

RAPPORT

# Nyttjandestudie av TrackLogger

Ett mobilt mätsystem för tillståndskontroll i ordinarie tågtrafik



**Trafikverket**

Postadress: Box 809

Adress: Sundsbacken 2-4

Post nr: 971 25

Ort: Luleå

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Nyttjandestudie av TrackLogger – ett mobilt mätsystem för tillståndskontroll i ordinarie tågtrafik

Författare: Johannes Strömbom

Dokumentdatum: 2019-08-29

Ärendenummer: TRV 2017/67785

Version: 1.0

Kontaktperson: Rikard Granström, UHdnj

# Innehåll

<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>4</b>
1.1. Bakgrund Till Analys.....	4
1.2. TrackLogger.....	5
<b>2. MÅL OCH FRÅGESTÄLLNINGAR</b> .....	<b>7</b>
<b>3. OBSERVATIONER UNDER ARBETET</b> .....	<b>8</b>
3.1. Positionering Och GPS-bortfall .....	8
3.2. Saturerade Accelerometrar .....	8
3.3. Val Av Digitalt Filter .....	9
3.4. Hastighetsberoende .....	10
<b>4. RESULTAT</b> .....	<b>11</b>
4.1. Repeterbarhet.....	11
4.2. Jämförelse Med Optram .....	16
4.3. Trend Och Nedbrytningstakt .....	20
4.4. Faktorer Som Påverkar Mätresultaten .....	23
4.5. Sammanfattning av resultat.....	23
<b>5. DISKUSSION OCH SLUTSATSER</b> .....	<b>24</b>
5.1. Felkällor .....	24
5.2. Rekommendationer Och Förbättringsarbete.....	25
5.3. Slutsatser .....	25
5.4. Framtida Arbete.....	26
<b>REFERENSER</b> .....	<b>29</b>

# 1. Inledning

Det mobila mätsystemet TrackLogger (TL) ingår i delprojekt eP213 inom ePilot som bl. a syftar till att utvärdera fordonsbaserad mätteknik för tillståndsövervakning av infrastruktur från ordinarie tågtrafik. TL har sedan den 24 maj 2019 varit monterad på en av LKAB:s malmvagnar, malmvagn FO50 med ID 5054, och samlat in mätdata från sträckan Kiruna – Narvik. Under 2018 var samma utrustning monterat i ett persontåg hos SJ. Det tåget trafikerade sträckan Luleå-Stockholm och mätdata studerades i ett tidigare projekt inom ePilot med beteckning eP214. Det som skiljer i studierna är främst axellaster och hastighet. Persontågen mellan Luleå-Stockholm har en axellast på ca 14 ton och en hastighet upp till 160 km/h medan LKABs malmtåg mellan Kiruna-Narvik har en axellast på 30 ton och de kör 60-70 km/h. Den här rapporten behandlar endast hur TL fungerar i malmtåg och studien har utförts parallellt med att leverantören och systemtillverkaren Damill AB bedriver fortsatt utveckling av produkten. I eP213 arbetar man med att förbättra produkten för användning vid låga hastigheter och att hantera GPS-bortfall p.g.a. tunnlar och fjällterräng. Mätningarna som studeras i den här rapporten har utförts kontinuerligt då vagnen varit i trafik och TL har registrerat resor både i färdriktning mot Narvik och mot Kiruna, där vagnen varit lastad respektive olastad.

Det data TL samlat in på den ovanstående nämnda sträckan har gjorts tillgänglig även för analysen som beskrivs i den här rapporten. Arbetet har utförts v. 25 – v.35 2019 under projektet Verklighetslabb Digital Järnväg (VDJ) och det är främst data från BDL 111 (Kiruna – Riksgränsen) som studerats. Analysen har till stor del bestått av att utreda TL:s användningsområden samt undersöka faktorer som påverkar mätning av spårgeometrin. För att underlätta arbetet har det genomförts hos Damill AB, vilket har medfört att observationer som gjorts har bidragit till att utveckla systemet under perioden arbetet utförts.

## 1.1. Bakgrund Till Analys

Något som ofta påtalats är att antalet tågresor har ökat kraftigt under de senaste 30 åren, och denna ökning förväntas fortsätta i samma takt även under kommande år. Utvecklingen som skett gäller såväl persontåg som godståg och medför ett ökat slitage. Sveriges järnväg trafikeras dagligen av ungefär 3100 persontåg, samtidigt som 220 000 ton gods fraktas i ungefär 580 godståg (Trafikverket, 2019). Sveriges järnvägsnät omfattar drygt 15 600 spårkilometer, varav infrastrukturen för 14 200 spårkilometer förvaltas av Trafikverket (Trafikverket, 2019). Detta ställer höga krav på Trafikverket som, för att säkerställa anläggningens underhåll, har upphandlat om ett flertal kontrakt med entreprenörer för att utföra underhållsarbetet på järnvägen.

Varje år sker periodiska mätningar av Trafikverkets järnväg för att bedöma dess tillstånd. Totalt är det fyra mätvagnar som mäter spåret och kontaktledningar upp till sex gånger per år (Trafikverket, 2018). Viktiga felmoder som mäts i spåret är skevning, höjd- och sidläge, spårvidd och rälsförhöjning. Om det skevar för mycket i spåret eller om höjd- eller sidläget avviker kraftigt kan det leda till att en nedsättning av hastigheten måste införas, att spåret måste stängas av eller i värsta fall att olyckor som urspårning sker.

Resultaten från mätningarna skickas till systemet Optram för vidare analys och allvarligare fel rapporteras även till systemet Ofelia och som besiktningsanmärkningar till systemet

Bessy. Dessa system kan därefter användas som underlag i entreprenörens arbete, som prioriterar avhjälpan underhåll vilket både är dyrare och mer tidskrävande än förebyggande och tillståndsbaserat underhåll (Trafikverket, 2015). Avhjälpan underhåll består ofta av reparationer eller byte av komponenter som måste ske med kort varsel och kan därför leda till nedsatt hastighet eller avstängt spår. Med tillståndsbaserat underhåll menas reparationer som kan göras innan åtgärder som påverkar trafiken behöver vidtas.

För att planera övrig förebyggande spårriktning används Optram-datat som samlats in. Eftersom mätningar endast görs upp till sex gånger per år är underlaget bristande och kalkylering av det förebyggande underhållet blir försvårat. För att utöka detta underlag utreds nu möjligheterna att mäta spårsläget kontinuerligt genom att använda TrackLogger monterat på tåg i ordinarie trafik som ett komplement till de nuvarande mätvagnarna. Förutom att mäta spåret mer frekvent skulle användning av ett mätsystem monterat på ordinarie tågtrafik potentiellt kunna användas till att se vilken inverkan andra faktorer har på spårsläget, exempelvis tågets hastighet och axelvikt. Svaret från banan, styvhet och felmoders benägenhet att visa sig kan vara annorlunda när man kör lastade vagnar, därav kan det vara fördelaktigt att mäta under sådana förhållanden som banan till vardags belastas under.

## 1.2. TrackLogger

TrackLogger är som tidigare nämnts ett mobilt mätsystem, avsedd för kontinuerlig tillståndskontroll av spårsläge. Det nuvarande systemet utgör tredje generation av produkten. Tidigare mättes och redovisades bara accelerationsvärden och GPS-position 1 ggr/s men nu mäter systemet mer än 1000 ggr/s och dessutom beräknas även spårets sid- och höjdlägen och det kan förses med ett gyro för mätning av skevning. Systemet har under denna analys bestått av en mät dator, tre accelerometrar, en GPS och fått strömförsörjning från ett batteri. Gyrot har varit demonterat för att, enligt leverantören, genomgå vissa modifieringar. Mät datorn med tillhörande sensorer kan monteras på valfritt spårgående fordon, som i detta fall valts till en malmvagn F050, tillhörande LKAB. Mät datorn inryms i en väska som monterats på malmvagnen enligt *Figur 1*.



*Figur 1: Montage av TrackLogger på en av LKAB:s malmvagnar avsedd att trafikera sträckan Kiruna – Narvik.*

Accelerometrarna sitter placerade så att två av dem mäter acceleration i höjdläge för respektive hjul och den tredje mäter acceleration av hjulaxelns laterala läge, och gör då att spårsläget indirekt kan studeras. Under varje resa registreras 1280 mätvärden varje sekund och lagras tillsammans med GPS-position, i ett portabelt minne. Då minnet fyllts förs mätdata över till en dator för att bearbetas och analyseras i programvara utvecklat av Damill AB. I processen tilldelas varje mätvärde en position i spårkilometer (km + m) innan signalen filtreras och dubbelintegreras till höjd- och sidoläge. Därefter beräknas spårets rälsförhöjning samt skevning utifrån höjdläget för respektive hjul. Slutligen kan kurvdiagram för de olika felmoderna studeras i ett visningsprogram.

Förutom felmoderna höjd- och sidoläge, rälsförhöjning och skevning kan man, enligt Dan Larsson vd för Damill AB, detektera skador så som RoV, dåliga isolerskarvar, slirsår och andra ytdefekter på rälhuvudet, nedvalsade svetskarvar, dålig banunderbyggnad samt slitna växelkorsningar och växeltungor med hjälp av TL. Vidare säger Dan att gyrot planeras att återinföras för att komplettera accelerometrarna, som redan finns installerade i systemet.

## 2. Mål Och Frågeställningar

Syftet med TL är att mäta spårläget under ordinarie tågtrafik och på så sätt bidra till ett bättre underlag till det förebyggande underhållet. För att det ska vara möjligt är en god repeterbarhet nödvändig, det är alltså viktigt att mätresultaten från mätningar utförda i närliggande tid och under samma förhållanden överensstämmer. Om TL i förlängningen ska användas som ett komplement till de nuvarande mätvagnarna är det även viktigt att mätningar och datahantering sker på ett korrekt sätt i TL så att mätresultaten är pålitliga.

Utförs mätningarna på rätt sätt kan Trafikverket använda resultaten från TL till att upptäcka spårlägesfel i god tid och planeringen av underhållsarbetet underlättas. Detta medför att spårriktare kan användas mer effektivt och spårlägesfel kan åtgärdas innan de leder till hastighetsnedsättningar, stopp i trafiken eller urspårningar.

En sammanställning av analysens inledande frågeställningar presenteras nedan.

1. Repeterbarhet – Är mätresultaten från mätningar gjorda i närliggande tid överensstämmande?
2. Vilka faktorer påverkar mätresultaten – Påverkar exempelvis tågets färdriktning, vagnens axellast eller hastighet mätresultaten?
3. Jämföra mätresultat i Optram med TL – Stämmer mätresultaten från mätvagnarna överens med de från TL?
4. Trendmöjlighet – Är det möjligt att följa en skadas utveckling till dess att den blir allvarlig, och går det att mäta kvalitet och varaktighet på utfört arbete?
5. Beräkna nedbrytningstakt utifrån trend – Kan man med hjälp av punkt 4 prediktera när en skada övergår till att bli allvarlig?
6. Nedbrytningstakt i växlar – Kan man beräkna liknande trend som i punkt 4 för att beräkna nedbrytningstakten av växlar?

Dessa frågor har fungerat som riktlinjer för detta arbete och ambitionen har varit att besvara dem i den mån det varit möjligt. Ytterligare frågor som uppkommit under analysen har även behandlats.

## 3. Observationer Under Arbetet

Innan en fördjupning i analys av mätresultat kan påbörjas finns det ett antal observationer som bör diskuteras. Att mäta rälsgeometrin är ett komplext arbete som ställer höga krav både på mätutrustning och hantering av mätdata. Det är viktigt att sensorer klarar av att mäta kraftiga slag och stötar i ett brett frekvensområde samtidigt som de har hög upplösning och god precision för att mäta spår läget korrekt. För att ange positionen för varje mätvärde måste GPS-position kopplas till position angivet i spm (km + m) enligt Trafikverkets referenssystem. En annan viktig del av databearbetningen är filtreringen. Om olika mätningar, från olika datum och mellan olika mätsystem, ska kunna jämföras måste de filtreras på likartat sätt

### 3.1. Positionering Och GPS-bortfall

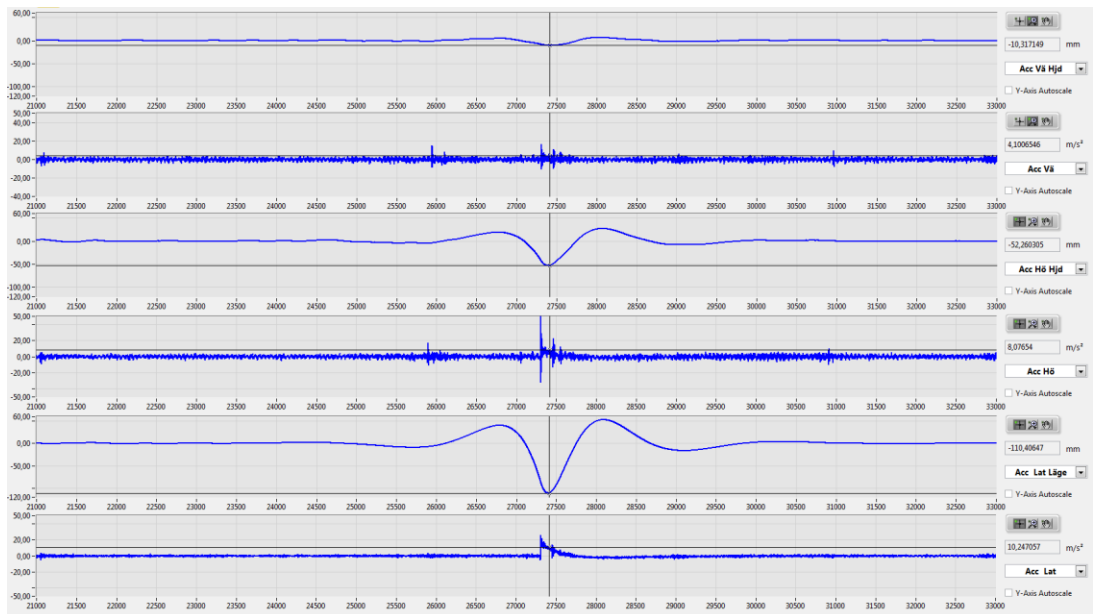
I tidigare analyser av TL har det konstaterats att systemet har en god repeterbarhet i position (se t.ex. (Larsson, 2015)) och det har även observerats i detta arbete, med några undantag. Eftersom TL utför mätningar automatiskt utan någon operatör måste vagnens orientering i spåret bestämmas för att avgöra om det är vänster eller höger räl som mäts av respektive accelerometrar. I dagsläget bestäms det manuellt och då det saknas vetskap om vagnens orientering i spåret kan det leda till förvirring i analys av mätresultaten.

En annan observation som gjorts under detta arbete är GPS-signalen försvunnit i tunnlar och snögallerier. Totalt finns det 15 stycken snögallerier i Sverige och alla finns på Bdl 111. Utöver snögallerierna finns även tre stycken tunnlar på samma sträcka. Det innebär totalt drygt 6 spårkilometer (data hämtat i BIS) som riskeras att inte övervakas om mätningarnas position är beroende av endast GPS-signal.

### 3.2. Saturerade Accelerometrar

Enligt standarden för karakterisering av spår lägeskvalitet (Swedish Standards Institutes, SIS, 2019) ska accelerometrar monterade på den vertikala axelboxen ha ett mätområde på  $\pm 1000 \text{ m/s}^2$ . Accelerometrar som använts i TL under denna period har ett mätområde på  $\pm 500 \text{ m/s}^2$ , vilket har medfört att de ibland saturerat då hjulen utsatts för hårda stötar i t.ex. isolerskarvar eller växlar. Detta har upptäckts genom att titta på mätvärdena. De karakteriseras av att accelerationsvärdet fort stiger och följs av en långsam avklingning, samtidigt som de integrerade värdena för lägesförändringens hastighet och läge blir orealistiska. Det har även uppmärksamats att dessa händelser ibland skett med så hög frekvens att hela förloppet inte hunnit fångas upp i samplingen och felet blivit dolt. I Figur 2 misstänks accelerometrar för alla tre kanaler vara saturerade men att storleken på utsignalerna har varierat på grund av att hela händelseförloppen inte uppfattats av systemet.

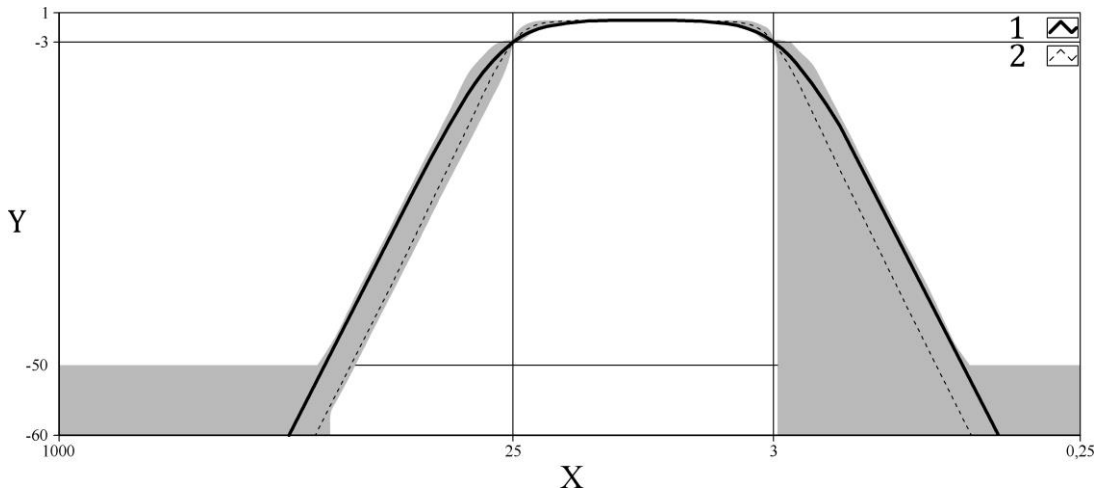




Figur 2: Exempel på hur signalen för bottnade accelerometrar ser ut. Dessa data är insamlad 2019-07-17 i närheten av en isolerskarv på vänster räl vid km 1464+897, i färdriktning mot Narvik. I detta fall misstänks alla tre accelerometrar ha bottnat och som följd av detta fås signalerna som syns i figuren. Här anges x-axeln i sampels och y-axeln enligt tabellen till höger i figuren.

### 3.3. Val Av Digitalt Filter

Ett idealt filter med förstärkning 1 i passbandet och 0 i spärrbandet är något som inte går att realisera. Istället är det viktigt att specificera vilka filterparametrar som använts för att det ska vara tydligt vad det är som visas i de signaler man analyserar. Filtret behöver alltså tydligt definierad brytpunkt och lutning utanför passbandet. För att kunna jämföra resultat från olika mätsystem finns toleranser över filtrets egenskaper definierad i standarden för karakterisering av spårlägeskvalitet. I standarden (Swedish Standards Institutes, SIS, 2019) är filtrets brytfrekvens en spatial frekvens,  $\nu = \lambda^{-1}$ , som bestäms utifrån vilken våglängd felet man vill mäta har. I Figur 3 visas toleranser för hur ett filter avsett för fel av våglängd mellan 3 och 25 meter ska designas. Det valda filtrets överföringsfunktion ska rymmas inom det gråmarkerade området. Både filter 1 och filter 2, i figuren, är av ordning 4 och lutningen i övergångsbandet är -80 dB per dekad.

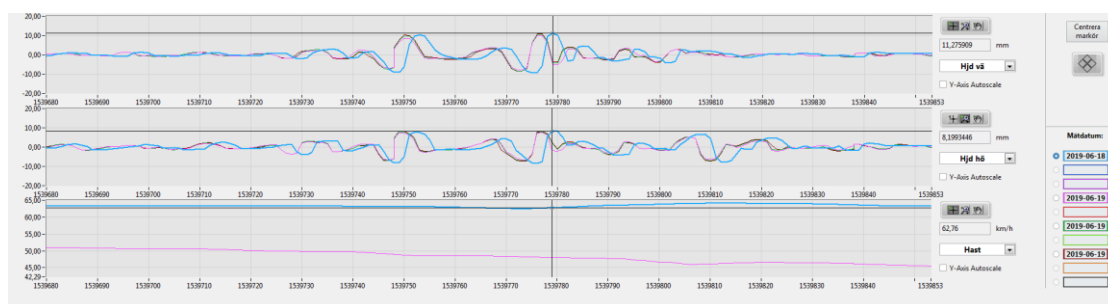


Figur 3: Tolerans för filter enligt standarden (Swedish Standards Institutes, SIS, 2019), överföringsfunktionen för det designade filtret ska rymmas inom det gråmarkerade området. X-axeln anger våglängd,  $\lambda$  [m] och Y-axeln är överföringsfunktionens magnitud [dB].

Det digitala filter som används i TL har brantare lutning än det som anges i standarden och en brytfrekvens angiven i Hz, dvs. en temporal frekvens, vilket ger ett annat urval i mätresultaten från höjd- och sidoläge än det som rekommenderas.

### 3.4. Hastighetsberoende

Att filtrets brytfrekvenser anges som en temporal frekvens innebär i praktiken att spårlägesmätningarnas storlek kommer dämpas olika mycket av filtret beroende på vilket hastighet tåget kör. Eftersom tåget sällan kör med exakt samma hastighet varje resa medför det svårigheter att jämföra olika mätningar med varandra. **I Fel! Hittar inte referenskälla.** syns två mätningar utförda 2019-06-18 (blå kurva) och 2019-06-19 (lila, grön och brun kurva), båda i färdriktning mot Narvik med axellaster på 27,15 respektive 28,95 ton.



Figur 4: Jämförelse mellan mätresultat från två dagar på samma plats där tåget passerat med olika hastighet. Mätningen från 2019-06-19 har filtrerats med tre olika filter. I den lila kurvan är filterinställningarna samma som för mätningen dagen innan (blå). I den gröna kurvan har filtrets lägre brytfrekvens sänkts, och i den bruna kurvan har den lägre brytfrekvensen sänkts ytterligare. Det syns att en bättre överensstämmelse mellan mätningar kan uppnås genom att justera filterparametrarna efter tågets hastighet. Här anges x-axeln som spm och y-axeln enligt tabellen till höger i figuren.

Idag är systemet byggt så det är begränsat till att kunna mäta i frekvenser över 0,5 Hz. För att mäta fel med våglängd 25 meter har därför en kritisk undre hastighetsgräns funnits till

45 km/h, vilken gäller oberoende av filterdesign. Sambandet mellan fordonets hastighet  $v$ , felets våglängd  $\lambda$  och lägesförändringens frekvens  $f$  ges av

$$v = \lambda f.$$

En översättning från några våglängder till frekvens vid given hastighet kan ses i Tabell 1 där de rödmarkerade frekvenserna ligger utanför TL:s mätområde, och gulmarkerat på gränsen. I tabellen syns att systemet inte är begränsat vid mätning av kortvågiga fel vid höga hastigheter, men vid lägre hastigheter finns det svårigheter att upptäcka långvågiga fel. För hastigheter under 45 km/h innebär det att felmodernas höjd- och sidoläge med våglängd 1-25 m inte kan mätas fullt ut och eftersom skevning idag beräknas utifrån höjdläget riskerar även de felmodernas påverkas.

$\lambda \backslash v$	25 km/h	45 km/h	75 km/h	100 km/h	150 km/h
5 m	1,39 Hz	2,50 Hz	4,17 Hz	5,56 Hz	8,33 Hz
15 m	0,463 Hz	0,833 Hz	1,39 Hz	1,85 Hz	2,78 Hz
25 m	0,278 Hz	0,500 Hz	0,833 Hz	1,11 Hz	1,67 Hz
50 m	0,139 Hz	0,250 Hz	0,417 Hz	0,556 Hz	0,833 Hz
75 m	0,0926 Hz	0,167 Hz	0,278 Hz	0,370 Hz	0,556 Hz

Tabell 1: Konversation mellan våglängd och frekvens vid given hastighet. Rödmarkerade frekvenser ligger utanför TL:s mätområde och gulmarkerat på gränsen.

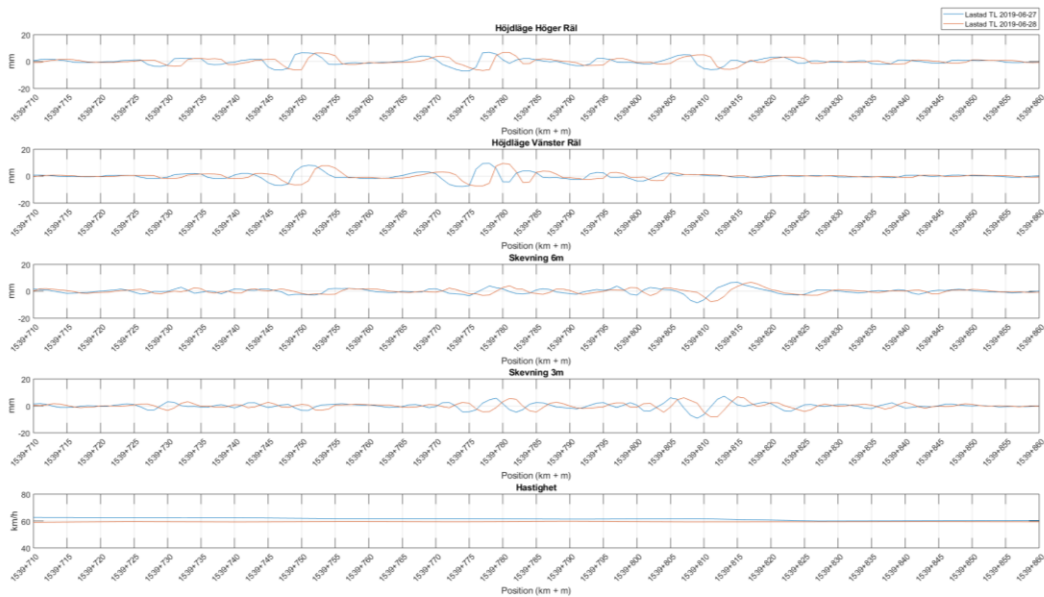
## 4. Resultat

Nedan presenteras resultaten från olika jämförelser som utförts i detta arbete. Information om vilka åtgärder som gjorts i spåret under den aktuella perioden har tillhandahållits av Tony Armstrand, underhållsingenjör på Trafikverket, samt hämtats från systemen Bessy och Optram.

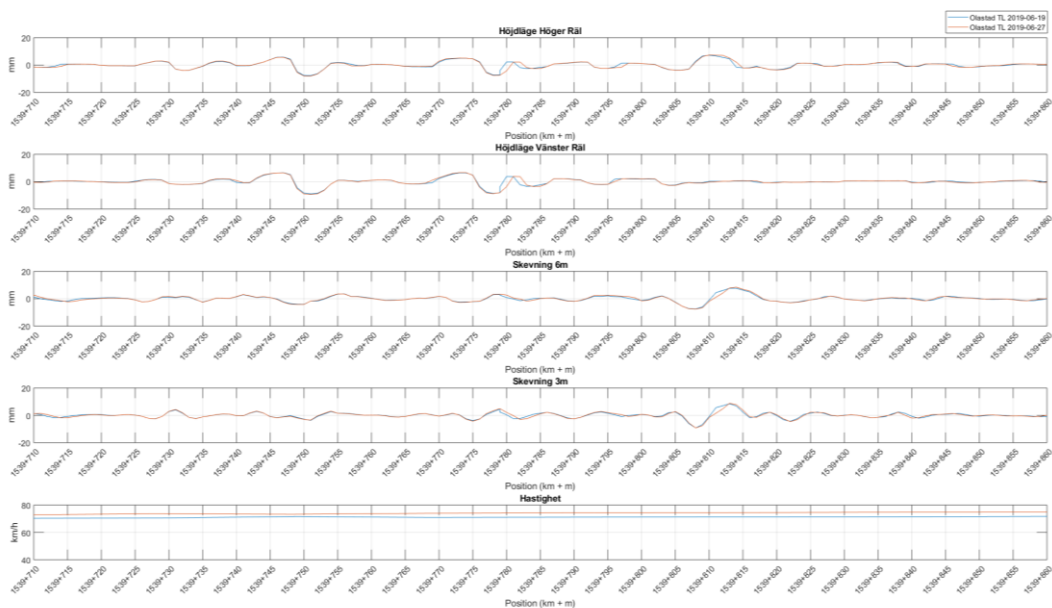
### 4.1. Repeterbarhet

Det hastighetsberoende som induceras i behandlingen av mätdata har medfört en svårighet i att göra storskaliga jämförelser mellan olika mätningar, dessa jämförelser har därför gjorts på tre platser där fel rapporterats i Optram och Bessy. Mätningarna har valts så att de varit utförda under liknande förutsättningar, där vagnen haft samma orientering i spåret och accelerometrarna inte bottnat.

I Figur 5 syns två dagars mätningar på platsen 1539+710 till 1539+860 då malmvagnen varit lastad och i Figur 6 syns två dagars mätningar på samma plats när vagnen varit olastad.



Figur 5: Mätresultat från TL på platsen 1539+710 till 1539+860 då malmvagnen varit lastad. Vid mätningen från 2019-06-27 har vagnen en axellast på 31,10 ton och vid mätningen 2019-06-28 en axellast på 30,68 ton.

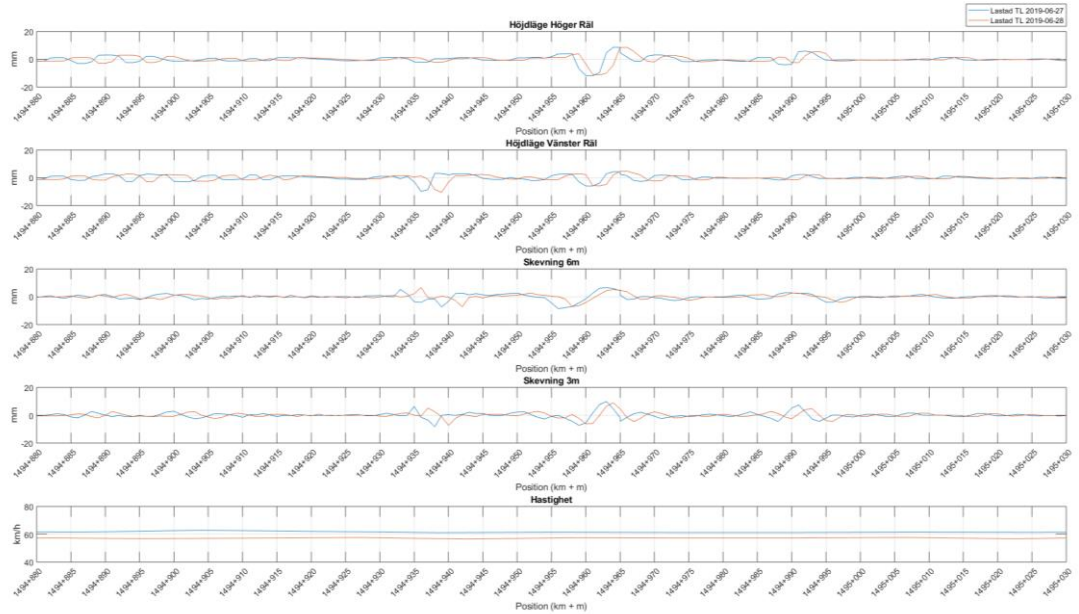


Figur 6: Mätresultat från TL på platsen 1539+710 till 1539+860 då malmvagnen varit olastad. Vid mätningen från 2019-06-27 har vagnen en axellast på 5,633 ton och vid mätningen 2019-06-28 en axellast på 5,676 ton. Här anges x-axeln som spm och y-axeln enligt tabellen till höger i figuren.

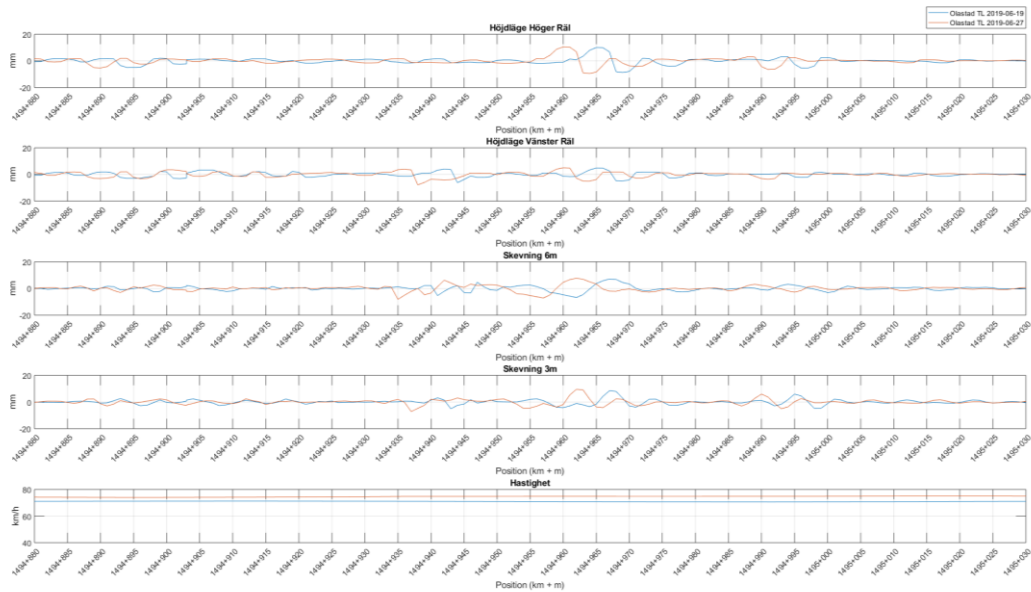
Mellan mätningarna som gjorts då vagnen varit lastad skiljer det upp till 3 meter i position. Vid en jämförelse av storleken på utslagen syns att mätningen från 27/6 visar något högre värden än den från 28/7, detta kan kopplas till skillnaden i hastighet som påverkar filtrering av mätvärdena.

För de mätningar som gjorts då vagnen varit olastad stämmer positionen väl överens mellan de båda mätstillfällena och storleken på utslagen den 27/6 är generellt högre än de från 19/6, även i detta fall kan amplitudskillnaden kopplas till det inducerade hastighetsberoendet på grund av filtreringen.

I Figur 7 och Figur 8 syns resultaten från mätningarna på platsen 1494+880 till 1495+30, för en två lastade mätningar respektive två olastade mätningar.



Figur 7: Mätresultat från TL på platsen 1494+880 till 1495+30 då malmvagnen varit lastad. Vid mätningen från 2019-06-27 har vagnen en axellast på 31,10 ton och vid mätningen 2019-06-28 en axellast på 30,68 ton. Här anges x-axeln som spm och y-axeln enligt tabellen till höger i figuren.

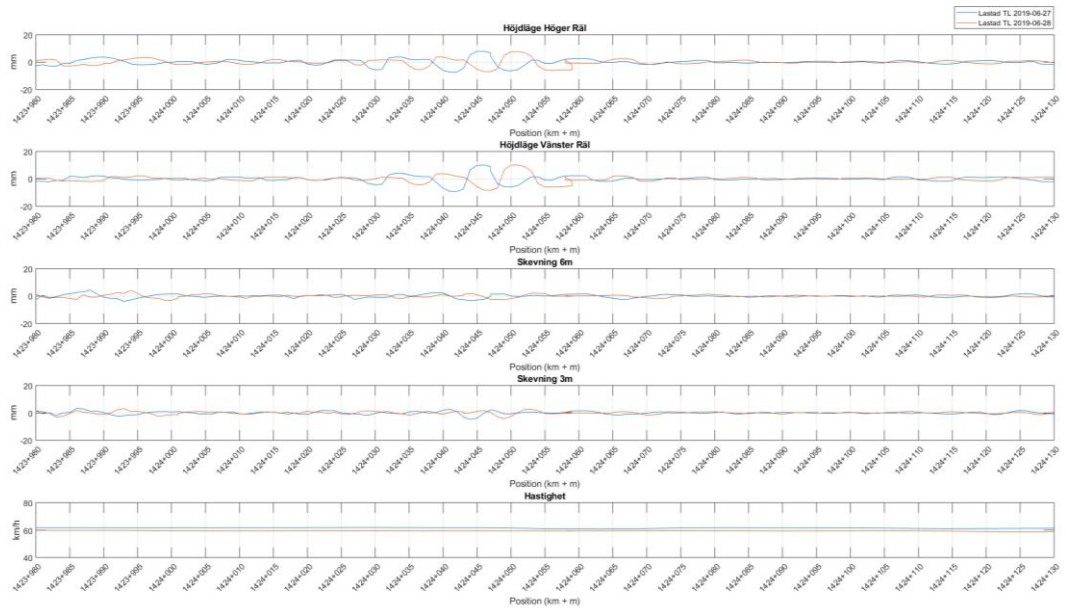


Figur 8: Mätresultat från TL på platsen 1494+880 till 1495+30 då malmvagnen varit olastad. Vid mätningen från 2019-06-27 har vagnen en axellast på 5,633 ton och vid mätningen 2019-06-28 en axellast på 5,676 ton. Här anges x-axeln som spm och y-axeln enligt tabellen till höger i figuren.

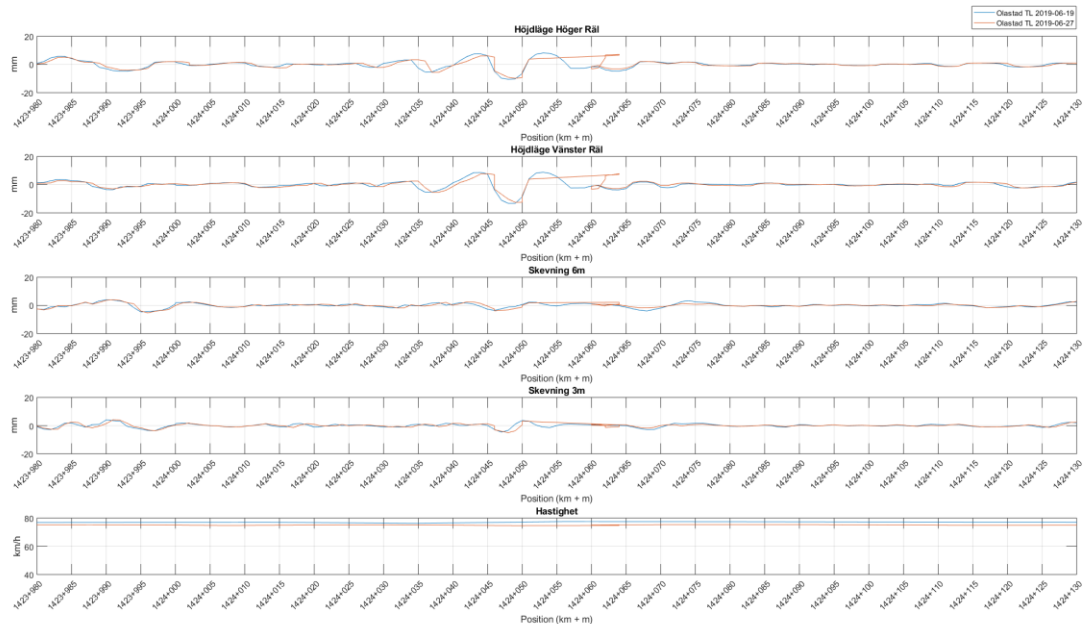
För de mätningar som utförts med lastad vagn på denna plats skiljer sig positionen upp till 2 meter mellan resorna. Storleken från 27/6 är överlag större än de från 28/6, vilket även här antas bero på filterinställningar i TL.

Positionen skiljer sig upp till 5 meter mellan mätningarna som utförts med olastad vagn och storleken på utslagen från 27/6 är något högre än de från 19/6.

I Figur 9 och Figur 10 syns mätresultaten, från samma resor som ovan, på platsen 1423+980 till 1424+130.



Figur 9: Mätresultat från TL på platsen 1423+980 till 1424+130 då malmvagnen varit lastad. Vid mätningen från 2019-06-27 har vagnen en axellast på 31,10 ton och vid mätningen 2019-06-28 en axellast på 30,68 ton. Här anges x-axeln som spm och y-axeln enligt tabellen till höger i figuren.



Figur 10: Mätresultat från TL på platsen 1423+980 till 1424+130 då malmvagnen varit olastad. Vid mätningen från 2019-06-27 har vagnen en axellast på 5,633 ton och vid mätningen 2019-06-28 en axellast på 5,676 ton. Här anges x-axeln som spm och y-axeln enligt tabellen till höger i figuren.

I mätningarna som utförts då vagnen varit lastad skiljer sig mätningarna upp till 5 meter

från varandra. Storleken på avvikelserna uppmätta den 27/6 är generellt större än de från 28/6, och beror till stor del på filterinställningarna i systemet. Då vagnen varit olastad har mätningarna god överensstämmelse i position och mätningarna från 19/6 visar större utslag än de från 27/6. På denna plats finns även ett positioneringsfel vid 1424+60 som beror på att referenssystemet som används vid en översättning från GPS-position till spm i TL innehåller fel.

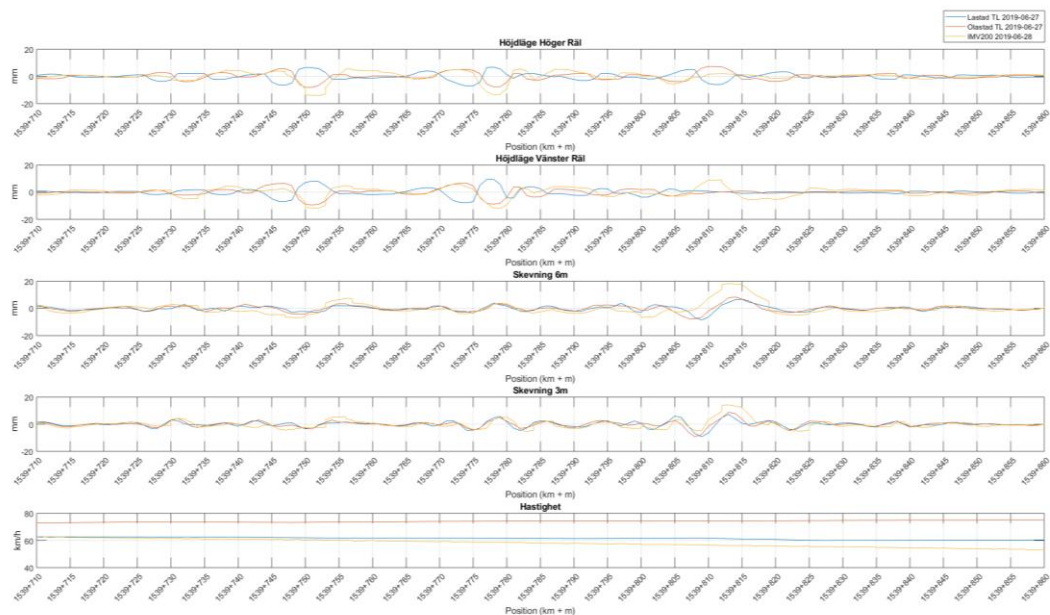
Att positionen skiljer upp till 5 meter mellan mätningar innebär inte några större problem vid beslutsfattande, det viktiga är att rätt plats kan utläsas ifrån resultaten. Om resultaten ska jämföras över tid, för en trend eller för att automatiskt upptäcka negativ utveckling av felmoder, kan enkelt en funktion skapas som gör jämförelser på längre intervall, exempelvis 10 eller 25 m. Att amplituden hos de uppmätta felen påverkas av hastigheten kan utgöra ett problem vid beslutsfattande. Beroende på vilken hastighet tåget kör kommer mätvärdena dämpas olika mycket på grund av de filterinställningar TL har. Detta är något som kan åtgärdas genom att filtrera med avseende på längd istället för tid. Innan detta är åtgärdat kan mätresultaten från TL, när den monterats i långsamma malmtåg, endast användas för att indikera att avvikelser finns och inte för att säkert bedöma allvarlighetsgraden. Dessa begränsningar gäller främst avvikelser med stor våglängd såsom 25m kombinerat med de låga hastigheterna som malmtågen har (max 70km/h). Avvikelse med kortare våglängd har större förutsättningar att upptäckas med nuvarande inställningar, och då speciellt i de hastigheter som persontågen har. Sådana mätresor är dock inte studerade i den här rapporten.

#### 4.2. Jämförelse Med Optram

Mätvagnen IMV200 gjorde 2019-06-28 en besiktning av Bdl 111 och mätdata från denna körning har använts för att göra en jämförelse mellan mätvagnen, en lastad och en olastad mätning från TL på samma tre platser som i 4.1. För att undvika eventuella skillnader i de olika mätsystemens positionering har mätvagnens GPS-position använts för att konvertera resultaten till samma format som TL. Det gör att de olika systemens mätutslag lättare kan jämföras.

På platsen 1539+843 till 1539+845 rapporterades ett skevningsfel (med mätbas 3 m) på 14 mm till Optram. Vid en manuell kontroll på platsen 2019-07-09 bedömdes felet inte vara urspårningsfarligt och åtgärd gjordes i kombination med slipersbyten 2019-08-20 (Bessy). I Figur 11 ses mätresultaten från IMV200, efter att de positionerats enligt TL:s referenssystem, tillsammans med två mätningar från TL, en utförd då malmvagnen varit olastad och en då vagnen varit lastad.

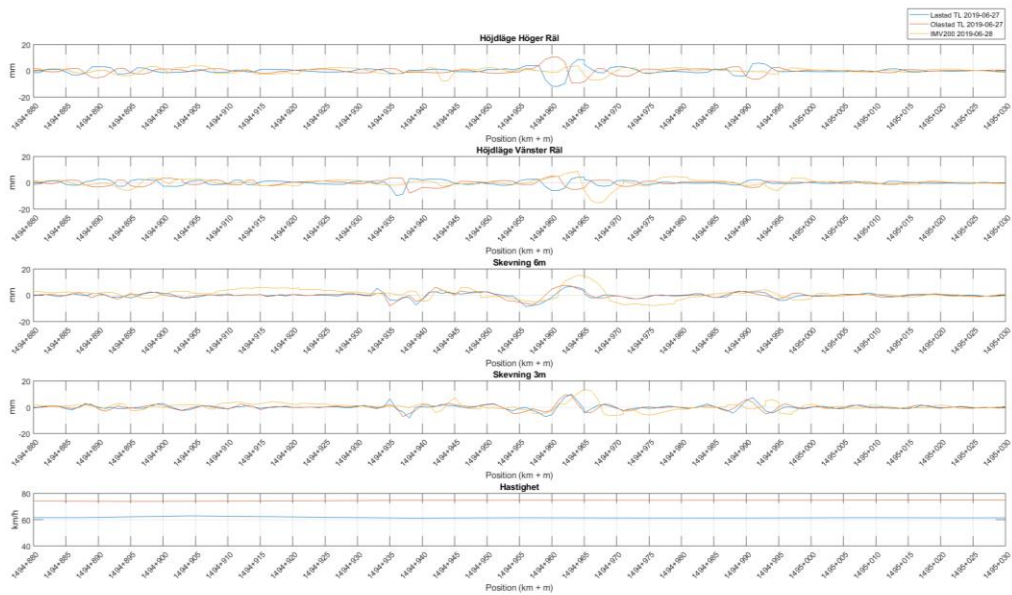




Figur 11: Vagnen som var olastad under mätningen hade en axellast på 5,676 ton och den som var lastad hade 31,10 ton i axellast. Båda TL-mätningarna är utförda 2019-06-27 och IMV200 mätningen 2019-06-28.

Utifrån skevningsmåttarna i figuren tycks de tre mätningarnas positionering stämma väl överens. Det är även tydligt att mätningarna utförda av mätvagnen visar större utslag än de mätningar utförda av TL vid platsen där felet har mätts upp. Det kan även noteras att de två spårålägsmätningarna utförda av TL skiljer sig åt mer än bara i amplitud. Genom att titta på kurvorna för höjdläge (de översta två fönstren i figuren) ses att mätvärdena inte har samma utseende då de utförts av TL med en lastad vagn i färdriktning mot Narvik och en olastad vagn i färdriktning mot Kiruna. Det syns även att TL-mätningarna med olastad vagn i färdriktning mot Kiruna är de som är mest lika mätvagnens. Positionen för felet har med TL:s positioneringssystem flyttats till 1539+812-1539+814, det skiljer alltså mer än 30 meter mellan systemens positionering, och det är bra om det utreds vidare vad detta beror på om mätsystemen ska kunna komplettera varandra.

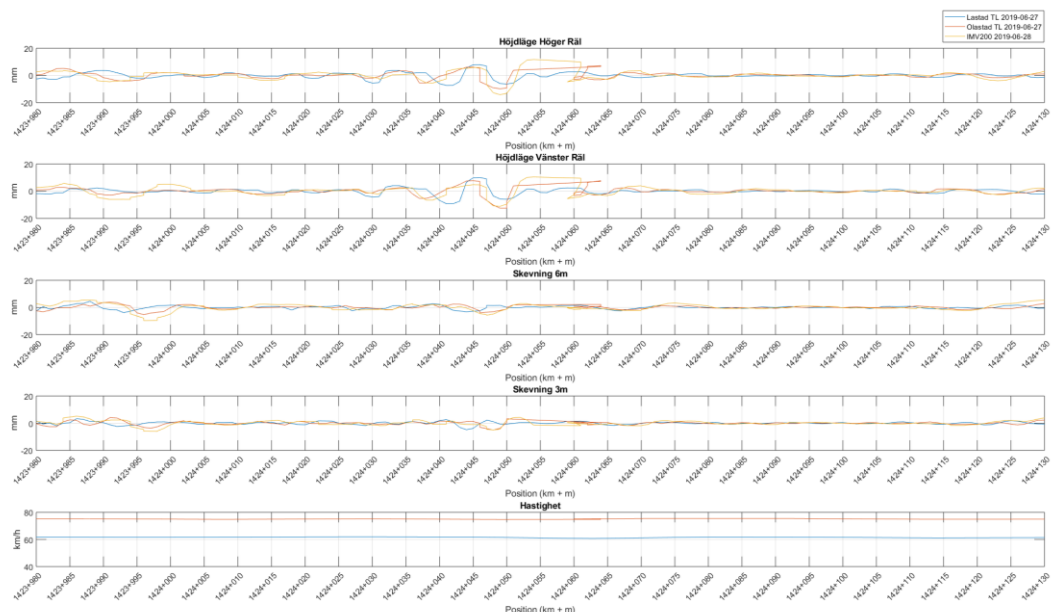
På platserna 1494+966 till 1494+967 och 1494+964 till 1494+965 rapporterades ett höjdfel (1-25m) med storleken 15 mm på vänster räl samt ett skevningsfel (med mätbas 3 m) på 13 mm. Vid manuell kontroll 2019-07-09 bedömdes inte felen vara urspårningsfarliga och platsen spårriktades 2019-08-22 (Bessy). I Figur 12 nedan ses resultaten från IMV200 tillsammans med TL-mätningarna då vagnen varit olastad samt lastad på platsen.



Figur 12: Vagnen som var olastad under mätningen hade en axellast på 5,676 ton och den som var lastad hade 31,10 ton i axellast. Båda TL-mätningarna är utförda 2019-06-27 och IMV200 mätningen 2019-06-28.

Även på denna plats stämmer positionen väl överens mellan de olika mätningarna vid en jämförelse av skevnings-kanalerna. Felet som uppmäts är större i mätningen som utförts av mätvagnen och även här har TL-mätningarna olika karaktär (utöver i amplitud) då de utförts med olika axellast och i olika färdriktning, där de olastade i färdriktning mot Kiruna liknar mätvagnens mätningar. TL-mätningarna har större utslag för höger räl än vänster på platsen där felet mätts upp trots att mätutslagen från mätvagnen har större utslag för vänster räl än för höger. Positionerna som angivits i rapporten stämmer även med den position som angivits i TL:s positioneringssystem.

Från 1424+48 till 1424+49 rapporterades ett höjdfel (1-25 m) på höger räl med storleken 14 mm. I skrivande stund har ingen åtgärd har ännu gjorts på platsen. I Figur 13 ses resultaten från IMV200 samt TL-mätningar från den olastade och lastade vagnen på platsen.



Figur 13: Vagnen som var olastad under mätningen hade en axellast på 5,676 ton och den som var lastad hade 31,10 ton i axellast. Båda TL-mätningarna är utförda 2019-06-27 och IMV200 mätningen 2019-06-28.

Det skiljer upp till 4 meter mellan resultatens position vid denna plats. Storleken på mätvagnens mätningar är även här större än de från TL. Det största utslaget från TL-mätningarna visas på vänster räl och här kan också ses en skillnad i mätningarnas karaktär vid olika axellast och färdriktning, där TL:s mätningar vid olastad vagn i färdriktning mot Kiruna är de som liknar mätvagnens mest. Positionen för felet stämmer överens med den som rapporterats i Optram.

Det finns en tydlig skillnad mellan mätningar utförda av TL och den mätning som gjorts av IMV200. Storleken på felen i Optram är större än då de mäts av TL. En orsak till detta kan vara de filterinställningar som TL har, som kan göra att mätvärdena dämpas. Det kan även bero på att skevning beräknas utifrån mätningar med ett gyro i mätvagnen, medan det i TL beräknas utifrån höjdlägen uppmätta av accelerometrar. Då denna skillnad kan påverka styrning av underhållet kan dessa skillnader vara bra att utreda vidare då filterinställningarna ändrats i TL. I en sådan utredning kan det även vara bra att säkerställa att mätvagnens datahantering utförs enligt de standarder som finns, då via manuella kontroller ibland bedöms att mätvagnen överskattar allvarlighetsgraden hos de uppmätta felmoderna.

Det finns en skillnad i TL-utslagets karaktär vid lastad mätning i färdriktning mot Narvik, utöver i amplitud, jämfört med de mätningar som utförts med olastad vagn, men även med mätvagnen. Vad som orsakar denna påverkan behöver utredas ytterligare då filterinställningarna ändrats i TL och då detta kan vara information som kan bidra till att fatta beslut om underhåll.

### 4.3. Trend Och Nedbrytningstakt

Under perioden detta arbete har utförts har totalt 40 mätresor gjorts, varav 19 stycken har gjorts då malmvagnen varit lastad i färdriktning mot Narvik och 21 då den varit olastad i färdriktning mot Kiruna. Dessa resor har sammanställts i en färgkarta i vardera färdriktningen vid några platser där fel rapporterats.

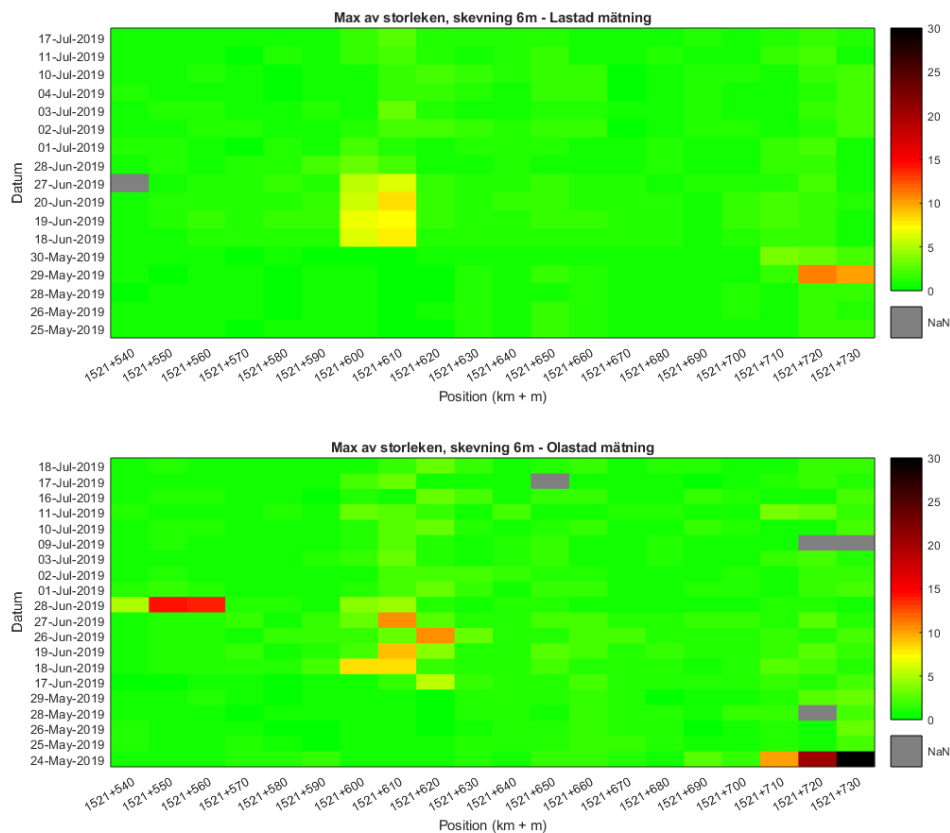
Innan dessa resultat presenteras bör läsaren påminnas om de observationer som diskuterats i kapitel 3. För att undvika problemet med att bestämma vagnens orientering i spåret och hantera den osäker som finns i positioneringen har maxvärdet av storleken på måttet skevning (6m) beräknats för varje 10 m på de utvalda sträckorna. De dagar där mätningar utförts fler än en gång har ett aritmetiskt medelvärde av dessa mätningar beräknats. Då hastigheten har varierat mellan de olika resor som gjorts har det fokuserats på TL:s förmåga att upptäcka avvikelser snarare än att mäta felens exakta storlek. På grund av att tåget har olika maxhastighet beroende på om det varit lastat eller inte har ingen direkt jämförelse mellan de två färgkartorna vid varje plats gjorts.

I Figur 14 ses sträckan 1439+745 till 1439+945 och innefattar alltså positionen som visas i Figur 11 där mätvagnen rapporterat skevningsfel (med 3 m mätbas) på 13 mm. Som ses i figuren tyder TL-mätningarna på att denna avvikelse har kunnat upptäckas redan i slutet på maj och felet tycks inte ha utvecklats till att bli värre under perioden. Att avvikelsen ser ut att vara allvarligare vid mätningar som gjorts då vagnen varit olastad ska här kopplas till att hastigheten vid dessa resor generellt varit högre.



Figur 14: Maxvärdet av storleken för skevning 6m på en 200 meters sträcka under perioden 2019-05-24 till 2019-07-11. Maxvärdet är beräknat för 10 m intervall på sträckan. För de gråmarkerade positionerna (NaN) saknas mätvärden. Den övre figuren visar mätningar gjorda då malmvagnen varit lastad och den undre då vagnen varit olastad.

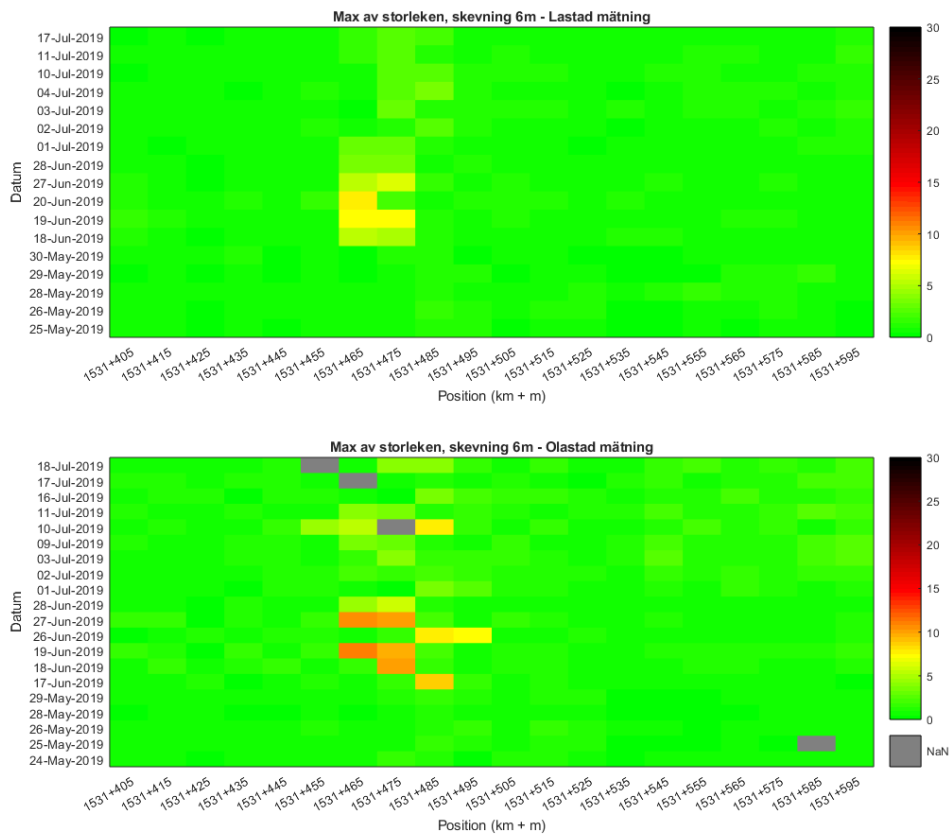
I Figur 15 ses en sträcka där ett akut skevningsfel (med 3m mätbas) rapporterades till Optram 2019-06-28 för att sedan åtgärdas i samband med mättillfället. Felets storlek mättes av mätvagnen till 13 mm på 1521+608 till 1521+610. I figuren ses att denna avvikelse inte visats i TL-mätningarna som gjordes i slutet av maj och att den syns då mätningarna återupptogs igen den 17/6. Detta tyder på att skadan har uppkommit någon gång under en period då malmvagnen, med TL ombord, inte har varit i bruk. Efter att spårriktning utförts den 28/6 ses en tydlig förbättring men det finns, enligt mätningarna, spår av felet kvar även efter åtgärd utförts. I figuren ses även tre tillfälliga avvikelser där systemet misstänks ha saturerats. De högre värdena som visas vid olastade mätningar antas här bero på den högre hastigheten.



Figur 15: Maxvärdet av storleken för skevning 6m på en 200 meters sträcka under perioden 2019-05-24 till 2019-07-11. För de gråmarkerade positionerna (NaN) saknas mätvärden. Den övre figuren visar mätningar gjorda då malmvagnen varit lastad och den undre då vagnen varit olastad. Systemet misstänks ha saturerat i slutet på sträckan den 24/5 och i början av sträckan den 28/6 vid mätningar med olastad vagn samt i slutet av sträckan den 29/5 med lastad vagn. I figuren ses en avvikelse från 17/6 som sedan åtgärdades den 28/6.

Även i Figur 16 ses en sträcka där ett allvarligt fel rapporterades till Optram och spårriktades i samband med mättillfället 2019-06-28. På platsen 1531+475 till 1531+478 rapporterades

ett akut skevningsfel (med 3 m mätbas) med storleken 18 mm samt ett allvarligt skevningsfel (med 6m mätbas) med storleken 21 mm och veckoprioritet. Liksom tidigare kan det i den här figuren ses att avvikelsen har uppkommit någon gång då TL-mätningarna uteblivit i början på juni. Efter åtgärden utförts syns en tydlig förbättring, men även här visar mätningarna att spårläget inte är helt återställt. Även här misstänks att storleken på mätvärdena varierar på grund av hastighetsvariationer.



Figur 16: Maxvärdet av storleken för skevning 6m på en 200 meters sträcka under perioden 2019-05-24 till 2019-07-11. För de gråmarkerade positionerna (NaN) saknas mätvärden. Den övre figuren visar mätningar gjorda då malmvagnen varit lastad och den undre då vagnen varit olastad. I figuren ses en avvikelse från 17/6 som sedan åtgärdades den 28/6.

I detta avsnitt syns att TL kan upptäcka avvikelser i ett tidigt skede förutsatt att det fordon systemet är monterat på är i trafik. Att högre hastighet leder till att utslagen blir större beror, som nämnt tidigare, på de filterinställningar som TL har. Efter att en förändring av dessa inställningar gjorts i system och datahantering sker i linje med de standarder som finns kan nya, pålitliga resultat tas fram och andra faktorerers påverkan kan undersökas, exempelvis färdriktning och axelvikt. Det kan även undersökas om det finns någon korrelation mellan hastighet och spårlägesmätningar även efter att filtrering och hantering av data utförs korrekt, då hastigheten kan ha en inverkan på svaret från banan.

#### 4.4. Faktorer Som Påverkar Mätresultaten

Från resonemanget som förts i kapitel 3.4 induceras ett hastighetsberoende på grund av hur filtreringen görs. Ett exempel på vilken påverkan filterinställningarna kan ha på mätresultaten ses i Figur 4, men även resultaten från jämförelsen som gjorts ovan i 4.1 tyder på att hastigheten påverkar resultaten. I alla de exempel som presenterats i jämförelsen är storleken överlag störst i den mätning som utförts i högst hastighet. Under normal körning med LKAB:s malmtåg är vagnarnas hastighet, axelvikt och tågets färdriktning beroende av varandra. Då vagnarna är lastade kör de i färdriktning mot Narvik och generellt med lägre hastighet än då de körs olastade med färdriktning mot Kiruna. Trots detta kan det ses i kapitel 4.2 att det finns en viss skillnad mellan mätningar som utförts då vagnen varit lastad och då vagnen varit olastad som inte kan kopplas till hastighetsberoendet på grund av filterinställningarna. Detta gör att det finns anledning att tro att det finns ytterligare faktorer, utöver hastigheten, som påverkar mätningarna.

#### 4.5. Sammanfattning av resultat

Det har visats att tågens hastighet påverkar storleken av mätvärdena på grund av olämpliga filterintervall i TL. Detta är något utvecklarna på Damill AB, i skrivande stund, arbetar med att åtgärda. Det finns anledning att tro att ytterligare faktorer påverkar spårgeometrin på grund av skillnader i mätresultat mellan mätningar som utförts med en lastad vagn i nordlig riktning och en olastad vagn i sydlig riktning, vilket är något som bör utredas ytterligare då det är av stort värde att veta hur spåret påverkas och slits under ordinarie trafik.

TL kan, på grund av hastighetsberoendet som nämnts ovan, inte användas för att bedöma olika felmoders allvarlighetsgrad i dagsläget. Bedömningen baseras då endast på montage i långsamma malmtåg medan tillämpning i snabbare tåg mycket väl kan fungera. Det är inte utrett i den här rapporten.

Efter det att nya inställningarna utförts bör nya tester av systemets repeterbarhet göras, för att bedöma om resultaten då kan anses pålitliga. TL har en god positionering, där det i denna studie uppmärksammats att det kan skilja upp till 5 meter i position mellan två mätningar. Detta bedöms inte utgöra något problem för beslutsfattning då man enkelt kan fokusera på längre intervall vid jämförelse över tid. Då TL har utfört mätningar i fjäll-miljö har GPS-bortfall förekommit under perioden detta arbete utförts, detta arbetar man just nu med att i efterhand reparera på Damill så att även mätdata som samlats in i tunnlar och gallerier blir användbara.

Vid en jämförelse mellan Optram-datat och TL kan det ses att storleken på mätvärdena i TL är lägre på platser där fel rapporterats. En bidragande faktor till detta kan vara de filterinställningar som TL har. Att skevningsfel är mindre i TL kan även bero på att systemen använder olika typer av sensorer, mätvagnarna har gyron och TL accelerometrar för att beräkna skevning. Det ska även införas ett gyro i TL och då det är gjort kan detta undersökas närmare. En annan skillnad mellan Optram och TL är att då TL mäter på en vagn med hög axelvikt i färdriktning mot Kiruna har mätresultaten en annan karaktär, utöver minskad amplitud, än de från mätvagnen. Även detta är något som kan vara

nödvändigt att undersöka ytterligare och det måste utredas om mätvagnarna utför mätningar på ett sätt som kan spegla ordinarie tågtrafik, eller om det är så att vissa felmoder inte kan mätas på grund av för låg axelvikt.

Det är möjligt att med TL-mätningar upptäcka avvikelser i ett tidigt skede, då dessa sker ofta. Att bedöma felmoders allvarlighetsgrad med hjälp av TL ombord i malmtåg är idag inte görbart på grund av låga och varierande hastigheter och det hastighetsberoende som finns, men det är troligt att det ska vara möjligt då detta är åtgärdat. Först då kan även en beräkning av spårets nedbrytningstakt göras på ett pålitligt sätt. Att bedöma tillståndet av växlar med TL är även det svårt i dagsläget då systemet ofta saturerar vid hårda slag och stötar. Även detta är något som ska åtgärdas, nya accelerometrar med ett större mätområde har tillverkats och ska installeras i systemet och då detta är gjort finns ingen anledning att tro att en bedömning av växlers tillstånd inte ska vara möjlig.

TL är alltså ett mätsystem med potential att kunna mäta spåret på ett effektivt sätt på grund av möjligheten att mäta felmoder i ordinarie trafik dagligen. Efter förbättringsarbetet slutförts bör det utvärderas och nya tester av systemets repeterbarhet undersökas för att säkerställa att mätningarna är pålitliga. Därefter borde undersökningar i större skala göras för att undersöka hur olika faktorer påverkar spåret.

## 5. Diskussion Och Slutsatser

### 5.1. Felkällor

Alla mätsystem och mätmetoder har sina felkällor och brister, det gäller även TL och mätvagnarna. Dessutom är spåren i konstant förändring, marken rör sig och rälsen slits dagligen. Det finns därför ingen exakt referensmall över hur anläggningarna ser ut, vilket försvårar arbetet i att bedöma hur bra resultat ett mätsystem, avsett att mäta spårläget, producerar. Alla felkällor i ett mätsystem som kan undvikas ska naturligtvis tas bort så att det kan leverera mätresultat som speglar verkligheten på ett bra sätt och för att kunna eliminera dessa måste de först identifieras.

Under detta arbete har uppmärksammandet av felkällor haft en betydande roll. Det inducerade hastighetsberoendet har visats ha en stor inverkan på mätresultaten, och då mätningarna skett i fjäll-miljö har GPS-bortfallen begränsat TL:s mätområden under perioden. Trots att TL har möjlighet att utföra frekventa mätningar av spåret har problemet med att givarna ibland saturerar vid hårda slag och stötar visats vara betydande. Då dessa händelser inte alltid uppfattas av systemet, och därmed döljs, blir det svårt att identifiera exakt när det skett vilket tillför en osäkerhet i mätningarna. En annan felkälla som uppmärksammas är svårigheten i att avgöra vagnens orientering i spåret, vilket kan leda till att vänster och höger räl blandas ihop vid analys.



## 5.2. Rekommendationer Och Förbättringsarbete

Denna studie har som sagt utförts på kontoret hos Damill AB, vilket har gjort att de iakttagelser som gjort kunnat framföras direkt till arbetsgruppen som arbetar med TL. För att ta bort det inducerade hastighetsberoendet har det föreslagits att filtrering ska ske med avseende på längd istället för tid så att man vid analys kan jämföra mätresultaten från TL mellan olika mättillfällen men även med de från andra system. Det har även framförts att de filterinställningar som används bör ändras så att de följer de som anges i standarden (Swedish Standards Institutes, SIS, 2019). För att hantera problemet med att systemet saturerar vid hårda slag och stötar har en annan typ av accelerometrar föreslagits. Det har även förts diskussioner om hur man ska avgöra orienteringen i spåret hos vagnen där mätutrustningen är installerad.

I det pågående utvecklingsarbetet som nämnts redan i inledningen så har den här studien även lyft behovet av nya accelerometrar med mindre förstärkning och filtrering utifrån längd och inte tid. Med framtida uppgraderingar av TL bedöms felmoderna skevning (med 3 och 6m mätbas) bli beräknade utifrån gyromätningarna, och då ett gyro inte har samma begränsningar vid låga frekvenser som accelerometrar skulle dessa mätningar vara pålitliga även vid långsamma hastigheter. Då systemet är monterat på fordon som normalt framförs i låga hastigheter, som t.ex. malmvagnarna så kan accelerometermätningarna främst användas för att upptäcka kortvågiga (hörfrekventa) höjd- och sidofel. De nya accelerometrarna som ska installeras har ett större amplitudområde, vilket gör att mätningar av felmoder vid isolerskarvar och växlar kan göras utan risk att de saturerar.

Att position beräknas även där GPS-bortfall skett gör det möjligt att, med TL, även göra mätningar i tunnlar, gallerier och fjällmiljö med dålig täckning. Med nya filterinställningar ges en möjlighet att undersöka vilken inverkan olika faktorer, som axelvikt, hastighet och färdriktning, har på de olika felmoderna.

## 5.3. Slutsatser

Att TL kan monteras på rälsgående fordon som ingår i ordinarie trafik gör det möjligt att mäta spårgeometrin ofta. Det har visats att dessa mätningar kan användas för att upptäcka fel tidigt efter att de uppstått, men även för att följa utvecklingen av spårgeometrin under en längre tid samt se en effekt av utfört arbete i spåren. För att kunna jämföra mätningar utförda av olika mätsystem krävs att mätdata hanteras på liknande sätt. Då TL idag filtreras på andra villkor än de som anges i standarder för spårålmätning så försvårar det jämförelser med andra system, speciellt i låga hastigheter där filtreringen har störst påverkan. Den här rapporten har endast studerat användningen ombord i malmtåg med hastigheter upp till 70 km/h och där ses tydlig påverkan av hastigheten på de olika mätvärdenas amplituder. Det blir då svårt att bedöma den allvarlighetsgrad de uppmätta avvikelserna har om hastigheten (och därmed amplitud) varierar mellan mättillfällena. Om man kan hitta och välja återkommande mätresor med små hastighetsskillnader så är resorna jämförbara sinsemellan men det begränsar användningen. Användning ombord i andra tåg med högre hastighet kan mycket väl fungera bra men det är inte analyserat i den här rapporten.

Att mätutrustningen är monterad på en vagn som ingår i reguljär trafik antas innebära att man får regelbundna mätningar med täta intervall. I den här studien har den instrumenterade vagnen av olika skäl varit borta flera veckor i sträck. Därför krävs ett nära samarbete med fordonsägaren för att se till så att mätutrustningen placeras på ett fordon som används regelbundet, så att uppkomsten av felmoder inte riskeras att missas. Att mätningarna sker ofta medför även att datamängderna växer och hanteringen av dessa data blir tidskrävande. Trots detta är frekventa mätningar att föredra för att det ska vara möjligt att upptäcka fel och avvikelser så tidigt som det är möjligt, i Figur 15 och Figur 16 syns att man har missat uppkomsten av avvikelser på grund av att mätningar uteblivit i 17 dagar. Vid framtida studier av denna karaktär är därför ett närmre samarbete med fordonsägaren viktigt men även ett nära samarbete med de distrikt och underhålls entreprenörer och Trafikverks-distrikt som styr och utför underhållet samt åtgärder på järnvägen är att rekommendera.

Ytterligare en fördel med att systemet kan monteras på valfritt fordon är att det medför en möjlighet att undersöka vilken effekt olika faktorer har på spåret, exempelvis vagnens axellast, hastighet och tågets färdriktning. Det har visats i denna rapport att det finns en synbar skillnad mellan en lastad TL-mätning i färdriktning mot Narvik och en olastad i färdriktning mot Kiruna. Det kan även ses att TL-mätningarna vid hög axellast även skiljer sig mot mätvagnens mätningar. Det bör därför utredas vidare vad denna skillnad beror på. Finns det en möjlighet att mätvagnens mätningar inte utförs på rätt sätt, eller kan det vara så att mätvagnens mätningar inte är tillräckligt representativa för att avspegla felmoder som uppstår under normal tågtrafik med höga axellaster?

#### 5.4. Framtida Arbete

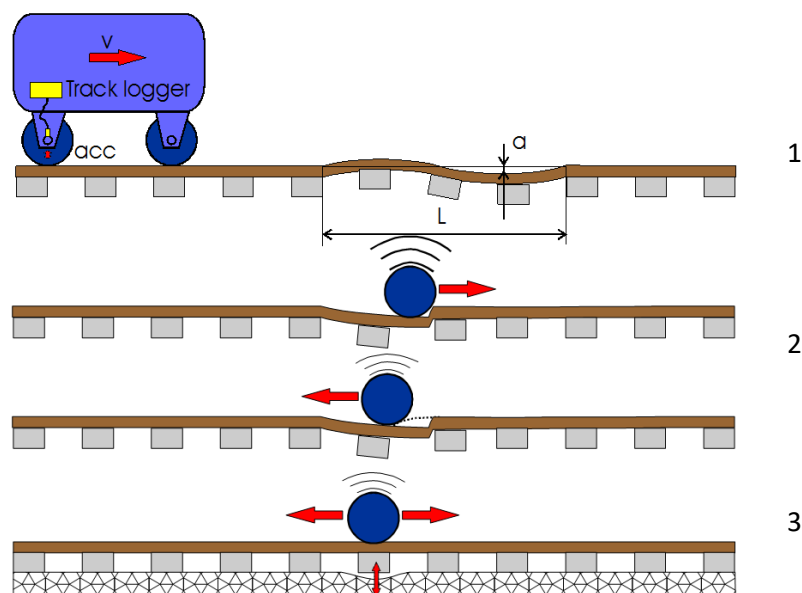
Efter det att Damill framöver slutfört arbetet med att beräkna position där det saknats GPS-mottagning och justerat filterinställningarna, så att mätdata kan bearbetas enligt de föreskrifter som finns i standarden (Swedish Standards Institutes, SIS, 2019), bör systemets repeterbarhet/reproducerbarhet testas. Enligt del 2 av standarden för Spårlägeskvalitet (Swedish Standards Institutes, SIS, 2006) kan ett mätsystems repeterbarhet eller reproducerbarhet till exempel testas genom att först beräkna den glidande standardavvikelsen över 200 meter på en teststräcka som är minst 10 km lång för två närliggande mätningar för att sedan jämföra differensen av dessa. Fördelningen av denna differens ska därefter studeras för varje parameter som mäts, där de resulterande värdena i den 95:e percentilen ska vara lägre än de angivna i Tabell 2.

<u>Parameter</u>	<u>Repeterbarhet</u>	<u>Reproducerbarhet</u>
Höjdläge (1-25 m)	0,04 mm	0,08 mm
Lateralt läge (1-25 m)	0,06 mm	0,1 mm
Skevning 6m (beräknat från rälsförhöjning)	0,2 mm/6m	0,3 mm/6m
Skevning 3m (beräknat från rälsförhöjning)	0,1 mm/3m	0,2 mm/3m

Tabell 2: Fördelningen av differensen mellan standardavvikelseberäkningarna på två närliggande mätresor ska utvärderas. Den 95:e percentilen av värdena från denna differens ska enligt standarden (Swedish Standards Institutes, SIS, 2006) vara lägre än de som är angivna i tabellen för varje parameter vid mätning av repeterbarhet och reproducerbarhet.

Dessa tester bör göras för varje mätsystem avsett att mäta spårgeometrin för att säkerställa att de mätresultat som levereras är pålitliga. Det rekommenderas även att liknande tester utförs för de nuvarande mätsystemen för spårålmätning, om detta ännu inte gjorts.

I kommande analyser av TL föreslås även att olika faktorerers inverkan undersöks närmre. Det är enkelt att föreställa sig de tre typer av felmoder som visas i Figur 17. Den översta moden är sinusformad, med en våglängd  $L$  och amplitud  $a$ . I fel av samma typ som det i nr 2 i figuren är det troligt att tågets färdriktning kan vara avgörande för storleken på mätutslag. I det tredje fallet ses en dåligt stoppad sliper och på sådana platser kan det tänkas att vagnens axelvikt påverkar mätningar som utförs.



Figur 17: Tre typer av felmoder, nr 1 ett sinusformat fel med våglängd  $L$  och amplitud  $a$ , i nr 2 ses en kant i rälen där tågets färdriktning kan spela roll och felet i nr 3 föreställer en dåligt stoppad sliper. Bilden är skapad av Dan Larsson, vd Damill AB.

När TL är monterad på en malmvagn för att mäta bdl111, som det varit under detta arbete, och malmtåget kör sina ordinarie turer är de ovan nämnda faktorerna högt korrelerade. Resor som görs i färdriktning mot Narvik har är lastade och vagnarna har därmed högre axellast än vid de resor som görs i färdriktning mot Kiruna då tågen är olastade. Dessutom har tågen en högre tillåten maxhastighet då de kör olastade än då de kör lastade.

För att undersöka vilka faktorer och samspelsfaktorer som påverkar resultaten kan ett kontrollerat experiment utformas, där ett två-faktorsförsök (Carlson, 2018) kan tänkas vara lämpligt. Ett sådant försök kan för faktorerna färdriktning, hastighet och axellast utformas

genom att bestämma två lägen för vardera faktorn och för sedan utföra mätningar där man varierar dessa slumpmässigt. Se

för ett exempel på ett fullfaktorsförsök som kan utformas (mätningarna bör randomiseras för bästa resultat). Försöken kan även utökas till att omfatta fler faktorer, då krävs fler mätningar.

Resultaten av kan därefter utvärderas för flera olika responsvariabler i form av olika typer av felmoder, t.ex. kan faktorernas effekt på mätvärdena vid en dåligt stoppad sliper eller en kant i rälen skattas. Detta kan därmed bidra till en utökad förståelse om vilken påverkan olika tonnage, färdriktning och hastighet har på olika felmoder. Om mätningarna utvärderas för många typer av spårlägesfel skulle denna information bidra till att man i ett senare skede kan avgöra vilken typ av åtgärd som är nödvändig bara genom att granska mätvärdena, vilket skulle effektivisera planeringsarbetet.

Mätning 1	Hög hastighet	Hög axelvikt	Nordlig färdriktning
Mätning 2	Hög hastighet	Hög axelvikt	Sydlig färdriktning
Mätning 3	Hög hastighet	Låg axelvikt	Nordlig färdriktning
Mätning 4	Hög hastighet	Låg axelvikt	Sydlig färdriktning
Mätning 5	Låg hastighet	Hög axelvikt	Nordlig färdriktning
Mätning 6	Låg hastighet	Hög axelvikt	Sydlig färdriktning
Mätning 7	Låg hastighet	Låg axelvikt	Nordlig färdriktning
Mätning 8	Låg hastighet	Låg axelvikt	Sydlig färdriktning

*Tabell 3: Ett exempel på hur ett försök kan designas för att uppskatta effekten av hastighetens, axelvikten och färdriktningens inverkan på mätningarna. För bästa resultat bör dessa mätningar utföras slumpmässigt i den mån det är möjligt (Carlson, 2018).*

Ser man längre fram skulle dessa spårlägesmätningar även kunna automatiseras ytterligare så att analys av mätresultaten sker automatiskt. Detta skulle då kunna göras genom att använda, den numera trendiga, tekniken AI och lärande maskiner för att upptäcka felmoder i ett utvecklingsstadium. Därefter kan felen klassificeras med tränade algoritmer som känner igen olika typer av fel. Trender kan skapas och ett automatiskt beslutsstöd skapas. Entreprenören skulle då med denna teknik enkelt kunna förbereda sig för att åtgärda spårlägesfel innan de utvecklats till att bli allvarliga.

## Referenser

- Carlson, J. E. (2018). *Measurement Systems Engineering - Design, Modeling and Computational Methods, 1st edition*. Luleå: JEC Engineering and Media Production AB.
- Larsson, G. (2015). *Utvärdering av Track Logger - Mätning av järnvägsinfrastruktur via reguljär trafik med mobil mätutrustning*. Luleå: Trafikverket.
- Swedish Standards Institutes, SIS. (den 01 06 2006). SVENSK STANDARD SS-EN 13848-2:2006. *Järnvägar – Spår – Spårlägeskvalitet – Del 2: Mätssystem – Fordon för spårlägesmätning*.
- Swedish Standards Institutes, SIS. (den 02 04 2019). SVENSK STANDARD SS-EN 13848-1:2019. *Järnvägar – Spår – Spårlägeskvalitet – Del 1: Karakterisering av spårläge*.
- Trafikverket. (den 14 03 2015). *PIA – Produktivitets- och Innovationsutveckling i Anläggningsbranschen*. Hämtat från [https://www.trafikverket.se/contentassets/4f625f6c59d948cbbdfe7037e6b76690/produktivhetsprogram\\_uk\\_jarnvag\\_1.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/4f625f6c59d948cbbdfe7037e6b76690/produktivhetsprogram_uk_jarnvag_1.pdf) den 14 08 2019
- Trafikverket. (den 19 01 2018). *Koll på spåret i 200 km/tim*. Hämtat från <https://www.trafikverket.se/tjanster/system-och-verktyg/forvaltning-och-underhall/Periodisk-matning/Spar-och-kontaktledningsmatningar/Koll-pa-sparet-i-200-kmtim/> den 14 08 2018
- Trafikverket. (den 14 08 2019). *Järnkoll om tågresor*. Hämtat från Trafikverket: <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/jarnvag/jarnkoll---basfakta-om-den-svenska-jarnvagen/jarnkollom-tagresor/> den 14 08 2019
- Trafikverket. (den 02 07 2019). *Järnkoll på spåren*. Hämtat från <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/jarnvag/jarnkoll---basfakta-om-den-svenska-jarnvagen/jarnkoll-pa-sparen/> den 14 08 2019



**TRAFIKVERKET**

Trafikverket, Box 809, 971 25, Luleå Besöksadress: Sundsbacken 2-4  
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 020-600 650

[www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se)