larm.

5.2.3.1 Montage

Perpetuum är monterad på SJ:s X2000.

5.2.3.2 Funktionalitet under testen

Generellt så indikerar systemet tydligt platser med rapporterade fel. Ett fåtal rapporterade skevningsfel indikeras dock inte av systemet. Intressant att undersöka vad detta beror på.

De indikationer som erhålls är vanligtvis relaterade till spårlägesfel som också kan relateras till andra felsymptom som t.ex. lösa eller saknade befästningar.

I många fall så verkar åtgärderna av felsymptomen ha liten eller kortvarig effekt på uppmätta vibrationsnivåer.

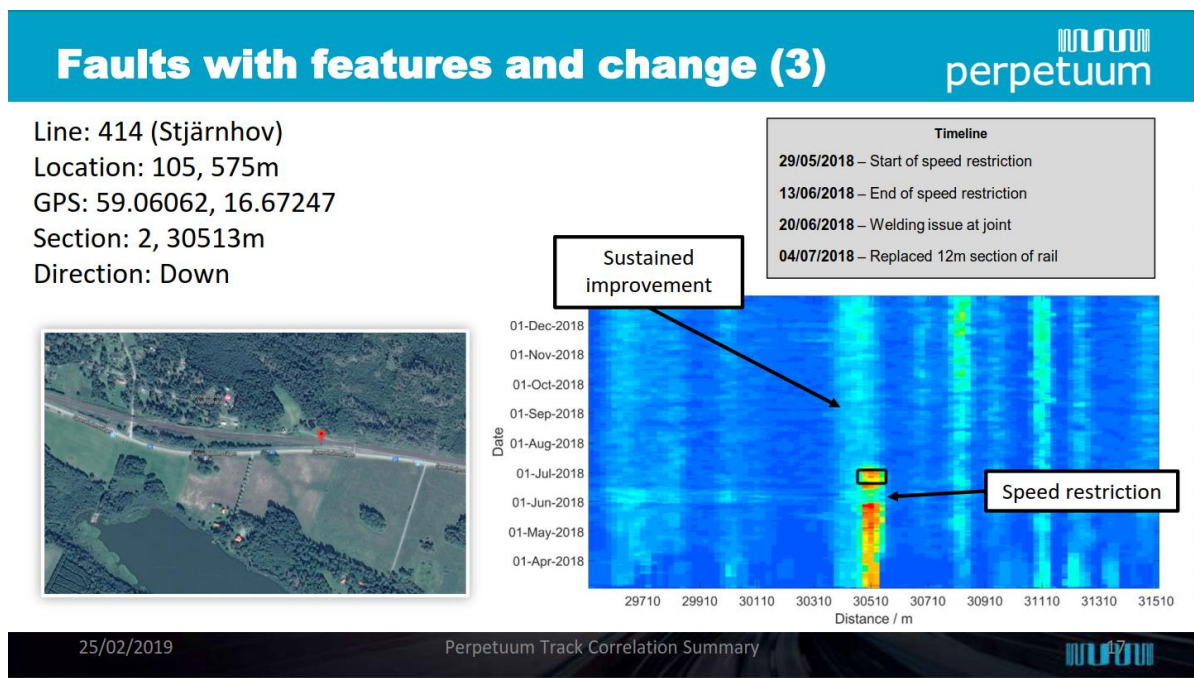
Det finns dock exempel på åtgärder som har gett en snabb och långvarig effekt. Intressant att undersöka vad som karakteriserar effektiva underhållsåtgärder.

5.2.3.3 Datalagring – dataöverföring

Enligt Perpetuum produktblad. - länk

5.2.3.4 Visningsverktyg

Perpetuum har en webbportal för att presentera data i ett kartgränssnitt, se figur 21.



Figur 21. Perpetuums webbportal.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 34 (50)	

5.2.3.5 Verifiering i spår

Ingen verifiering har genomförts i spår, utöver avstämning mot karta för att identifiera olika anläggningstyper som t.ex. broar, spårväxlar och plankorsningar för att verifiera vissa mönster i data.

5.2.3.6 Verifiering mot Optram, Bessy och Ofelia

Data från Trafikverket har under projekttiden varit:

- Öppna data från Lastkajen som Perpetuum själva hämtat, t.ex. för att relatera anläggningstyper till mätdata insamlad via Perpetuum samt positionering från GPS till km+m
- Besiktningsdata (insamlad manuellt och via mätvagn) med åtgärder kopplade till bana för bandel 414 och 416 för att kunna relatera händelser och tillstånd i Trafikverkets data med mätdata insamlad av Perpetuum.

Den 29 mars ska en rapport levereras av Perpetuum där verifiering mot rubricerade datakällor presenteras.

5.3 Analys och molntjänst

Jämförelse av mätningar från samma delsträckor har endast kunnat utföras.

Data som levererats från Track-Logger är i kända parametrar för spårlägesfel som höjd, sida, skevning, RoV. Levererade data från detta system går att jämföra mot sig själv om man ser på flera körningar och enskilda parametrar och kan jämföras mot Optram. Dessa funktioner för jämförelse möjliggörs av molntjänsten.

Data som levererats från D-Rail är i form av avvikelser utan felmoder och slitagedata för hela passager. Data är processat och har ingen direkt relation till kända parametrar för spårlägesfel vilket gör jämförelse mot Optram omöjlig. Tjänsten möjliggör jämförelse av avvikelserna från D-Rail för att ge användaren möjlighet att definiera vilka felmoder som kan identifieras av systemet.

5.3.1 Osäkerheter i datakällor

Positionering levererad av de olika systemen representeras av GPS-koordinater samt av Trafikverkets spårmeter system. Noggrannhet av spårmeter position varierar då synkronisering av spårmeterposition i vissa fall måste göras manuellt i mättågen eller så hämtas det från GPS-positionen vilken har en egen osäkerhet och har sedans anpassas till spårmeter systemet. För att undvika dessa osäkerheter används en kompensation på +/- 20 spårmeter för att öka chansen att eventuella extremvärden eller felmoder från samma position kan jämföras mellan körningar och system.

Amplituder och brus skiljer sig mellan systemen då de olika systemen är monterade på olika sätt samt på olika typer av fordon. Detta begränsar direkt jämförelse mellan systemen till positioner med extremvärden eller felmoder.

Informationskvaliteten hos Bessy och Ofelia kan variera beroende på källa till inrapporterade anmärkningar och fel. Därför bör en känd källa användas för jämförelser mot dessa system. En källa

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitlel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 35 (50)	

med konsekvent informationskvalitet för Bessy-anmärkningar är Optram då dessa genereras automatiskt vid mätning och har fördefinierade felmoder.

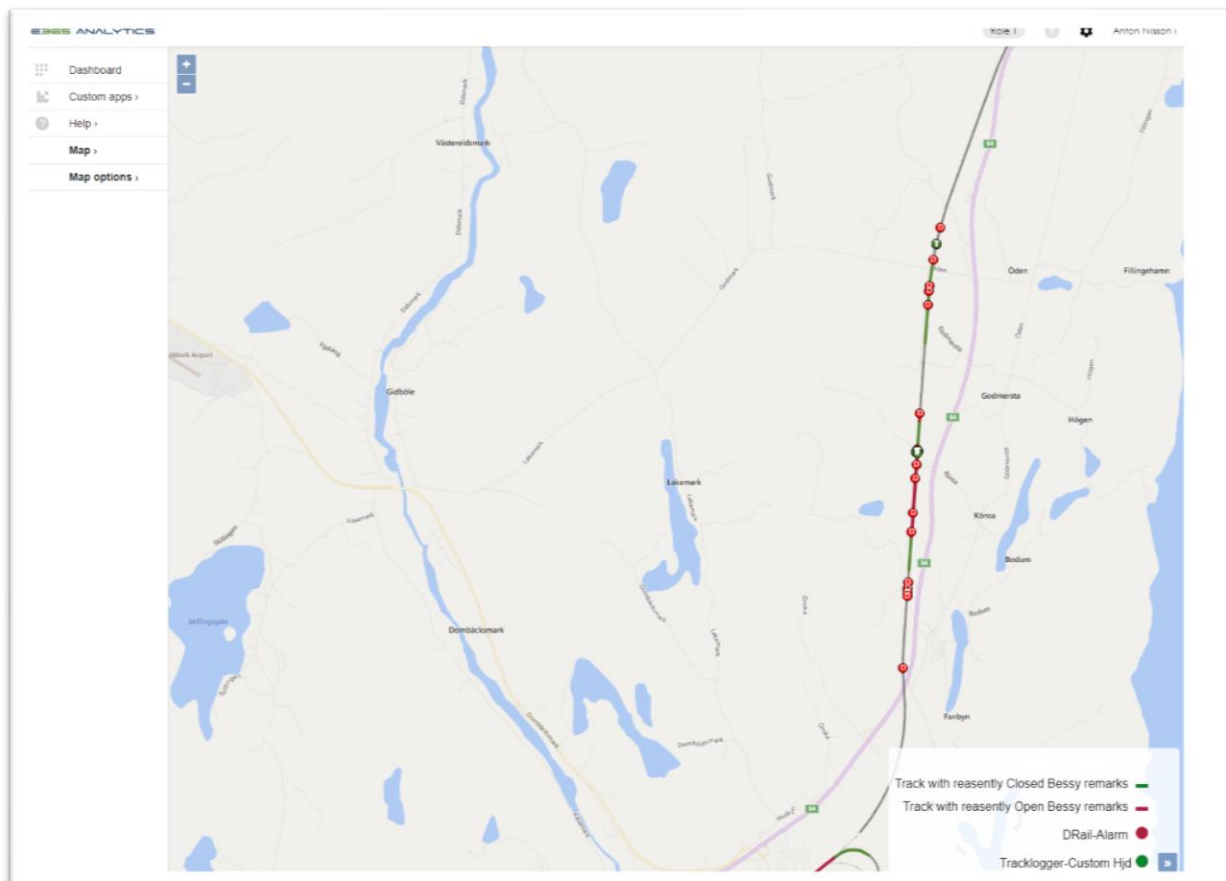
5.3.2 Överensstämmelse D-Rail, Track-Logger och Bessy

Genom att använda en karta och olika lager i ett GIS-system kan larm från de olika systemen visualiseras samtidigt för bättre översikt av status på rälen. Korskörning av systemen gör det möjligt att presentera larm/anmärkningar i närområdet av intressanta platser. Användaren kan även själv definiera gränsvärden för parametrar och då presenteras dessa tillsammans med övrig information på kartan.

I Figur 22 presenteras larm från D-Rails system som röda prickar med ett D på och data från Damills Track-Logger som gröna prickar med ett T på. I Figur 22 har användaren valt att presentera punkter med höjdvärden på över 4mm. Rälen representeras av gråa, röda eller gröna linjer. Färgerna indikerar om representerar besiktningsanmärkningsstatus för rälen där röd betyder att det finns besiktningsanmärkning på sträckan som inte är åtgärdad, grön att det har funnits besiktningsanmärkning som har åtgärdats senaste sex månaderna eller grå om det inte finns besiktningsanmärkning åtgärdad inom de sex senaste månaderna.

Det skall noteras att alla typer av besiktningsanmärkningar kommer att påverka färgen på rälen. Beskrivningen hos anmärkningarna från Trafikverket kan vara svårtolkade och kan därmed skiljas från de som undersöks i detta projekt.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 36 (50)	

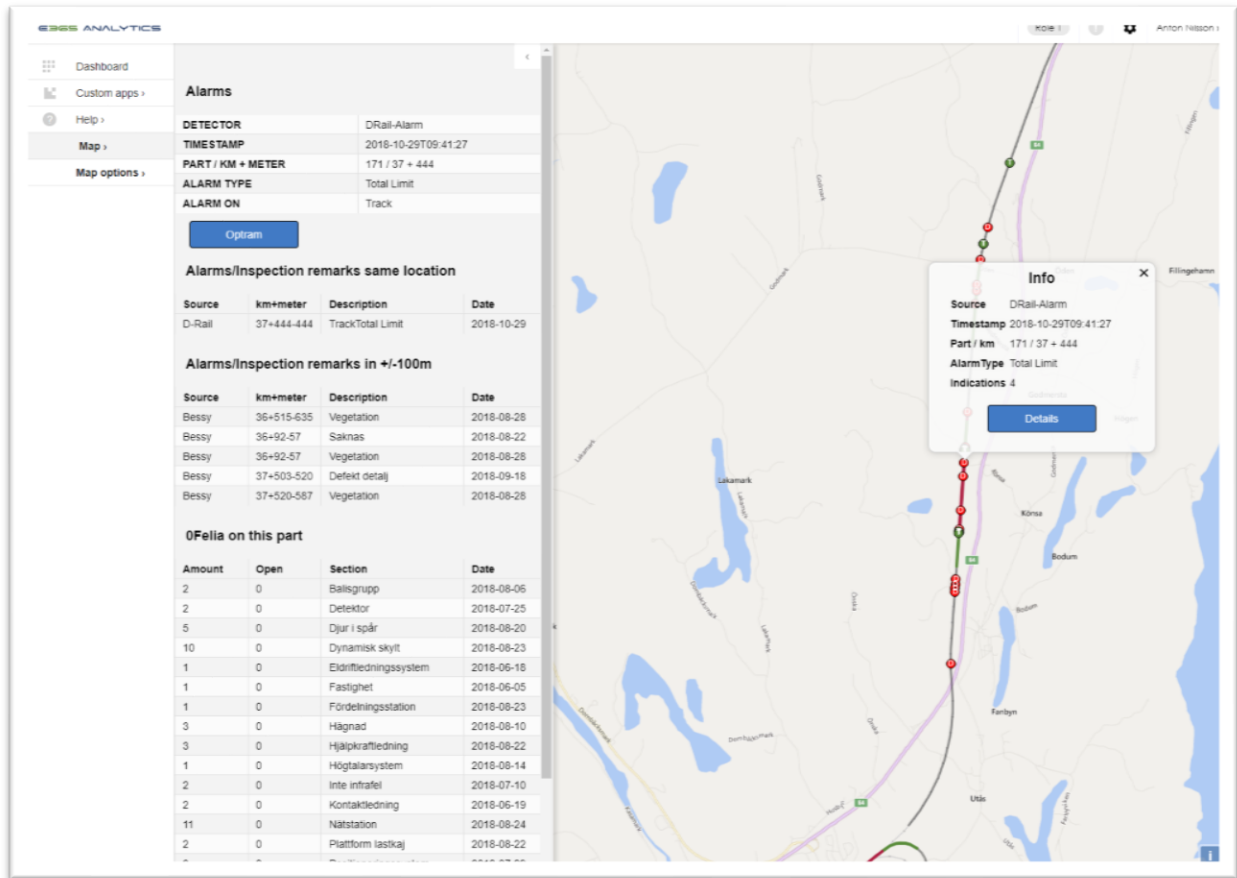


Figur 22. Jämförelse D-Rail (D), Track-Logger (T) och Bessy

De gröna prickarna är del av det användardefinierade gränsvärdet på Höjd 4mm. Detta gränsvärde kan enkelt ändras i kartans inställnings flik, där kan även användaren välja vilken information som ska presenteras på kartan.

Mer information om objekten på kartan får man genom att klicka på dem vilket öppnar först en pop-up med kortfattad information och mer detaljerad information tillsammans med en presentation av information från övriga datakällor inom samma område, se Figur 23.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA	Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur		
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0	
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 37 (50)	



Figur 23. Visningsverktygets möjlighet att presentera mer information om alla förekommande larm på sträckan samt pop-up-fönster – för mer detaljerad info om D- eller TL-larm.

Med hjälp av en sökbar lista av genererade larm/anmärkningar kan en användare enkelt se vilka källor som har identifierat larm/anmärkningar på samma position, figur 24. Detta verktyg gör det möjligt för användare att identifiera felmoder som kan upptäckas av de mobila systemen. Denna applikation är menad att ta emot avvikelser från olika system och jämföra mot kända avvikelser från Bessy eller övriga system. I detta projekt är det endast D-Rails mobila system som har levererat larm och därför endast de som indikerar för avvikelse i figur 24 och 25. Detta betyder inte att övriga system inte detekterar samma avvikelse men att dess information kräver vidare analys.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29		<i>Sida</i> 38 (50)

The screenshot shows the 'ePilot ANALYTICS' dashboard. On the left is a navigation menu with 'Dashboard', 'Custom apps', and 'Help'. The main area displays a search filter for 'BESSY' with fields for 'PART' (175), 'INSP TYPE' (M), 'DATE FROM' (2018-02-01), and 'DATE TO' (2019-02-28). Below the filter is a table of inspection records:

INSPECTION DATE	BDL	FR KM+ M	TO KM+ M	TYPE	D-RAIL	TRACKLOGGER	PERPETUUM
2018-09-19	175	497- 910	497- 911	RÄL-UIC 60	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2018-09-19	175	532- 408	532- 409	RÄL-UIC 60	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Below this is a detailed view for 'BESSY' with columns: REPORTED-RESOLVED, DESIGNATION (RÄL), TYPE (RÄL-UIC 60), POSITION (RÄL BÅDA SPÄRLÄGE), ANM. (SPÄRVIDD MAX PUNKTFEL), and NOTE (-). A 'D-Rail' section shows a table with columns: TIMESTAMP, BDL/ KM+M, DAY DIFF, ALARM ON TRACK, and STATUS. The status for the selected record is 'OPEN'.

Figur 24. AlarmList: Sökning på besiktninganmärkning av typ M.

Anmärknings/larm listas utifrån vald bandel, inspektionstyp och datumintervall. Övriga system som har indikerat en skada på samma position representeras av en ifylld cirkel. Grön om indikationen skett under samma tidsperiod eller gul om det är i närliggande tidsperiod. Detaljerad information av anmärkning/larm är tillgänglig genom att klicka på raderna, se Figur 24. I Figur 24 har andra raden klickats i boxen under andra raden ser vi utökad informationen från Bessy-anmärkningen och undertill larm från övriga system. För att definieras som samma position måste indikationer från övriga system maximalt ske 20 spårmetrar ifrån anmärkningens/larmets position. Detta för att kompensera för osäkerheter i positionering.

I figur 25 presenteras en sökning med det mobila systemet som källa och då hanteras information från Bessy likt från de övriga systemen och indikerar endast om det finns avvikelse på samma position som avvikelsen från det mobila systemet. Information om berörda anmärkningar presenteras genom att expandera raden. I Figur 26 visas det att besiktninganmärkningen som finns på samma position som D-Rail anmärkningen är för vegetation.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 39 (50)	

SELECT SOURCE	PART	INSP TYPE	DATE FROM	DATE TO	
DRail	171	All	2018-07-01	2018-07-28	SUBMIT

TIME STAMP	ALARM ON	BDL/ KM+ METER	STATUS	BESSY	TRACKLOGGER	PERPETUUM
2018-07-27	TRACK	171 / 104+ 884	OPEN	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2018-07-27	TRACK	171 / 109+ 195	OPEN	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2018-07-27	TRACK	171 / 109+ 716	OPEN	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2018-07-26	TRACK	171 / 26+ 561	OPEN	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

REPORTED-RESOLVED	DESIGNATION	TYPE	POSITION	ANM	NOTE
2018-08-22 -	BALLAST	BALLAST-M1	BALLAST	VEGETATION	HELA STRÄCKAN
2018-08-22 -	BALLAST	BALLAST-M1	BALLAST	VEGETATION	HELA STRÄCKAN

2018-07-25	TRACK	171 / 104+ 833	OPEN	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2018-07-25	TRACK	171 / 26+ 976	OPEN	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2018-07-24	TRACK	171 / 107+ 034	OPEN	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2018-07-24	TRACK	171 / 108+ 452	OPEN	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figur 25. AlarmList: Exempel på sökning av larm

5.3.3 Felutveckling - repeterbarhet

Lista av genererade anmärkningar från mättågen där man kan presentera mätvärden över tid från en mobil datakälla på samma position, se figur 26. På detta sätt kan man identifiera felmoder upptäckbara av den enskilda datakällan samtidigt som gränser för potentiella andra defekter på infrastrukturen kan fastställas. I applikationen "Tracklogger thresholds" kan man göra just detta. På grund av osäkerhet i positionering presenteras högsta och lägsta uppmätta värdet 20 meter från anmärkningens position.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA		Projekttitel Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0
Godkänt av ePilot styrgrupp		Godk. Datum 2019-04-29	Sida 40 (50)

KM	METER	DATE	REMARK	2018-07-02	2018-07-02	2018-07-13	2018-07-15	2018-07-15	2018-07-17	2018-07-17	2018-07-19	2018-07-19	2018-07-21	2018-07-21	2018-07-23
110	658	2018-02-15	HÖJD 1-25M	H 0.6-0.9 V 1-0.8	H 0.7-1.1 V 1-1	H 0.6-0.9 V 1-0.9	H 0.7-1.1 V 1-1	H 0.6-0.9 V 0.5-0.5	H 0.4-0.6 V 0.5-0.5	H 0.5-0.5 V 0.7-0.5	H 0.6-1.1 V 1-1	H 0.5-0.8 V 0.9-0.7	H 0.6-0.9 V 0.9-0.9	H 0.6-0.9 V 1-0.8	H 0.6-1.1 V 0.9-0.9
113	943	2018-02-15	SIDA 1-25M	0.7-1	1-1.5	0.7-1.5	1-1.6	1-1	0.8-1.9	0.8-1.1	0.9-1.9	1-1.5	0.4-0.9	1.3-1.6	0.7-1.6
98	400	2018-04-13	SIDA 1-25M	0.5-0.4	0.6-0.4	0.4-0.4	0.5-0.3	0.4-0.4	0.5-0.3	0.3-0.3	0.5-0.3	0.4-0.3	0.5-0.3	0.4-0.4	0.5-0.3
79	778	2018-08-06	HÖJD 1-25M	H 3.3-4.6 V 3.2-4.6	H 4.2-3.8 V 4.2-3.5	H 3.2-4.6 V 3.2-4.6	H 4.2-4 V 4.3-3.8	H 0.2-0.2 V 0.2-0.2	H 4.2-4 V 4.3-3.5	H 0.5-0.8 V 0.5-0.5	H 4.2-3.9 V 4.2-3.5	H 0.8-1.1 V 0.8-1	H 4.3-4 V 4.2-3.5	H 3.3-4.7 V 3.2-4.6	H 4.2-3.9 V 4.1-3.4
79	778	2018-08-06	HÖJD 1-25M	H 3.3-4.6 V 3.2-4.6	H 4.2-3.8 V 4.2-3.5	H 3.2-4.7 V 3.2-4.6	H 4.2-4 V 4.3-3.8	H 0.2-0.2 V 0.2-0.2	H 4.2-4 V 4.3-3.5	H 0.5-0.8 V 0.5-0.5	H 4.2-3.9 V 4.2-3.5	H 0.8-1.1 V 0.8-1	H 4.3-4 V 4.2-3.5	H 3.3-4.7 V 3.2-4.6	H 4.2-3.9 V 4.1-3.4
61	113	2018-08-06	HÖJD 1-25M	H 2.6-2.6 V 2.9-2.7	H 1-2.7 V 1.3-3.4	H 1.6-1.9 V 1.7-1.9	H 1.1-2.7 V 1.3-3.2	H 1.5-2 V 1.6-1.9	H 1.1-2.2 V 1.2-2.7	H 0.9-1.5 V 1-1.3	H 1.1-1.9 V 1.1-2.4	H 1.4-1.9 V 1.5-1.8	H 1.7-2.6 V 1.6-3.2	H 1.4-1.9 V 1.6-1.8	H 1.1-2.2 V 1.2-2.7
46	178	2018-08-06	SIDA 1-25M	0.4-0.7	0.6-1.2	0.6-0.8	0.6-1	0.5-0.8	0.6-0.9	0.4-0.7	0.7-0.8	0.4-0.8	0.7-1	0.5-0.9	0.7-0.9
37	611	2018-08-06	SKEVNING 3M	5.4-4.7	5.2-3.6	2.4-5.3	5.7-4	5.1-3.8	3.1-3.3	5.1-4.8	3-3.1	3.8-3.3	5.2-3.4	4.1-3.5	5.7-4
26	892	2018-08-06	HÖJD 1-25M	H 2.3-7.4 V 2.2-1.8	H 2.8-8 V 1.5-2.8	H 2.3-7.5 V 2.2-1.8	H 2.7-7.7 V 1.5-3	H 2.2-7.4 V 2-1.9	H 2.6-7.8 V 1.4-2.9	H 2.3-7.4 V 1.9-2.8	H 2.9-8 V 1.9-1.8	H 2.3-7.3 V 1.5-2.9	H 2.9-7.8 V 1.5-2.9	H 2.9-7.5 V 2.3-1.8	H 2.8-7.9 V 1.5-3
16	483	2018-08-06	SKEVNING 3M	4-6.5	4.4-3.9	3.8-6.1	4.4-3.6	3.1-5.4	5.7-4.7	3.2-5.9	5.8-4.6	4.3-5.6	5.7-4.6	0.8-1.1	3.9-3.8
6	783	2018-08-06	VERTIKAL ACCELERATION	H 6.1 V 6 L 3.3	H 3.9 V 3.1 L 2.7	H 8.9 V 7.4 L 7	H 3.9 V 3.2 L 2.7	H 9 V 7.4 L 5.2	H 4.6 V 3.6 L 3.4	H 5 V 5.1 L 4	H 3.7 V 2.7 L 3.2	H 6 V 6 L 4.3	H 8.1 V 5.5 L 7.3	H 7.1 V 6.4 L 4	H 4.9 V 3.3 L 4.4
113	951	2018-09-20	SIDA 1-25M	0.7-1	1-1.5	1.3-1.5	1-1.6	1.2-1.5	0.8-1.9	0.8-1.1	0.9-1.9	1-1.5	0.4-0.9	1.3-1.6	0.7-1.6
87	4	2018-09-20	SIDA 1-25M	1.1-1.1	0.4-0.3	1.1-1.1	0.3-0.4	1-1.1	0.3-0.3	0.9-0.9	0.3-0.4	1-1.3	0.3-0.4	1-1.2	0.3-0.3
46	178	2018-09-20	SPÄRVIDD MAX PUNKTFEL												
46	177	2018-09-20	SIDA 1-25M	0.4-0.7	0.6-1.2	0.6-0.8	0.6-1	0.5-0.8	0.6-0.9	0.4-0.7	0.7-0.8	0.4-0.8	0.7-1	0.5-0.9	0.7-0.9
12	696	2018-09-20	SPÄRVIDD MAX PUNKTFEL												
12	695	2018-09-20	SIDA 1-25M	0.4-0.4	0.5-0.5	0.5-0.6	0.6-0.6	0.5-0.6	0.4-0.6	0.5-0.4	0.5-0.5	0.5-0.4	0.5-0.5	0.3-0.4	0.5-0.5
90	8	2018-10-24	SIDA 1-25M	0.4-0.4	0.5-0.8	0.4-0.4	0.4-0.7	0.4-0.4	0.6-0.7	0.3-0.3	0.5-0.7	0.3-0.4	0.5-0.6	0.4-0.4	0.5-0.6
90	8	2018-10-24	SIDA 1-25M	0.4-0.4	0.5-0.6	0.4-0.4	0.4-0.7	0.4-0.4	0.6-0.7	0.3-0.3	0.5-0.7	0.3-0.4	0.5-0.6	0.4-0.4	0.5-0.6
90	1	2018-10-24	SIDA 1-25M	0.4-0.3	0.8-0.9	0.4-0.3	0.6-0.7	0.4-0.4	0.6-0.7	0.3-0.3	0.6-0.7	0.3-0.4	0.6-0.6	0.4-0.3	0.5-0.6

Figur 26. Genererade anmärkningar från mättågen, jfr mobil datakälla på samma position. Mätparameter Höjd Höger.

Varje rad i listan tillsammans med första fyra kolumnerna representerar en anmärkning och övriga kolumner mätvärden från det mobila systemet. Värderna från det mobila systemet som presenteras är av samma parameter som anmärkningen varnat för. Värderna som överskrider av användaren valt tröskelvärde presenteras med grön bakgrund.

Applikationen kan även användas för liknande jämförelse mellan olika passager från samma datasystem (Figur 27 Mätparameter skevning). Genom att söka efter positioner där systemet överskridit valt tröskelvärde under en passage för vald parameter utgörs raderna medan kolumnerna på representerar värden från övriga passager likt med besiktninganmärkningar. Alla värden i kolumnerna utgörs av extremvärdet inom en sträcka på 20 meter för att undvika multipla representationer av enskilda skador. För jämförelse mot övriga körningar inkluderas intilliggande 20 meter för att kompensera positionerings osäkerhet.

Dokumentnr eP20-214-ImpINFRA	Projekttitel Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur		
Författare Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	Datum 2019-03-08	Spridning ePilot2.0	
Godkänt av ePilot styrgrupp	Godk. Datum 2019-04-29	Sida 41 (50)	

KM	METER	DATE	REMARK	2018-07-02	2018-07-02	2018-07-13	2018-07-15	2018-07-15	2018-07-17	2018-07-17	2018-07-19	2018-07-19	2018-07-21	2018-07-21	2018-07-23
5	820	2018-07-23	SKV 4	1.6-3.7	1.4-4.1	1.1-4	3.1-4.8	1.7-3.9	1.7-4.5	1.1-3.2	1.1-3.8	1-3.2	1.8-4.8	1.1-3.4	1-4
25	880	2018-07-23	SKV 5.8	2.9-4.3	4-6.1	2.7-5.9	4.3-5.9	2.9-4.3	2.1-5.8	2.7-5.8	4-4.2	2.8-4.2	3.8-6	2.8-5.9	2.1-5.8
29	740	2018-07-23	SKV 5.4	1.1-3.1	4.8-3.7	3.9-2.7	4.4-3.4	4.1-2.8	5.4-4	4-2.7	1.7-4.2	5.4-2.8	4.8-3.8	5.3-2.8	5.4-4.1
35	520	2018-07-23	SKV 4.1	4.2-3.2	3.4-2.8	4.7-3.2	3.3-4.1	4.8-3.2	3.5-2.9	4-2.9	3.4-2.8	4.3-3.1	3.5-2.8	4.8-3.1	3.1-4.1
37	600	2018-07-23	SKV 5.7	1.4-4.7	5.2-3.6	2.4-5.3	1.7-4	5.1-3.6	3.1-3.3	5.1-4.8	3-3.1	3.9-3.3	5.2-3.4	4.1-3.5	5.7-4
45	750	2018-07-23	SKV 5	3-2.3	3.4-2	2.8-2.3	1.4-4.7	3-2.3	3.8-2.5	2.8-2.1	3.3-1.8	2.9-2.1	3.8-4.6	2.8-2.3	6.8-12.2
45	750	2018-07-23	SKV 12.2	3.1-2.3	3.4-2.3	2.9-2.3	4.4-4.7	3-2.3	3.8-2.5	2.8-2.1	3.3-1.8	2.9-2.1	3.5-2.2	2.9-2.3	6.8-12.2
45	840	2018-07-23	SKV 6.4	3-2	3-2.4	3-2	3-2.4	2.9-2	3.3-2.5	2.7-1.8	5-4.8	2.8-1.8	3.6-1.07.1	3-2	5.3-4.4
45	840	2018-07-23	SKV 4.2	3.8-3	4-2.3	3.5-2.8	4.7-2.3	3.5-2.8	4.2-2.2	2.9-2.2	3.8-2.2	3.1-2.3	4.2-2.3	3.8-2.3	4.2-2.3
47	800	2018-07-23	SKV 4.5	4.5-2.1	2.7-2.9	4.6-3.4	4.8-2.3	4.5-2.1	4.4-2.8	3.6-1.8	3.2-2.6	4.3-3.8	4.8-2.8	4.8-2.8	4.8-2.8
48	880	2018-07-23	SKV 4.8	3-2.7	4.8-2.8	3.7-2.8	4.2-3.1	2.4-2.6	3.8-2.7	2.9-2.8	3.4-2.9	2.4-2.8	4.1-2.8	3.8-2.7	4.8-3
73	120	2018-07-23	SKV 6.2	4.9-4.1	6.5-6.4	7-4.3	4.7-2.8	1.9-4.2	2.3-2.5	3.4-3.8	2.2-2.7	4.3-3.8	2.6-2.7	2-4.4	6.2-3.6
79	750	2018-07-23	SKV 4.2	1.3-2	1.8-1.9	3-1.2	4.1-1.3	0.3-0.3	1.8-1.8	0.5-0.8	3.9-1.9	0.7-1	4.1-1.3	3.3-1.4	1.8-4.2
80	880	2018-07-23	SKV 4.1	3.8-3.3	3.7-4.1	3.6-3.2	3.7-4.4	1.1-1.6	3.1-4.3	1.2-1.8	3.7-4	1.8-0.7	3.7-4	3.6-3.2	3.7-4.1
113	300	2018-07-23	SKV 6.5	0.8-0.6	1.1-1.1	0.9-0.8	1.2-1.1	0.9-0.9	1-0.9	0.7-0.7	1.2-1.2	0.8-0.8	0.7-0.5	0.8-0.9	3.1-4.5

Figur 27. Genererade anmärkningar för skevning.

5.4 Schablonberäkning nytta

Vid implementering av innovationer, förändrade arbetsätt och förändringar i mål och underhållsstrategier är en nyckelfråga; Hur ska man kunna visualisera vad uppnådd nytta är. För ägarna eller beslutstagarna är det oftast "Return on Investment"(ROI), dvs. för varje satsat krona, vad får jag tillbaka i form av vinst. Sedan avregleringen av järnvägen med början 1988, konkurrensutsättning, upphandlingsformer såsom funktionsentreprenader till fast pris så har detaljeringsgraden av den ekonomiska uppföljningen successivt hamnat på en sådan övergripande nivå att det är svårt att härleda tillbaka ROI. För att motivera förändringsarbete och implementering av innovationer är det viktigt att kunna beskriva, inte bara i generella termer såsom t.ex. minskade driftstörningar, utan också vad innovationen/metoden/strategin har genererat för nytta, helst i monetära termer. Med basis på D-Rails detekterade avvikelser "kontaktledning Örnköldsvik" med möjlig konsekvens; kontaktledningsnedrivning, tågstopp och tågförsening, upprättades förenklad kalkyl över vilka kostnadsbesparing blev av att ha upptäckt felet i tid.

Följande indata, antagande och kalkylmetoder användes.

- Medelreparationstiden vid ett fel ca 3,5 timmar, inställelsetid för att komma tillfelstället är två timmar (krav i avtal) och tid att avetablering antas också ta två timmar (summa 7,5 timmar) källa Ofelia (bandel 119):
 - Schablonantagande nr 1. tre personer behövs för att reparera felet, deras timkostnad är 350 kr/h som multipliceras * timkostnad 350 kr/h * 7,5 h = 7 875 kr
 - Schablonantagande nr 2. Produktionsutrustning (liftmotorvagn antas kosta 5 000 kr/timme), vilket ger en direkt underhållskostnad på = 37 500 kr
 - Schablonantagande nr 3. Inga materialkostnader.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29		<i>Sida</i> 42 (50)

- SUMMA för direkt underhåll (personal + produktionshjälpmedel + material) blir 45 375Kr
- medelförseningstiden 8 timmar, baseras från tidigare analys av Ofelia för bandel 119 mellan Boden och Luleå.
- förseningskostnad (Wiklund, 2003); är 30-85 kr/min, där spannet 30-85 kr/minut beror på hur banan är trafikerad. Omräknat till timmar blir detta 1 800 – 5 100 kr/h. Sedan 2003 har priset förändrats med 18,14%, vilket innebär att kostnaden 2019 är 2 125 -6 025 kr/h. Med följande antagande; att stråket Stockholm – Sundsvall trafikeringsintensitet ligger i mitten av ovan spann, så landar förseningskostnaden på ca 4 000 kr/h.
 - Schablonkostand för försening enligt antagande är $4\ 000 * 8 = 32\ 000$ kr
- SUMMA ca 80 tkr för åtgärda reaktivt underhåll.

Om dessa pengar istället använts proaktivt och enligt tumregeln att proaktivt underhåll är åtminstone tre gånger mindre dyrt än förebyggande så hade hypotetiskt 50 tkr kunnat användas för planerat förebyggande underhåll, vilket i sin tur genererat till minskat felavhjälpande underhåll.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 43 (50)	

6 Diskussion

6.1 Nuvarande strategi och behov av förändring

Idag saknar Trafikverket ett överordnat planeringsverktyg för drift och underhåll och hämtar in underhållsinformation via flera olika (separata) system såsom t.ex. Optram, Bessy och Ofelia. Det förekommer gemensamma analysmöten mellan Trafikverket (beställaren) och underhållsentreprenören (utföraren). Mötena hålls månadsvis per kontrakt och som underlag kommer används en anläggningsrapport från Trafikverket Järnvägssystem/underhåll som redovisar antal störningar, fel och besiktningsanmärkningar. På mötena överenskommes sedan vilka åtgärder som ska genomföras. Anläggningsrapportens data kan i vissa fall ha data som redovisar ett tillstånd på en anläggning som är mer än två månader gammalt. För att få ett bättre beslutsunderlag är ny teknik, såsom t.ex. mätning av tillstånd med mobil utrustning från reguljär trafik som kan mäta dagliga förändringar ett prioriterat område för utveckling. Sådana mätningar skapar ett större utrymme för att objektivt diskutera och föreslå rätt underhållsåtgärd.

6.2 Syfte

Detta projekt har undersökt och testat nya metoder för tillståndsovervakning av järnvägens infrastruktur med hjälp av mätsensorer monterade på tåg i reguljär tågtrafik. Detta i syfte att få:

- en ökad kostnadseffektivitet inom drift och underhåll för både infrastruktur och rullande materiell genom mer tillståndsbaserat underhåll
- förbättrad tillförlitlighet genom bättre funktions säkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet
- ökad tillgänglighet och robusthet genom minskade störningar, färre akuta fel samt effektivare felavhjälpning
- ökad kapacitet genom ökad tillgänglighet och robusthet samt förbättrad tillgänglighet
- Bättre resursutnyttjande

Sådana s.k. mobila mätsystem kan användas som komplement till ordinarie besiktnings verksamhet och leverera mer frekventare tillståndskontroller, bidra till ett bättre beslutsunderlag och succesivt bidra till att bygga upp en erfarenhetsbank som även kan ligga till grund för de flesta beställningar av reinvesteringar.

6.3 Nyttå

Mobila system för tillståndsovervakning bidrar till uppnå syftena, enligt ovan genom att:

- frigöra kapacitet i spår, dvs. fler gods- och passagerartåg kan släppas in på banan
- mäta i belastat spår dvs. de faktiska driftsförhållandena
- snabbare kontroll av att utförd åtgärd har medfört effekt samt hur bestående åtgärden är
- snabbare höja hastigheten efter stabilitetspåverkande arbeten

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29		<i>Sida</i> 44 (50)

- reducera kostnaderna för den idag mycket dyra manuella besiktningen och istället besiktiga kraftigare vid sensorernas indikering.
- Lagerlägg all information per position för att se samband, följdfe, återkommande fel, förarkommentarer och kostnadsuppföljning.
- besiktningsmän kan mer utnyttjas i det förebyggande underhållet
- ge tidigare varning om felutveckling som möjliggör bättre planeringsförutsättningar för att genomföra underhåll efter besiktning
- upptäcka skador i tid och förhindra olyckor
- vara ett verktyg för att styra över från avhjälpande till förebyggande underhåll

Med sensorövervakning på passerande tåg erhålls en betydligt bättre bevakning på förändringar och vid indikationer som kan kompletteras med en manuell besiktning omedelbart för att fastställa orsak och lämplig åtgärd. Att kunna följa utvecklingen och att planera och agera i tid ger förutsättningar för en mer proaktiv underhållsstrategi som omvandlar avhjälpande underhåll till förebyggande tillståndsbaserat underhåll.

Att omvandla eller presentera nyttan i monetära siffror är ett önskemål men avregleringen och konkurrensutsättning av drift och underhåll har medfört att det blivit svårt att greppa nyttoeffekterna i kronor och ören. Att använda schablonberäkningar och utveckla dessa (se kapitel 5.4) kan vara en framtida väg att gå. Att upptäcka i tid och göra förebyggande åtgärder, genererade 80 tkr i kostnadsbesparing enligt den förenklade beräkningen, vilket kan ses som en relativt blygsam summa, men om alla fel (ca 50 000 fel/år) gick att undvika skulle detta elda till en hypotetisk besparing på 40 Mdkr/år.

6.4 System för tillståndsövervakning

De mobila system som demonstrerats är:

- Damill:s Track-Logger
- D-Rail:s D-Rail system
- Perpetuum installerad i SJ:s X2000 tåg.

Som referens har huvudsakligen följande av Trafikverkets underhållssystem tillämpats:

- Bessy (besiktningssystem), Ofelia (felhanteringssystem) och Optram (mätvagnsdata)

Validering och reabilitet har genomförts av mätleverantörerna i egen regi.

eMaintenance365 har byggt upp en infrastruktur och ett verktyg för hämtning, lagring, kvalitetssäkring, analys och visualisering som möjliggör jämförelsen mot Trafikverket system Bessy, Ofelia och Optram.

6.4.1 Montering, funktionalitet och tillståndsgivning

Montering och funktionalitet har fungerat bra under testperioden. Det bör dock lyftas fram att man bör ta höjd för att det kan ta tid att få tillstånd att montera nya utrustningar/system i järnvägssystemet. Proceduren för vad som ska göras är väl definierad i CSM-RA, men det är inte alltid

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 45 (50)	

helt klart vilka som skall kontaktas/informeras. En trafikoperatör kan köra ett inhyrt tåg som hyrts in för trafiken av en regional kollektivtrafikmyndighet, från en fordonsägare som upphandlat fordonsunderhållet från en specifik underhållsverkstad.

6.4.2 Mätdata

De mätdata som levereats har processats av respektive mätleverantör innan de skickats till eMaintenance365. Vilket innebär att vissa skillnader i möjlighet att studera repeterbarhet samt göra jämförelser mot Optram och Bessy. Data som levererats skiljer sig åt, och referera till avvikelser som inte filtrerats mot gränsvärden eller felmoder. Levererad data går att jämföra mot varandra men det är inte definierade mot felmoder.

När nya mätmetoder och nya parameterar för tillstånd introduceras är det mycket svårt att omdeddelbart relatera dessa till säkerhets eller underhållsgräns, därför inleds den inledande analysen mot att analysera "extremvärden" så tillvida att mätleverantörens egna erfarenheter om var nivån på extremvärde bör läggas.

I detta projekt ställdes dock inga specifika krav för hur data/information på uppmätta avvikelser skulle levereras. Inför framtida upphandlingar behöver därför kompletteras med avseende på kravbild på data.

Informationskvaliteten hos Bessy och Ofelia kan också variera beroende på vem som rapporterat, det finns en viss subjektivitet inbyggd i dessa system. Optram som används vid mätning av spårläge är dock mer objektiv då data som leverats in till systemet genereras automatiskt vid mätning med fördefinierade felmoder. För att kunna integrera Bessy och Ofelia bör inrapporteringsfälten ha tydligt definierade felmoder som rapporteras genom inmatning fördefinierade fält. Fritext inmatning bör undvikas.

6.4.3 Verifiering

Leverantörerna egna verifieringar mot Optram, Bessy och Ofelia är att systemen har god repeterbarhet både gällande amplitud och spårposition, bra överensstämmelse mot Optram, trots att de uppmätta avvikelserna skett från fordon som kört med olika hastighet och axellaster samt bra överensstämmelse för registrerade avvikelser och förekomsten av Bessy-anmärkningar

Verifiering i spår har endast kunnat göras i begränsad omfattning emedan underhållsentreprenörerna har svårt att få tid över från ordinarie arbetsuppgifter för att hinna ut och verifiera en eventuell avvikelse. Hur uppföljning och verifiering i spår ska ske har inte specificerats i projektspecifikationerna. Erfarenheter från tidigare genomförda projekt, inte bara inom ePilot är att man ofta glömmer att ta med detta som aktivitet för utvärdering av resultat.

6.4.4 Molntjänst

eMaintenance365 leverabel är att ta fram en tjänst där all dessa data kan jämföras och analyseras av användarna för att dra egna slutsatser. eMaintenance365:s verktyg erbjuder detta som analysverktyg för att hitta nivåer för säkerhetslarm och/eller underhållsgräns. I tjänsten är det möjligt att även

	<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA	<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0	
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29		<i>Sida</i> 46 (50)

analysera avvikelser som upptäckts av de mobila mätsystemen men ej av Trafikverkets system, dessa bör dock verifieras genom besök i spår.

6.5 Slutsatser

Systemleverantörerna kan fortsätta att utveckla och förbättra sina system för tillämpning inom olika projekt. Flera av de mätsystem som medverkat i detta projekt kommer också att användas inom andra projekt, t.ex. på Malmbanan och i Stockholmsområdet. I samtliga projekt så är det viktigt att indikationer och larm genererade av de fordonsbaserade systemen kan verifieras av personal i anläggningen som komplement till en triangulering via multipla databaser.

För att få en bredare implementering i den löpande verksamheten måste dock mer långsiktiga affärsuppgörelser mellan parter upprättas. Trafikverket kan upphandla en tjänst avseende fordonsbaserad anläggningsövervakning. Alternativt kan underhållsentreprenörerna upphandla denna tjänst för att effektivisera sin verksamhet. Om Trafikverket ska upphandla tjänsten så måste det göras inom ramen för offentlig upphandling, där det finns möjligheter att t.ex. tillämpa innovationsupphandling. Underhållsentreprenörerna kan dock upphandla tjänsten utan att omfattas av samma regelverk. I det senare fallet måste det dock finnas ett tydligt incitament för en affärsdriven verksamhet.

I ett första steg kan fordonsbaserad övervakning av anläggningen komplettera nuvarande tillämpning med manuella besiktningar, men i förlängningen skulle den delvis kunna ersätta nuvarande tillämpning. En komplettering behöver inte kräva någon förändring av nuvarande regelverk och kan genomföras av underhållsentreprenören, med eller utan medverkan från Trafikverket. En delvis ersättning kräver dock regelverksförändringar. Då den senare förändringen kan påverka trafiksäkerheten krävs väsentlighetsbedömning och eventuellt riskanalys i enlighet med CSM-RA. Avseende eventuella regelverksförändringar så är det Trafikverket som är ansvarig.

Det har upprättats avtal om informationshantering inom ramen för projektet. För att stötta en tillämpning i den löpande verksamheten måste dock andra typer av informationshanteringsavtal upprättas. Förslag på dessa mer permanenta avtal har i samband med projektet upprättats mellan de tre parterna Trafikverket, SJ och Perpetuum. Dessa förslag på avtal för informationshantering kan utvecklas vidare för att tillämpas mellan fler parter framöver.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA		<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB		<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 47 (50)	

7 Sammanfattning

I detta projekt har metoder för tillståndsövervakning av infrastruktur från ordinarie trågtrafik demonstrerats och jämförts med avseende på om övervakningssystemen kan ge en mer frekvent övervakning, snabbare kvittens på effekter efter utförda åtgärder, upptäcka skador på grund av plötsliga händelser, samt ge en kontinuerlig information om felutveckling vilket underlättar planering

De mobila system som demonstrerats är:

- Damill:s Track-Logger
- D-Rail:s D-Rail system
- Perpetuum installerad i SJ:s X2000 tåg.

Som referens har huvudsakligen följande av Trafikverkets underhållssystem tillämpats:

- Bessy (besiktningssystem), Ofelia (felhanteringssystem) och Optram (mätvagnsdata)

eMaintenance365 har byggt upp en infrastruktur och ett verktyg för hämtning, lagring, kvalitetssäkring, analys och visualisering som möjliggör jämförelsen mot Trafikverket system Bessy, Ofelia och Optram.

Projektet har inte gjort några egna jämförelser av mätresultat från de mobila mätsystemen gentemot Trafikverkets system, utan detta har genomförts av respektive mätleverantör genom att använda eMaintenance365 analysverktyg eller egentutvecklad analysmetod.

Projektet möjliggör en praktisk tillämpning av utvecklad lösning för tillståndsbedömning av banöverbyggnad. Denna lösning förväntas bidra till:

- en ökad kostnadseffektivitet inom drift och underhåll för både infrastruktur och rullande materiell genom mer tillståndsbaserat underhåll
- förbättrad tillförlitlighet genom bättre funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet
- ökad tillgänglighet och robusthet genom minskade störningar, färre akuta fel samt effektivare felavhjälpling
- ökad kapacitet genom ökad tillgänglighet och robusthet samt förbättrad tillgänglighet
- bättre resursutnyttjande

Nyttan bedöms bli:

- frigöra kapacitet i spår, dvs. fler gods- och passagerartåg kan släppas in på banan
- mäta i belastat spår dvs. kontroll av de faktiska driftsförhållandena
- snabbare kontroll av att utförd åtgärd har medfört effekt samt hur bestående åtgärden är
- snabbare höja hastigheten efter stabilitetspåverkande arbeten

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA	<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsövervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 48 (50)

- reducera kostnaderna för den idag mycket dyra manuella besiktningen och istället besiktiga kraftigare vid sensorernas indikering.
- Lagerlägg all information per position för att se samband, följdfejl, återkommande fel, förarkommentarer och kostnadsuppföljning.
- besiktningsmän kan mer utnyttjas i det förebyggande underhållet
- ge tidigare varning om felutveckling som möjliggör bättre planeringsförutsättningar för att genomföra underhåll efter besiktning
- upptäcka skador i tid och förhindra olyckor
- vara ett verktyg för att styra över från avhjälpande till förebyggande underhåll

Med sensorövervakning på passerande tåg erhålls en betydligt bättre bevakning på förändringar och vid indikationer som kan kompletteras med en manuell besiktning omedelbart för att fastställa orsak och lämplig åtgärd. Att kunna följa utvecklingen och att planera och agera i tid ger förutsättningar för en mer proaktiv underhållsstrategi som omvandlar avhjälpande underhåll till förebyggande tillståndsbaserat underhåll.

De mobila mätsystemen har visat stor potential att kunna införa med frekvent tillståndsövervakning av järnvägsinfrastruktur från reguljärt trafik. Det behövs dock fortsatt utvecklingsarbete och flera av delsystemen kommer att användas inom andra projekt. I samtliga projekt så är det viktigt att indikationer och larm genererade av de fordonsbaserade systemen kan verifieras av personal i anläggningen som komplement till en triangulering via multipla databaser.

För att få en bredare implementering i den löpande verksamheten måste dock mer långsiktiga affärsuppgörelser mellan parter upprättas och metoder för innovationsupphandling utvecklas.

Ett stort mål för järnvägen idag är att minska alla akuta fel som orsakar många tågstörningar. Projektet har visat på möjligheten att genom frekvent och effektiv bevakning med ny sensorteknik kunna erbjuda betydligt bättre beslutsunderlag för lämpliga åtgärder. Med dessa mätdata borde man klart effektivare kunna förhindra akuta fel och dessutom kunna utföra mer förebyggande underhåll med de mest kostnadseffektiva och bestående åtgärderna genom att succesivt bygga upp en erfarenhetsbank. Resultaten bör kompletteras med all tillgänglig information per position och dessutom delges samt berikas med expertkompetens genom ett lämpligt informationssystem.

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA	<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 49 (50)

8 Förslag på fortsatt arbete

Ett fortsatt arbete bör inkludera:

- tekniskt utvecklingsarbete såsom t.ex "död räkning" för skadelokalisering i tunnlar eller koppla amplitudnivå till larm- och underhållsgränser
- beskriva och ta fram riktlinjer för innovationsupphandlingar
- visualisera kostnad – nytta

<i>Dokumentnr</i> eP20-214-ImpINFRA	<i>Projekttitel</i> Implementering av tillståndsovervakning av infrastruktur	
<i>Författare</i> Ulla Juntti, PS, CG, CH, JW, AN och RB	<i>Datum</i> 2019-03-08	<i>Spridning</i> ePilot2.0
<i>Godkänt av</i> ePilot styrgrupp	<i>Godk. Datum</i> 2019-04-29	<i>Sida</i> 50 (50)

Referenser

AUTOMAIN, 2011. D2.1. High Level Break down of maintenance activities. Augmented Usage of Track by Optimisation of Maintenance, Allocation and Inspection of Railway Networks. EU-project Seventh Framework Programme

CSM-RA. Kommissionens förordning (EG) nr 402/2013 av den 30 april 2013 om gemensam säkerhetsmetod för riskvärdering och riskbedömning och om upphävande av förordningen (EG) nr 352/2009.

eP119-001-2014-034. Projektrapport Nulägesanalys. ePilot-projektet

Trafikverket (2019). Koll på spåret www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/forvaltning-och-underhall/Periodisk-matning/Koll-pa-spåret-i-200-kmtim).

SVT (2018) (<https://www.svt.se/opinion/inom-fem-ar-kommer-det-saknas-1-700-utbildade-jarnvagstekniker>).

Wiklund, M. (2003). Allvarliga funktionsstörningar i baninfrastrukturen. Beräkning av effekter på tågtrafiken. Väg-och transportforskningsinstitutet, VTI 959-2003.

TDOK 2014:0240 Säkerhetsbesiktning av fasta järnvägsanläggningar

TDOK 2013:0347 Banöverbyggnad, Spårläge, Krav, Byggande, Underhåll