

Vibrationsrelaterade problem med GS M32

Ann-Charlotte Kårhag

Martin Davidsson

Bo Johansson

2024-05-14

Problemen...

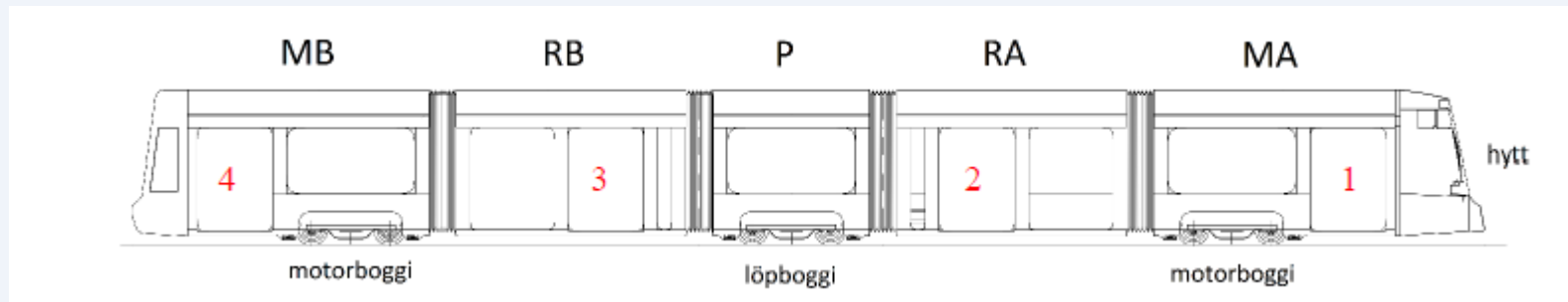
Förarkåren upplever problem,
helkroppsvibrationer...

Fordonen spricker ...



Spårvagn M32

En serie om 65 spårvagnar byggda och ursprungligen utvecklade av italienska Ansaldo-Breda med modellnamnet "Sirio". Leveranser 2004-2012.



Fordonen har "stela truckar" (inga rörliga boggier) vilket medför att nästan all vridning görs i lederna. Vidare förlängdes främre överhängen enligt önskemål från Göteborgs politiker samt att vagnskorgen bantades för att inte belasta Hisingsbron för mycket. Detta gjordes genom att välja höghållfast stål (S500MC) med klenare gods ($t=2$).

PROBLEM 1: Förare upplever fysiska besvär i varierande omfattning vilket en del kopplar till spårvagn M32. Det har resulterat i GS och Västtrafik arbetat med förarnas arbetsmiljö. Steg 1 var att byta stolen mot en fjädrande stol (liknande vad som finns i bussar) med dämpning till skillnad från "originalstolen". Då det inte tycks eliminera problemen har vi i ett steg 2 mätt och utvärderat.



PROBLEM 2: Vagnskorgen spricker i dörröppningshörnen i delarna RA & RB. Dessa avvikelser identifierades under "normalt" underhåll med början 2018. Redan i samband med åtgärdandet av andra problem (golv) upptäcktes sprickbildning i anslutning till lederna och de aktuella områdena förstärktes (innan 2014).

Vilken provning har vi genomfört ?

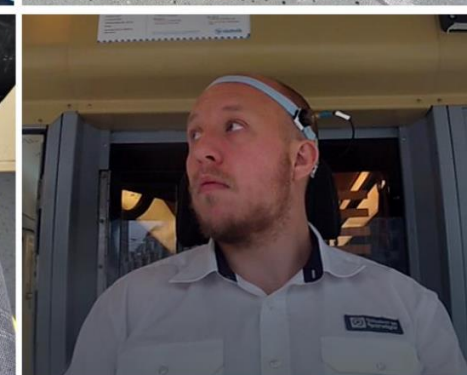
Utifrån vibrationsexponeringen för förarkåren har vi gjort en ”kartläggning” av alla linjer och hela banan med hjälp av dels ett antal accelerometrar men även med video. Specialister har sedan utvärderat värden och vad förare exponeras för.

För att förstå sprickproblematiken har det gjorts lastmätningar med trådtöjningsgivare/accelerometrar, modellering av vagnskorgen samt simulering, materialanalys av defekterna, spårskivning (spårmätning) för ”utvalda delar” av banan plus gånganalys.

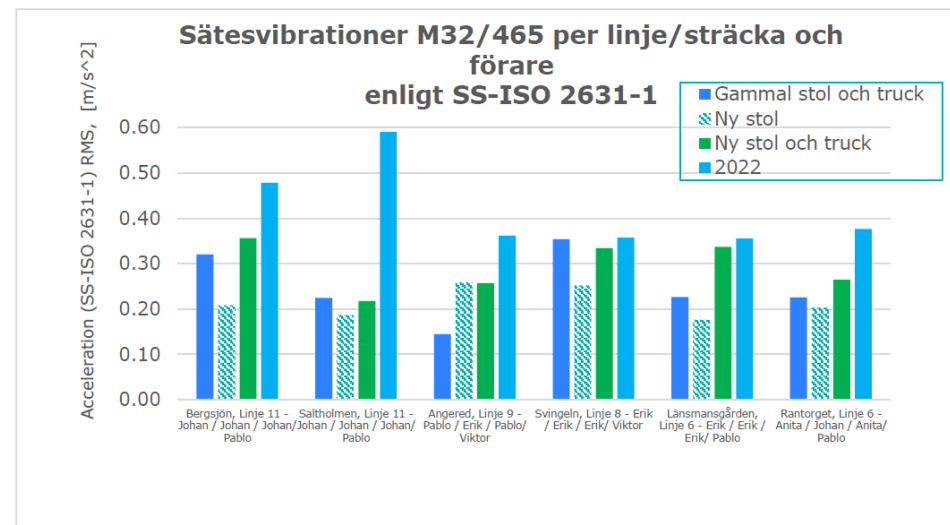


Förarmiljö-relaterad provning

4 accelerometrar (stolsinfästning, stolsdyna, förarbord & förarens huvud) loggas med GPS-data för hela bananläggningen. Både fram och tillbaka. Dessutom filmade vi "framåt och bakåt". 6 dagar, samtliga "linjer", i trafik, olika förare (exempel dag 1 nedan). Dessutom har vi bytt komponenter system för att förstå ev slitagepåverkan.



Dag 1	Start - första hållplats	Stopp - sista hållplats	Tid min omlopp		
Trsp	Rantorget depå - utkörning till Östra sjukhuset	Depå Rantorget	Östra sjukhuset	13	08:30
1	Östra sjukhuset - Centrum - Tynnered	Östra sjukhuset	Opaltorget	45	↓
1	Tynnered - Centrum - Östra sjukhuset	Opaltorget	Östra sjukhuset	45	
5	Östra sjukhuset - Torp - Centrum - Länsmansgården	Östra sjukhuset	Varmfrontsgatan	46	
5	Länsmansgården - Centrum - Torp - Östra sjukhuset	Varmfrontsgatan	Östra sjukhuset	46	
Trsp	Östra sjukhuset - hemkörning till depå Rantorget	Östra sjukhuset	Depå Rantorget	13	12:30
			Total tid (min/ tim)	208	3,5



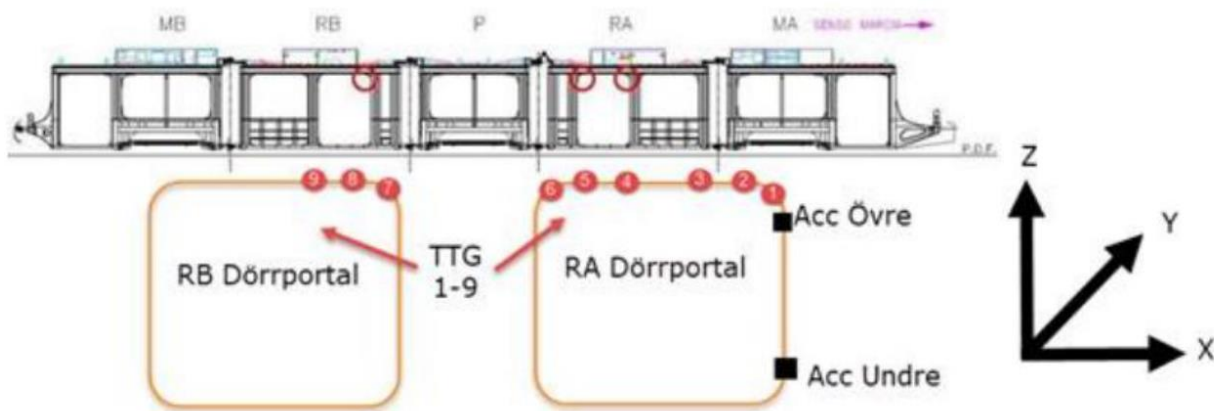
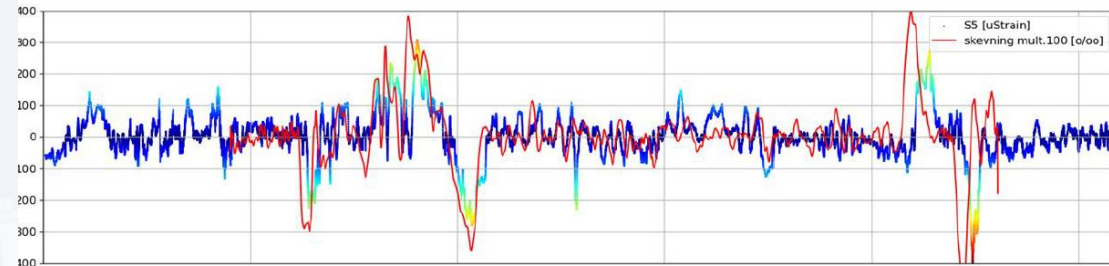
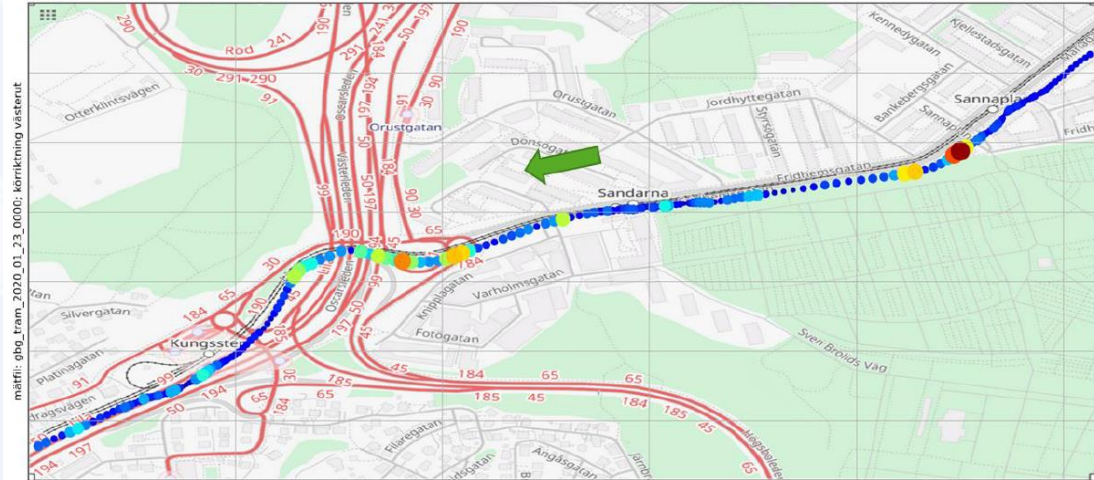
FIGUR 5: BERÄKNAT EFFEKTIVVÄRDE FÖR FREKVENSVÄGD ACCELERATION FÖR SÄTESVIBRATIONER FRÅN UTREDNINGEN 2021 OCH 2022

Provning utifrån sprickor i vagnskorg

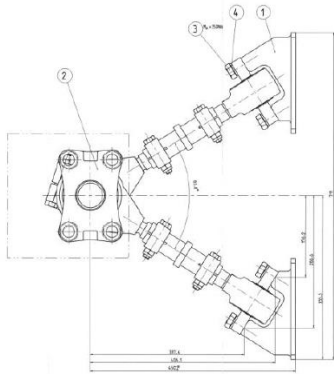
Efter upptäckten av sprickor i fordon gjordes en "fleet check" med fokus på sprickor.

Därefter utrustades ett fordon med 9 trådtöjningsgivare samt 2 accelerometrar och kördes på hela banan, data samlades med 500Hz och GPS-position med 1Hz. Trådtöjningsgivarna placerades enligt bilden nedan.

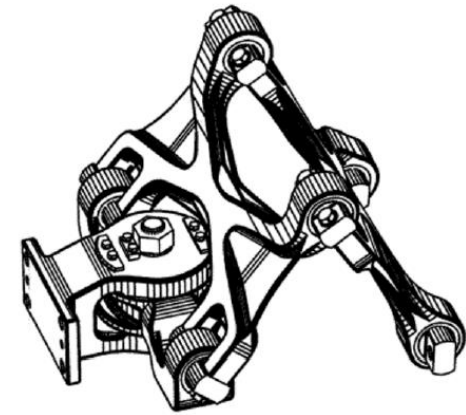
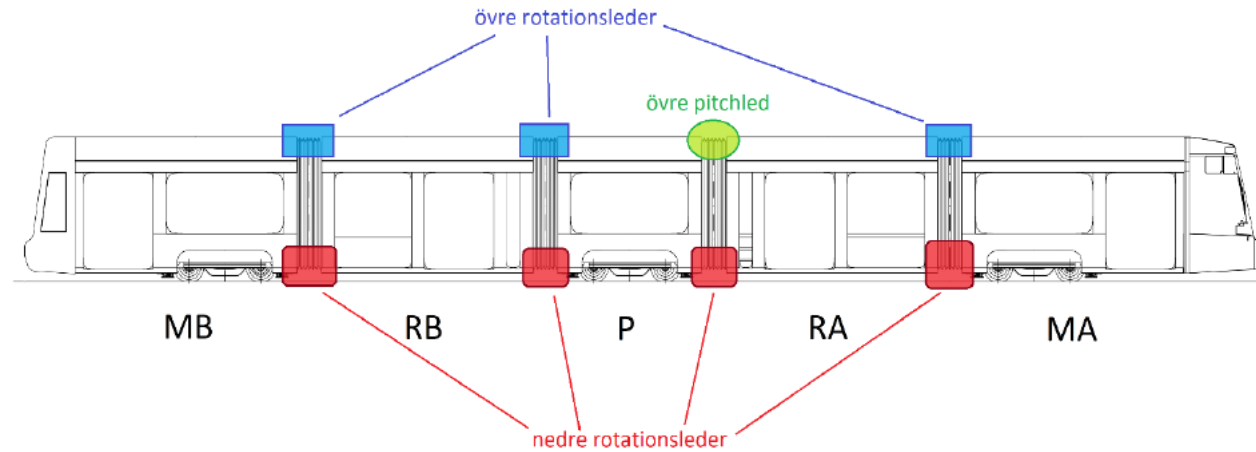
På de platser där signalen var "intressant" genomfördes en spårmatning med en "tralla" för att dels bekräfta eventuell korrelation men även, i någon mån, kontrollera banans status.



M32 struktur



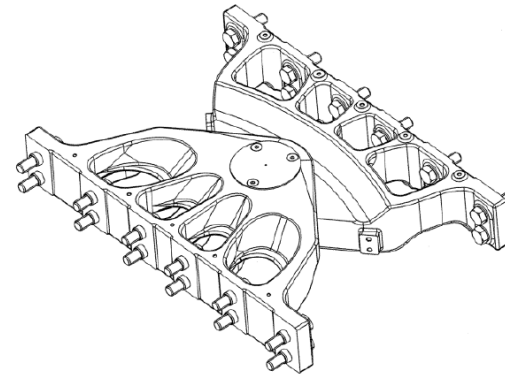
Figur 5. Övre rotationsled.



Figur 6. Övre pitchled.

Fordonen består av 5 "sektioner" med truckar under 3 av dem. Delarna "RA & "RB" hänger mellan 2 sektioner med truck. Sprickproblematik har iakttagits uteslutande i de hängande sektionerna (oavsett om det handlade om sprickor i anslutning till led eller sprickor i dörrportalerna.

Granskningen av materialet har antytt att det handlar om utmattningsrelaterade sprickor.



Figur 7 Skiss av nedre led.

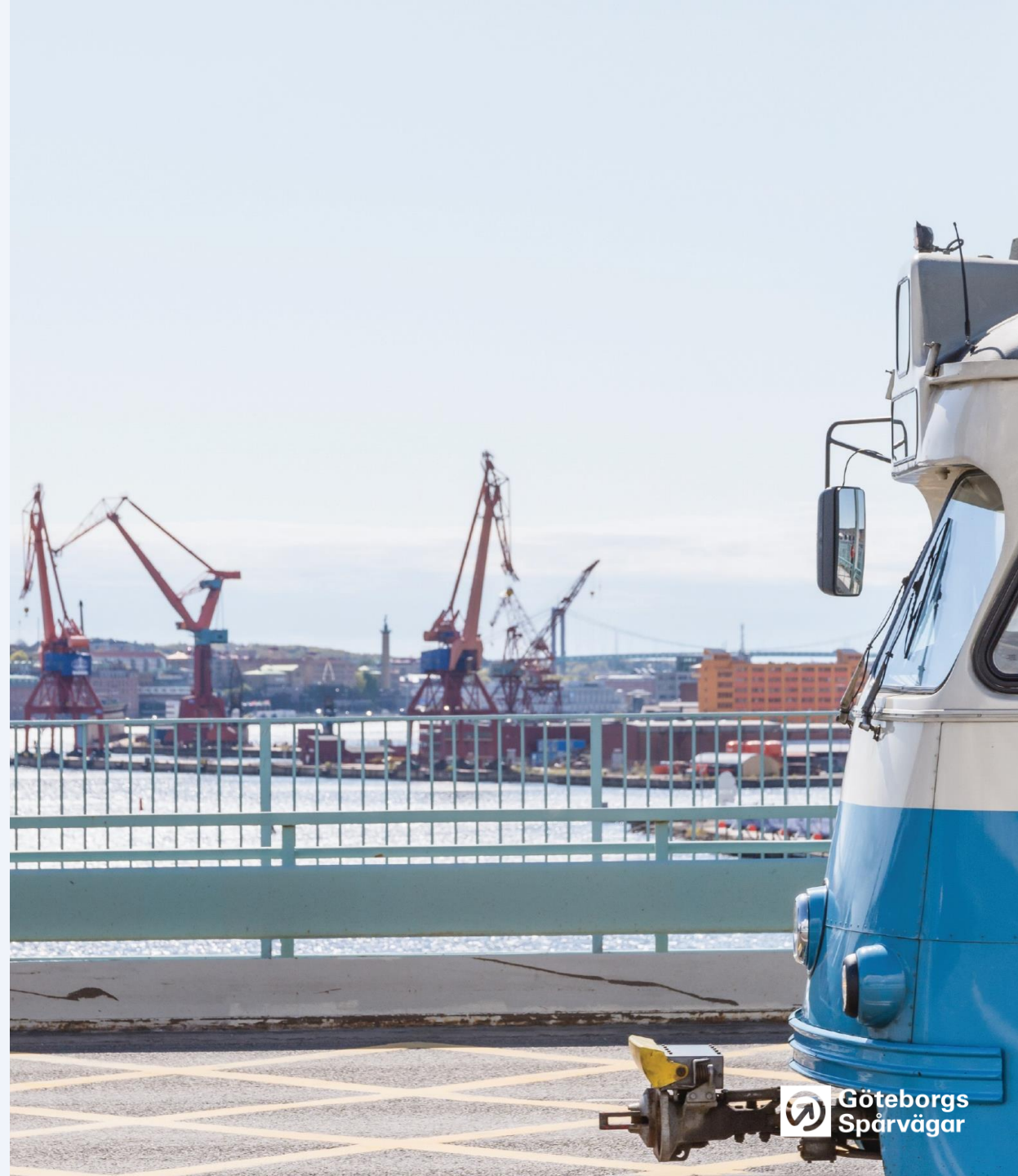
Svårigheter i provning och analys

Inledningsvis konstaterar vi att tillverkaren inte finns längre. Det innebär att underlag och dimensionerande resonemang inte går att komma åt. Den relativt bristfälliga dokumentation som levererades med fordonen var tämligen otillfredsställande. Så vi har haft att "bygga" egna underlag.

Utifrån sprickproblematiken har hela vagnskorgen modellerats upp i 3-D.

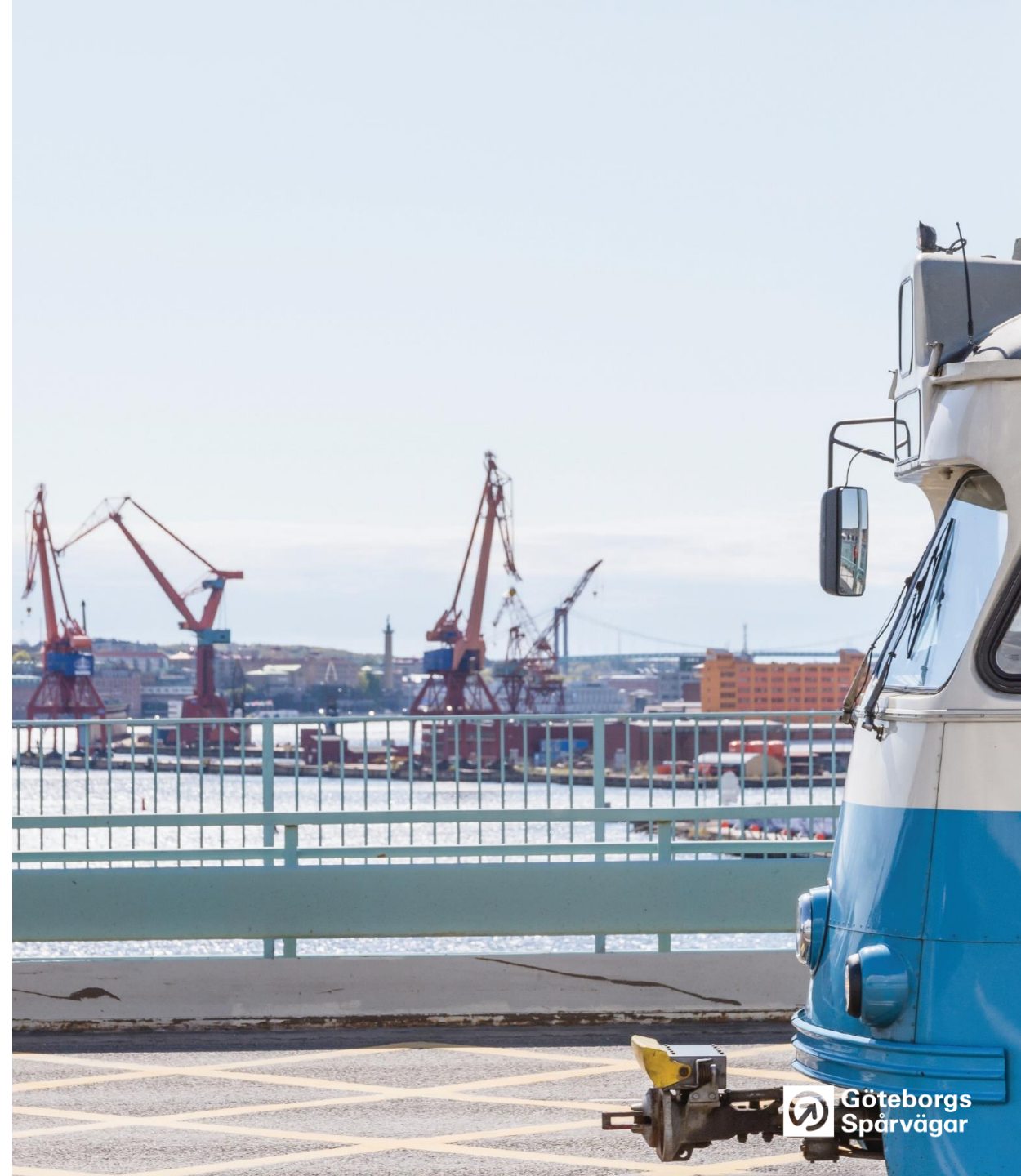
Att komma åt fordon för provning är inte helt enkelt. Montering av provutrustning medför att trafiksättning påverkas. Vidare vill vi genomföra provningen på ett fordon som är "korrekt" och under realistiska former. Alltså behövde vi även undersöka provobjekt för att identifiera lämpliga individer och sedan ta dessa, de bästa fordonen vi har i flottan, ur normal trafik för att förbereda för provning, genomföra provning och återställa efter prov.

Avslutningsvis, fordonen är verkligen individer och banan förändras över tid genom slitage och olika arbeten såsom Västlänken.



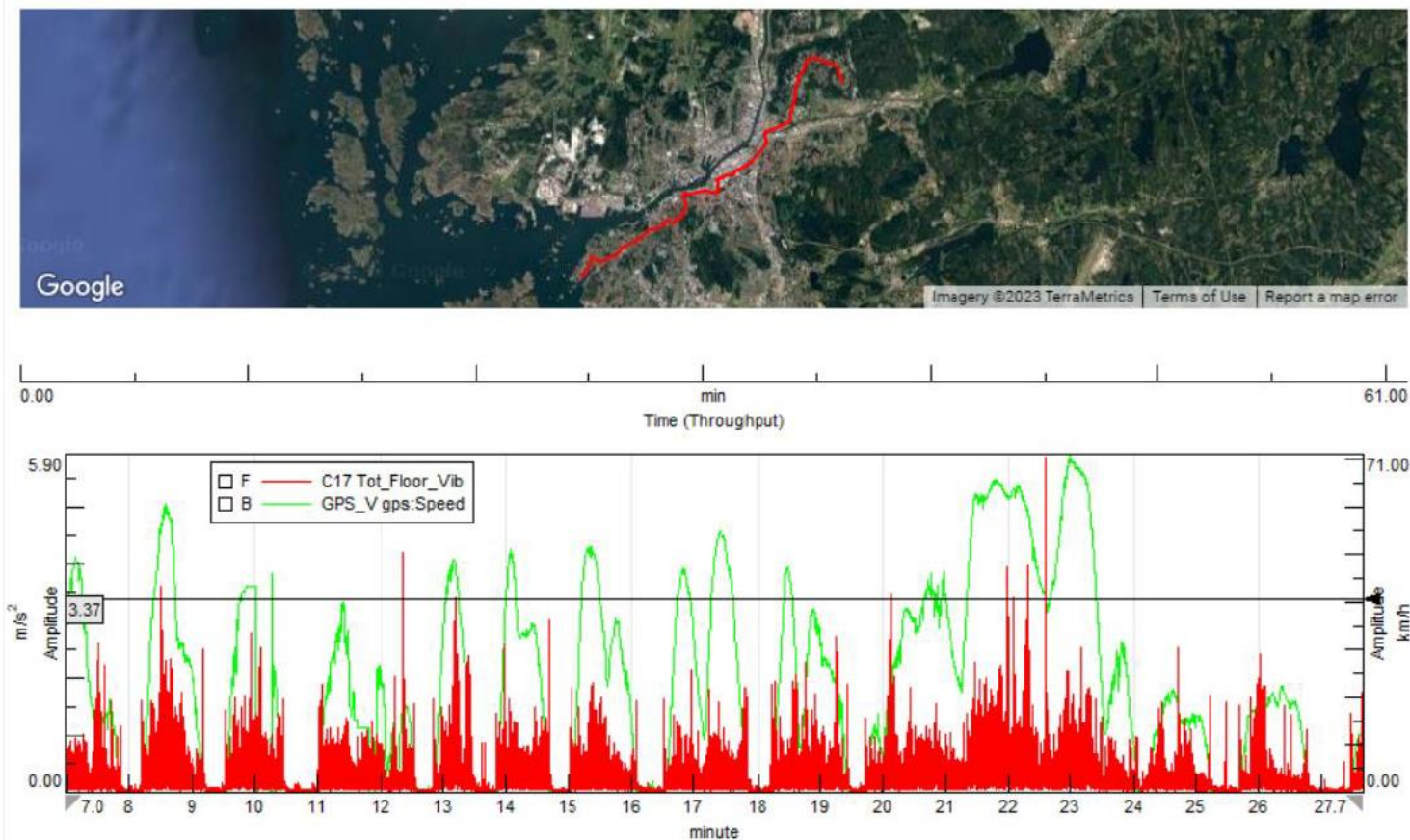
Resultat

Vi redovisar här, mycket komprimerat, vad som kom fram i de två ärendena.



Helkropps- vibrationer

De av förarkåren upplevda besvären har av ergonomer och arbetsmiljöexperter kopplats till helkropps-vibrationer. Utifrån det perspektivet utvärderades de resultat som kom ut av provningen.



FIGUR 4: EXEMPEL PÅ GOLVVIBRATIONER SOM ÖVERSTIGER DEN KRITISKA ACCELERATIONSNIVÅ - I DETTA FALL EN DELSTRÄCKA MED $9 * RMS = 3,37 M/S^2$.

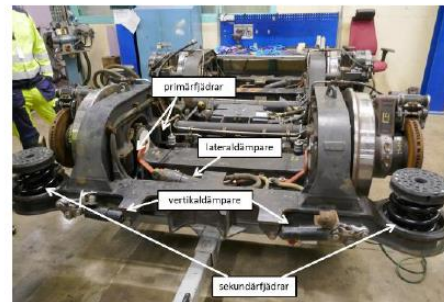
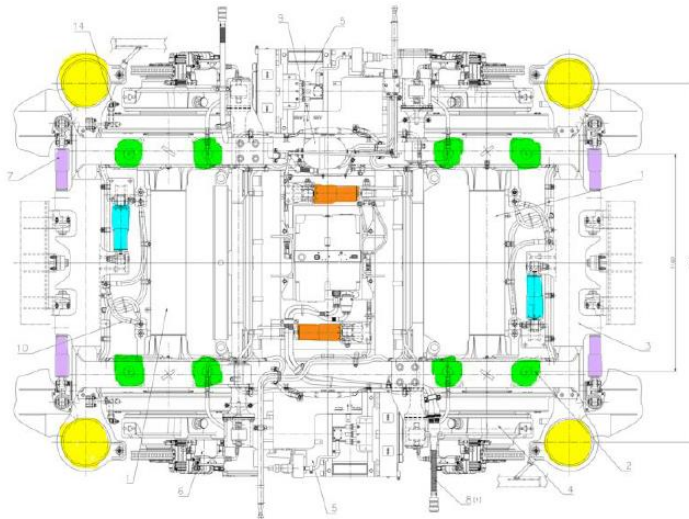
Arbetsmiljöverket har rekommendationer vad gäller såväl kritiska accelerationer som aggregerad exponering. Vi ser ovan ett exempel på en linje och registrerade värden. Utifrån GPS-positionering kunde vi sedan se var gränsvärdet överskreds plus att vi kunde summera total exponering per linje.

Analysen

Som framgick av bilden på föregående sida identifierades ett (stort) antal “punkter” längs linjen där gränsvärdet överskreds. Det är platser på banan där det finns störningar (planerade eller oplanerade) som spårkryss, växlar eller liknande alternativt sättningar eller slitage av olika anledningar.

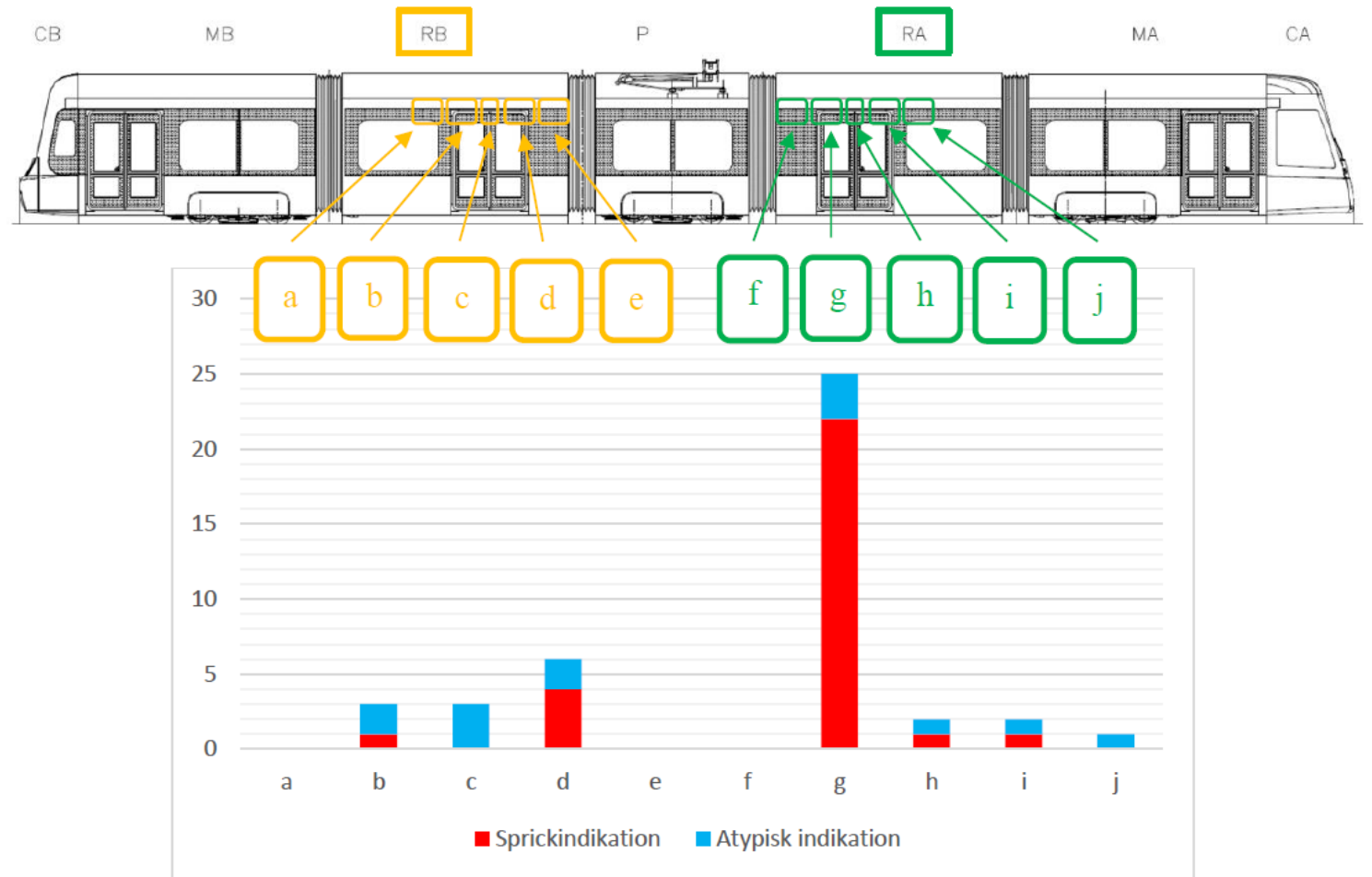
Analys av total exponering har även visat att vissa linjer ligger så högt att förare riskerar att drabbas av oacceptabelt höga nivåer av helkroppsvibrationer liknande vad maskinoperatörer inom entreprenadbranschen kan utsättas för under arbete i grävare, dumper och liknande utrustningar.

Genom att mäta vissa sträckor före och efter åtgärd framgår att banan spelar en avgörande roll men det är även så att fordonet M32 är ur konstruktiv synvinkel känsligare för “defekter” i bananläggningen jämfört med de äldre vagnstyperna M29 och M31. Det beror på huvudsakligen på låggolvskonstruktionen (se nedan illustration rörande hjulupphängningen), materialvalet och på det förlängda främre överhänget.



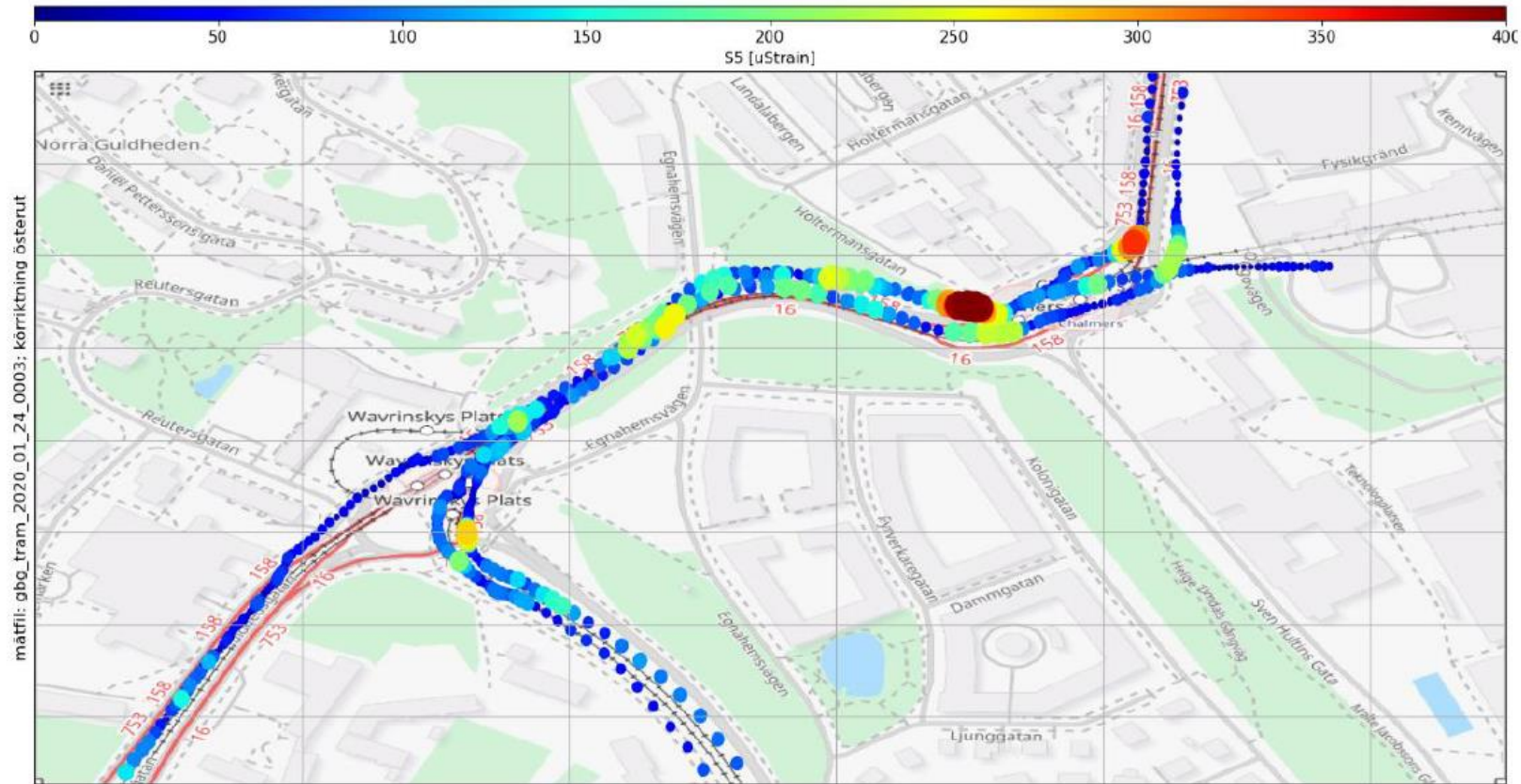
Sprickor i vagnskorg

Historiken med sprickor i anslutning till lederna (upptäckt tidigt i fordonens liv och åtgärdat med förstärkningar) samt noteringar om enstaka sprickor i dörrportalerna från 2018 och framåt medförde att uppmärksamheten på problemet var på plats och en viss beredskap att frågan existerade.



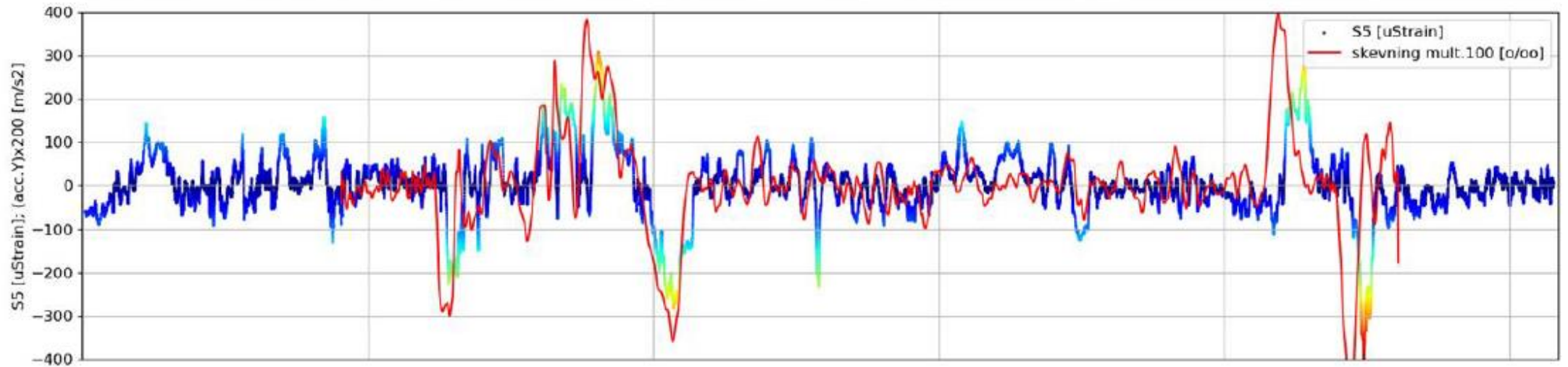
En total fleetcheck visade på förekomsten av sprickor enligt ovan. Merparten av M32-fordonen hade (begränsade) sprickor i strukturen runt dörrarna i RA och RB. Huvudsakligen RB.

Analysen



Med hjälp av mätdata från accelerometerprovning och trådtöjningsgivarna samt beräkningar utifrån den 3-D-modell av vagnskorgen vi gjorde kunde vi konstatera att sprickförekomsten var rimlig. Vidare ser vi att utifrån banans egenskaper (inte minst skevning) och vagnskorgens konstruktion så är det inte ett ändamålsenligt fordon för den aktuella applikationen. Den stipulerade livslängden om 20 år kan inte förväntas utan återkommande reparationer.

Analysen (forts)



Spårmätningen visade på skevningsvärden upp till 0,6% (gränsvärde 0,25%) där trådtöjningsgivarna ger störst utslag. Korrelationen mellan uppmätt skevning, gångdynamisk analys, uppmätta värden från trådtöjningsgivare och accelerometrar och beräkningsvärden är god.

Analysen med gångdynamiksimuleringen visade även att det förlängda främre överhänget accelererade utmattnings-problemet. I kombination med bytet av stålqualität (förvärrat av den reducerade godstjockleken) ser vi att den uppkomna situationen är rimlig.

Åtgärder

- En första åtgärd kring förarnas arbetsmiljö var att byta till en bättre stol och införa hastighetsbegränsningar på de värsta sektionerna av banan. Med ökad erfarenhet och kunskap av rotorsaken har vi tillsammans med stolstillverkaren introducerat en underhållsplan med revision av stolarna. Arbetet med att anpassa "omlopp" och utsättning pågår för att förare inte skall exponeras för stora "laster".
- Beträffande sprickorna har såväl kontrollprogram som reparationsmetoder utvecklats.

Vad har vi lärt oss ?

Modifiering av fordonen, de förändringar av "grundfordonet" som Göteborg valde har visat sig ha dramatisk påverkan på förloppet. Att lära av inför framtida upphandlingar.

Bananläggningen. Göteborgs spårvägsbana är till stor del en stadsbana med snäva kurvor. Dessutom, i likhet med annan infrastruktur, lider man av underhållsskuld vilket medfört att banan inte är i enlighet med de specifikationer som den varit avsedd att ha. Olika lösningar för frekventare övervakning av anläggningens status utreds och förväntas tas i bruk senast 2025.

Låggolvskonceptet medför att korgen måste göras väldigt styv samtidigt som boggierna och fjädningen utformats för ett maximalt slätt och lågt golv snarare än hållbarhet. I många andra sammanhang har man valt lösningar där partierna med hjulupphängningar tillåtit bygga i vertikalled för att skapa utrymme och därmed förbättrad hållbarhet.

Frågor ?





TACK FÖR ER UPPMÄRKSAMHET!

Ann-Charlotte Kårhag, Martin Davidsson, Bo Johansson