

Tillståndsovervakning av järnvägsinfrastruktur

En studie för framtidens sakernas internet-lösningar

Jonas Lindqvist

Högskoleingenjör, Underhållsteknik
2017

Luleå tekniska universitet
Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser

Förord

Denna rapport är mitt avslutande examensarbete vid Luleå tekniska universitet inom programmet högskoleingenjör Underhållsteknik. Examensarbetet motsvarar 15 högskolepoäng och har genomförts under perioden mars till juni 2017. Studien är en del av Vinnovapjektet; Tillståndsbaserat underhåll av järnvägsinfrastruktur baserat på sakernas internet-lösningar, i samarbete med Trafikverket. Arbetet har utförts med stöd från det strategiska innovationsprogrammet InfraSweden2030, en gemensam satsning av VINNOVA, Formas och Energimyndigheten.Handledare till arbetet har varit biträdande universitetslektor Christer Stenström från Luleå tekniska universitet och Arne Nissen från Trafikverket.

Under tiden för denna studie har representanter från Trafikverket och entreprenören Infranord ställt upp och delat med sig av sin erfarenhet och kunskap inom ämnet i form av diskussioner och intervjuer. Denna information har varit till stor hjälp i mitt examensarbete vilket jag är väldigt tacksam över.

Avslutningsvis vill jag ge ett stort tack till alla som varit involverade i detta projekt och i synnerhet min handledare Christer Stenström som givit mig chansen att jobba med detta projekt och följt arbetet kontinuerligt samt bidragit med konstruktiv feedback, nya infallsvinklar och värdefulla idéer.

Abstract

Since condition monitoring devices today are cheap, small size and more powerful than before, hardware can be built together, software programmed, and then applied to critical parts of a system, more cost-effective and to a greater extent than before. On a large scale this is called the Internet of Things, and is the future of today's maintenance work, as staff no longer needs to be physically present to the same extent as before. A proprietary solution today generally costs over 5,000 SEK. This project has processed prototypes at a cost of approximately 1,000 SEK with open hardware and software, which supports business development and contributes to a wider range of suppliers, which puts pressure on the market for different solutions.

The purpose of this study is to develop and test measurements in real environment for condition monitoring of exposed parts of the railway infrastructure, such as point errors in track and railroad switches. The project includes prototypes, energy management, data logging and how useful these data are. The sensors are of the type MEMS accelerometers and various assemblies of these have been tested. The goal has been to evaluate how these works in a real environment and how user friendly these are to measure the movement of rails and grinders.

Field test showed that an accelerometer-based wake-up sensor can wake a measuring system by vibration in the rail approximately 70 meters before the train reaches the sensor. Clearest measurement data for analysis was obtained when mounted on grinders and when a distance of about 70 meters was taken. Mounting in close proximity to the measurement object on the rail life contributed to a signal with high frequency vibration input. When clear measurement data was obtained, the number of bogies and axes could be identified, this could be verified by image on the train.

Measurement data analyzed could through integration obtain displacement in vertical as well as lateral direction. This is useful, both for infrastructure managers and for maintenance entrepreneurs, as degradation can be detected in time and preventive maintenance actions can be set against the relevant failure types. The desired lifespan according to infrastructure managers was at least five years, and after measuring current consumption according to the current specification, this is achieved if measurements take place seven times a day with lithium batteries (1200 mAh) as the power source. As a first step towards the Internet of Things, this work has created a good foundation to make this reality.

Continued work after this project may include gprs and Wi-Fi for internet connection as well as current measurement to see how much usage is increasing. Parallel coupling of batteries can be a solution for longer service life if consumption is significantly affected. Different variants of filtering for a clearer signal may also be of interest. Other types of sensors, both for verification of results in this report and for testing alternatives. This may include geophones, multi-depth deflectometers and other types of accelerometers

Sammanfattning

Då komponenter för tillståndsövervakning idag är billiga, små storleksmässigt och kraftfullare än tidigare, kan hårdvara byggas ihop, mjukvara programmeras och sedan appliceras på kritiska delar i ett system, mer kostnadseffektivt och i större omfattning än tidigare. I stor skala kallas detta sakernas internet, och är framtiden för underhållsarbete då personal inte längre behöver vara fysiskt närvarande i samma grad som tidigare. En proprietär lösning kostar idag vanligtvis över 5 000 kr. Detta projekt har behandlat prototyper till en kostnad av cirka 1 000 kr med öppen hårdvara och mjukvara, vilket stödjer affärsutveckling och bidrar till ett bredare spektra av leverantörer, vilket sätter press på marknaden gällande olika lösningar.

Syftet med denna studie är att utveckla och testa mätningar i verklig miljö för tillståndsövervakning av utsatta delar av järnvägsinfrastrukturen, som punktfel i spåråläge och spårväxlar. Projektet innefattar prototyper, energihantering, loggning av data och hur användbara dessa data är. Sensorerna är av typen MEMS accelerometrar och olika montage av dessa har testats. Målsättningen har varit att utvärdera hur dessa fungerar i verklig miljö och hur användarvänliga dessa är för att mäta rörelse av räls och sliper.

Mer specifikt, avser detta fältprov av accelerometer för uppvakning och energihantering, sensor för insamling av vibrationer för rörelse i spår och analys av insamlad mätdata.

Fälttest visade att en accelerometerbaserad uppvakningssensor kan väcka ett mätsystem genom vibrationer i rälsen ca: 70 meter innan tåget kommer fram till sensorn. Tydligaste mätdata för analys erhöles vid montage på slipers samt då ett avstånd på ca: 70 meter togs. Montering i direkt närhet till mätobjektet på rälslivet bidrog till en signal med inslag av högfrekventa vibrationer. Då tydlig mätdata erhöles kunde antal boogies och axlar identifieras vilket kunde verifieras med bild på loket.

Mätdata som analyserades kunde via integration erhålla förskjutning i vertikal samt lateral riktning. Detta är användbart, både för infrastrukturförvaltare samt för underhålls-entreprenörer, då degradering kan upptäckas i god tid och förebyggande underhållsåtgärder kan sättas in mot berörda feltyper. Den önskade livslängden enligt infrastrukturförvaltare var minst fem år, och efter mätning av strömåtgång enligt nuvarande specifikation så uppnås detta om mätningar sker sju gånger dagligen med litiumbatterier (1200 mAh) som strömkälla. Som ett första steg mot sakernas internet så har detta arbete skapat en god grund för att förverkliga detta.

Fortsatt arbete efter detta projekt kan innefatta gprs och Wi-Fi för internetuppkoppling samt strömmätning för att se hur mycket förbrukningen ökar. Parallellkoppling av batterier kan vara en lösning för längre livslängd ifall förbrukningen påverkas markant. Olika varianter av filtrering för en tydligare signal kan också vara av intresse. Andra typer av sensorer, både för verifiering av resultat i denna rapport samt för att utprova alternativ. Detta kan innefatta geofoner, multi-depth deflectometers och andra typer av accelerometrar.

Terminologi

I denna lista anges termer som är relaterade till detta projekt för en enklare förståelse för vad som kommer att behandlas i rapporten. De underhållstermer som är beskrivna nedan är hämtade från SS-EN 13306:2010.

Underhåll

Kombination av samtliga tekniska åtgärder, administrativa åtgärder och ledningsåtgärder under en enhets livstid som är avsedda att vidmakthålla den i, eller återställa den till, ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion. (SS-EN 13306:2010)

Underhållsmässighet

Förmågan hos en enhet som används enligt rådande förhållande, att vidmakthållas i eller återställas till ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion, i de fall där underhållet utförs under rådande förhållande och att fastställda rutiner och resurser används. (SS-EN 13306:2010)

Förebyggande underhåll

Underhåll som genomförs vid förutbestämda intervall eller enligt förutbestämda kriterier och i avsikt att minska sannolikheten för fel eller degradering av en enhets funktion. (SS-EN 13306:2010)

Tillståndsbaserat underhåll

förebyggande underhåll som omfattar en kombination av övervakning eller inspektion eller provning, analyser och påföljande underhållsåtgärder. (SS-EN 13306:2010)

Förbättring

Kombination av alla tekniska åtgärder, administrativa åtgärder samt ledningsåtgärder, avsedda att förbättra en enhets funktionssäkerhet och/eller underhållsmässighet och/eller säkerhet, utan att dess ursprungliga funktion ändras. (SS-EN 13306:2010)

Modifiering

Kombination av alla tekniska åtgärder, administrativa åtgärder samt ledningsåtgärder, avsedda att ändra en eller flera av en enhets funktioner. (SS-EN 13306:2010)

Driftsäkerhet

Förmågan att vara i ett tillstånd att utföra vad som krävs och när det krävs, under givna förhållanden, förutsatt att erforderliga stödfunktioner finns tillgängliga. (SS-EN 13306:2010)

Funktionssäkerhet

Förmåga hos en enhet att utföra krävd funktion under givna förhållanden under ett angivet tidsintervall. (SS-EN 13306:2010)

MEMS

En typ av apparater med både elektriska och mekaniska delar som har åtminstone någon dimension i ett mikrometerintervall (mellan 1 mikrometer och 1 millimeter). Hit hör sensorer, manöverdon, mikrokanaler och mikropumpar. (Karolinska Institutet, 2017)

Tillståndsövervakning

Kontinuerliga eller periodiska tester, inspektioner, mätningar eller trendanalyser av tillstånd eller fysikaliska egenskaper hos strukturer, system och komponenter för att indikera nuvarande eller framtida tillstånd och risker för potentiella fel. (Utne, Brurok, & Rødseth, 2012)

Sakernas internet (Internet of Things – IoT)

Innebär att med trådlösa sensornätverk kunna mäta, tyda och förstå information erhållen från sensorer och ställdon applicerade på saker i vår omgivning. Denna information delas över olika plattformar för att ge en gemensam fungerande bild. Applikationsområden är exempelvis övervakning av trafik och slitage av vägar, slitagemätning av industrimaskiner, via telefoner kunna styra hushållsmaskiner eller hur träningen utförts (puls, sträcka etc). (Gubbi, Buyya, Marusic, & Palaniswami, 2013)

Innehållsförteckning

Förord	I
Abstract	II
Sammanfattning	III
Terminologi.....	IV
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och mål	1
1.3 Omfattning och begränsningar	1
1.4 Järnvägen i Sverige samt dess Infrastrukturförvaltare	2
1.5 Rapportöversikt.....	3
2 Grundläggande teori: begrepp och definitioner.....	4
2.1 Underhåll.....	4
2.2 Driftsäkerhet	5
2.3 Mikrokontroller	6
2.4 Sensorer	6
2.5 Analog till digital omvandlare (ADC).....	6
2.6 Primärbatterier (engångsbatterier)	9
2.7 Validitet	10
2.8 Reliabilitet	10
3 Metodik	12
3.1 Forskningsmetodik.....	12
3.2 Litteraturstudier.....	12
3.3 Intervjumetodik	12
3.4 Arbete i laboratoriemiljö.....	13
3.5 Fälttester.....	13
3.6 Formler för integration av accelerometerdata.....	13
4 Resultat	14
4.1 Test av MEMS accelerometrar som aktiveringsfunktion	14
4.2 Färdigbyggda dataloggers och kopplingsschema	16
4.3 Test av datalogger med olika sensorplaceringar för insamling av vibrationsdata.....	18
4.4 Mätning av strömförbrukning	22
5 Diskussion	22
6 Slutsatser.....	24
7 Förslag på fortsatt arbete	25
8 Referenser.....	26
Appendix.....	28
A.1 Intervju med representant från Trafikverket 30/3 2017	28
A.2 Intervju med representant från Infranord 20/4 2017	29
A.3 Kod till vibrationsdatalogger	30
A.4 Test av sensorplacering, lok med två vagnar	32
A.5 Tåg utan lok (Övriga figurer)	33
A.6 Datalogger på breadboard	34

Figurförteckning

- Figur 1.1: Sveriges järnvägsnät (Trafikverket, 2017)
- Figur 2.1: Underhåll enligt SS-EN 13306:2010 (SIS 2016).
- Figur 2.2: Illustration på hur en enhet degraderar. Termen degradering innefattar förslitning och åldring.
- Figur 2.3: Driftsäkerhet för järnvägar enligt SS-EN 50126:1999 (SIS 1999).
- Figur 2.4: Sampling av signal med låg frekvens, pilar indikerar samplingsögonblick.
- Figur 2.5: Sampling av signal med hög frekvens, pilar indikerar samplingsögonblick.
- Figur 2.6: Jämförelse mellan litium och alkaliska batterier (låg belastning).
- Figur 2.7: Jämförelse mellan litium och alkaliska batterier (hög belastning).
- Figur 4.1. Dataloggers och accelerometrar monterade och klara före test.
- Figur 4.2 Aktivering av 2 g sensor.
- Figur 4.3 Aktivering av 1 g sensor.
- Figur 4.4 Aktivering av 150 mg sensor.
- Figur 4.5: Färdigbyggd datalogger med wake on shake.
- Figur 4.6: Färdigbyggd datalogger monterad på breadboard.
- Figur 4.7: Kopplingsschema för prototyperna.
- Figur 4.8: Applicering av sensorer på räsliv respektive slipers.
- Figur 4.9: G-krafter fyraxligt lok.
- Figur 4.10: Lok med fyra axlar.
- Figur 4.11: Vertikal hastighet i spårväxel av lokets fjärde axel.
- Figur 4.12: Vertikal förskjutning i spårväxel av lokets fjärde axel.
- Figur 4.13: Lateral förskjutning i spårväxel av lokets fjärde axel.
- Figur 4.14: G-krafter 4-axligt lok, 200 g accelerometer.
- Figur 4.15 G-krafter lok med fyra axlar och två vagnar med 6 axlar, 200 g accelerometer.
- Figur 9.1: Tåg Green cargo med två vagnar.
- Figur 9.2: G-krafter lok med två vagnar.
- Figur 9.3: Vertikal acceleration i spårväxel av lokets fjärde axel.
- Figur 9.4: Lateral acceleration i spårväxel av lokets fjärde axel.
- Figur 9.5: Lateral hastighet i spårväxel av lokets fjärde axel.

Tabellförteckning

- Tabell 2.1: 8-bitars heltalsrepresentation.
- Tabell 2.2: Tvåpotens viktat med 8-bitars ord. MSB är most significant bit och LSB är least significant bit.
- Tabell 2.3: 8-bitars fraktionell representation.
- Tabell 2.4: Kvantiseringsseffekt med 8-bitars signal.
- Tabell 2.5: Kvantiseringsseffekt med 16-bitars signal.
- Tabell 2.6: Riktighet och precision.
- Tabell 4.1: Uppgiven samt uppmätt strömförbrukning.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Belastningen ökar på järnvägsnätet för varje år, då transporter förflyttas mot järnväg istället för flyg och väg (European Commission, mobility and transport, 2017). Detta påverkar underhållsbehovet och ökar krav på underhållsåtgärder. Underhållet är redan idag eftersatt, med en åldrande teknisk infrastruktur och begränsad kapacitetsutbyggnad, på grund av låga anslagsnivåer för drift och underhållsåtgärder (Trafikverket, 2011). Då målet är att ha en hög tillförlitlighet, mindre avhjälpande underhåll och hög tillgänglighet, så är tillståndsovervakning med moderna komponenter ett bra alternativ. Då kan underhållsåtgärder förutspås i god tid med mindre underhållspersonal ute i spåren vilket är kostnads-effektivt.

Komponenter för tillståndsovervakning är i dagsläget billiga, små storleksmässigt och betydligt kraftfullare än tidigare. Det är idag kostnadsmissigt försvarbart att bygga ihop hårdvara, programmera mjukvara och applicera dessa på kritiska delar i ett system. Vid stor skala kallas det sakernas internet (internet of things; IoT) och är även framtiden för ett modernt underhållsarbete där personal inte längre behöver vara fysiskt närvarande för att göra till exempel tillståndskontroller.

En proprietär systemlösning för tillståndsovervakning kostar vanligtvis 5 000-10 000 kr per datalogger och med tusentals system så är fördelarna med öppen hård- och mjukvara uppenbara. En prototyp av senare typ kostar mellan 500-2 000 kr och stödjer affärsutveckling samt att upphandling kan ske från ett bredare spektra av leverantörer. Detta sätter press på marknaden gällande olika lösningar.

1.2 Syfte och mål

Projektets syfte är att utveckla och testa lösningar i verklig miljö för tillståndsovervakning av utsatta delar i järnvägsinfrastrukturen. Delar av infrastrukturen som kommer att kunna dra fördelar av tekniken är punktfel i spårläge och spårväxlar. Projektet innefattar prototyper, energihantering, loggning av vibrationsdata och hur användbar dessa data är. Både hårdvara och mjukvara kommer vara öppna på grund av kostnad och antal leverantörer. Gällande inkapsling och infästning av elektroniken så kommer olika lösningar för sensormontering testas. För loggning av vibrationsdata kommer MEMS accelerometrar användas. I en tidigare konferensartikel av Milne et al. (2016) har en förstudie gjorts baserat på MEMS accelerometrar med lovande resultat.

Målsättningen är att utprova om och hur dessa prototyper fungerar i verklig miljö och hur användarvänliga dessa är i punktfel i spårläge och konkretiseras med följande frågeställningar:

1. Kan MEMS accelerometrar användas som aktiveringsfunktion och vibrations-datalogger i järnvägsspår?
2. På vilket sätt påverkar sensorplacering insamlad mätdata från järnvägsspår?
3. Går mätdata att analysera och använda för tillståndsovervakning av järnvägsinfrastruktur?

1.3 Omfattning och begränsningar

Detta projekt omfattar tillståndsovervakning av järnvägsinfrastruktur. Projektet begränsar sig till endast en infrastrukturförvaltare som i detta fall är Trafikverket. Testverksamheten i fält kommer begränsa sig till bandelen mellan Luleå och Boden och kommer att ha fokus på punktfel i spårläge och spårväxlar.

Projektet avser att testa olika prototyper av datalogger med MEMS accelerometrar för aktivering och mätning med olika typer av montage och placering. Projektet innefattar

analys av mätdata samt kvalitet på denna och eventuella applikationsområden. Beräkningar och mätningar av strömåtgång för datalogger samt sensor och övrig kringutrustning kommer utföras för att utvärdera om enheterna håller uppställda krav för livslängd i fält.

Kalibrering av accelerometern utfördes aldrig i dessa tester. Accelerometrarna är fabrikskalibrerade och ytterligare kalibrering är i de flesta applikationsområden inte nödvändigt. Dock kan en kalibrering bidra till en högre riktighet och därmed minska de systematiska felen enligt teorin.

1.4 Järnvägen i Sverige samt dess Infrastrukturförvaltare

Den första järnvägen i Sverige öppnades för trafik 1856 och var ett lokalt spår mellan orterna Örebro och Mora. Sedan dess har järnvägsnätet byggts ut allteftersom behovet av transporter har ökat. De transporter som ökat mest de senaste decennierna är regionala persontransporter och då i form av tågpendling i framförallt större städer där infrastrukturen är väl utbyggd. Idag har även efterfrågan på godstransporter via järnväg ökat de senaste åren. (Trafikverket, 2017) Den totala godsmängden som transporterades via järnvägsnätet 2016 uppgick till 68 431 tusen ton vilket är stadig ökning sedan 2012 med 4 % då godsmängden var 65 789 tusen ton (Trafikanalys, 2017).

Den totala sträckan järnvägsnät uppgår idag till 16 500 spårkilometer (figur 1.1), och av denna sträcka så förvaltar Trafikverket 14 100 spårkilometer. Av dessa kilometer som Trafikverket förvaltar så är ca: 80 % elektrifierad. (Trafikverket, 2017) Större järnvägsinfrastruktur som inte innefattas i förvaltningsområdet är bland annat inlandsbanan och arlandabanan. Som infrastrukturförvaltare så följer även en del åtaganden, dessa innefattar att förvalta och driva infrastrukturen, fördela kapaciteten, ta ut avgifter, tillhandahålla tjänster, bestämma vem som har rätt att utföra eller organisera persontrafik, upprätta en järnvägsnätbeskrivning och trafikleda (Transportstyrelsen, 2017).

Standarden på dagens infrastruktur är ojämn då vissa delar är nybyggda och uppfyller högre krav (på bland annat hastighet) än de gamla, samtidigt som vissa bandelar har eftersatt underhåll.



Figur 1.1: Sveriges järnvägsnät (Trafikverket 2017)

1.5 Rapportöversikt

Detta kapitel har redogjort en kortare beskrivning av komponenter för tillståndsovervakning och möjliga applikationsområden för dessa. Vidare redogörs syfte, mål, omfattning och begränsningar och efterföljs med en beskrivning av järnvägen och dess infrastrukturförvaltare.

Nästa kapitel förklarar grundläggande begrepp och definitioner som behandlas i rapporten för en större förståelse för läsaren. Tredje kapitlet redogör vilka metoder som har använts för att utföra denna rapport. Fjärde kapitlet presenterar resultatet av det arbetet som utförts i rapporten. Femte kapitlet gör ett resonemang om resultatet och återkopplar till teoridelen samt till utförda intervjuer. Sjätte kapitlet redovisar de slutsatser som gjorts med bakgrund av frågeställningarna som ställts, följt av förslag på fortsatt arbete i det avslutande kapitlet.

2 Grundläggande teori: begrepp och definitioner

Här behandlas för projektet grundläggande begrepp och definitioner.

2.1 Underhåll

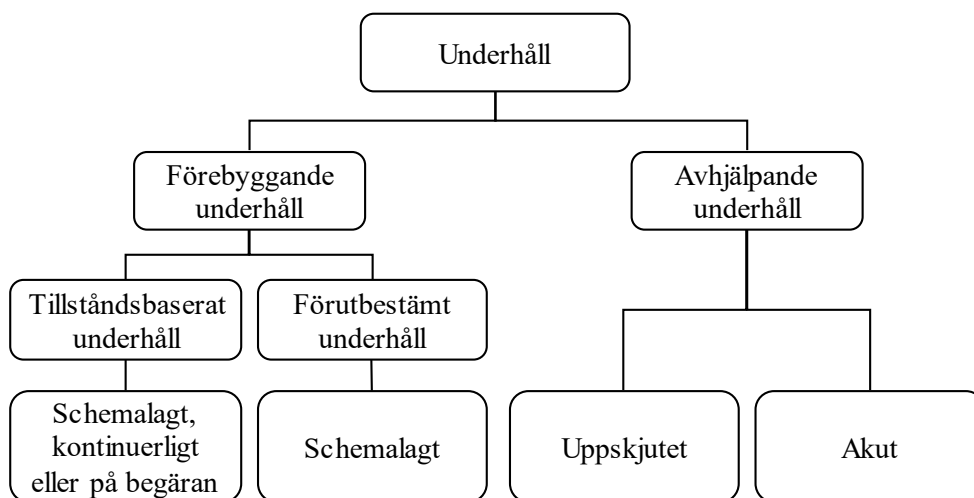
Med underhåll så avses olika åtgärder för att erhålla en tillräckligt hög driftsäkerhet så att avsedda funktioner ska kunna utföras enligt verksamhetens uppställda mål (Möller & Steffens, 2006). Enligt Kumar et al, (2010), så syftar underhållsarbetet till i att krävda funktioner ska kunna utföras, att återfå en enhets funktion till ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion när driftstörningar uppstår, samt att minimera risker för skador på människa och miljö.

Underhållsarbetet syftar även till att utrustningen ifråga ska kunna producera med den takt eller kapacitet den är designad för, leverera rätt kvalitet till kund och att produktionskostnaden ska ske i enlighet med uppställda krav (Möller & Steffens 2006). Att värdet hos en utrustning bibehålls om utrustningen ifråga underhålls enligt tillverkarens rekommendationer är även en drivande faktor hos många verksamheter (Möller & Steffens 2006).

För att förstå innebörden av begreppet underhåll, så är det en fördel att stödja sig av en allmängiltig standard. Svensk standards definition av underhåll är:

”kombination av samtliga tekniska åtgärder, administrativa åtgärder och ledningsåtgärder under en enhets livstid som är avsedda att vidmakthålla den i, eller återställa den till, ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion” (SS-EN 13306, 2010, s. 6).

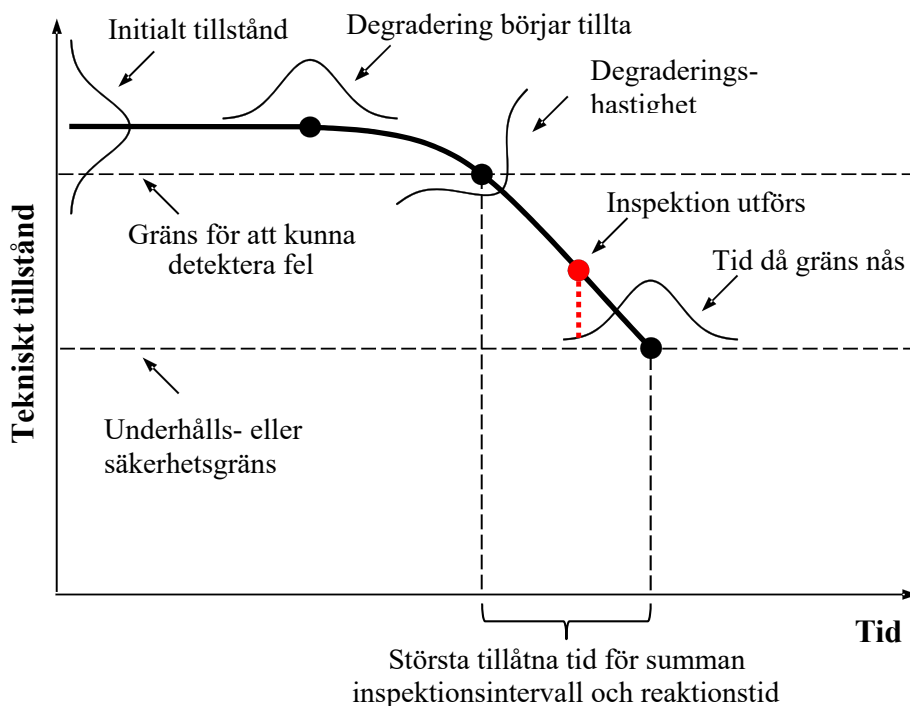
Definitionen skiljer i huvudsak två typer av åtgärder åt för att upprätthålla eller återställa krävd funktion, vilka är förebyggande underhåll och avhjälpande underhåll. Figur 2.1 åskådliggör ett blockdiagram över underhåll och dess ingående komponenter.



Figur 2.1: Underhåll enligt SS-EN 13306:2010 (SIS 2016).

2.1.1 Degradering

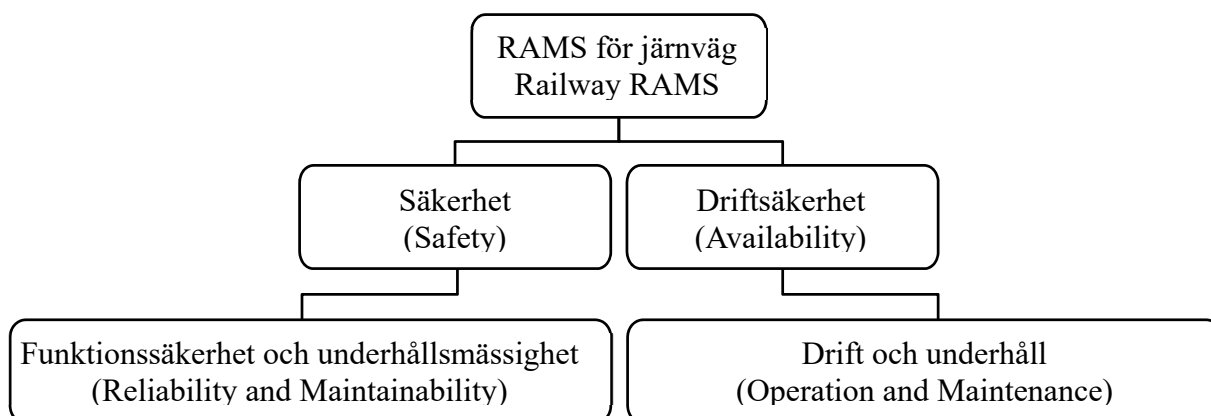
Skadlig förändring i en enhets fysiska tillstånd på grund av tid, användning eller yttre orsaker. Degradering kan leda till fel. I ett systemsammanhang kan degradering också förorsakas av fel i systemet. (Se "degraderat tillstånd"). SS-EN 13306:2010 (SIS 2016)



Figur 2.2: Illustration på hur en enhet degraderar. Termen degradering innefattar förslitning och åldring.

2.2 Driftsäkerhet

För järnvägar specifikt beskriver SS-EN 50126:1999 (SIS 1999) driftsäkerhet i enlighet med; driftsäkerhet är en funktion av funktionssäkerhet, underhållsmässighet, samt drift och underhåll (figur 2.3). Drift och underhåll representerar här underhållssäkerhet. Därmed är SS-EN 13306 och SS-EN 50126 i linje med varandra. Akronymet RAMS i figur 2.3 står för Reliability, Availability Maintainability och Safety, dvs. funktionssäkerhet, driftsäkerhet, underhållsmässighet och säkerhet. Trafikverket använder sig av SS-EN 50126, se t.ex. EU-kommissionen (2012).



Figur 2.3: Driftsäkerhet för järnvägar enligt SS-EN 50126:1999 (SIS 1999).

2.3 Mikrokontroller

En mikrokontroller är ett fristående system med olika sorters kringutrustning, minne och en processor som kan användas som ett inbyggt system (Future Electronics, 2017). De flesta programmerbara mikroprocessorer som används idag är inbäddade i olika sorters konsumentprodukter och maskiner som till exempel mobiltelefoner, bilar och hushållsapparater. Andra system har minimala krav på minne och programmeringslängd och har en låg grad av komplexitet. Ingångar och utgångar på dessa mikrokontrollerkort innefattar solenoider, LCD-displayer, reläer, omkopplare och sensorer för data såsom fuktighet, temperatur, ljus, hastighet och acceleration.

2.4 Sensorer

En sensor är en anordning som detekterar och svarar på någon typ av insignal från den fysiska miljön (TechTarget, 2017). Den specifika signalen kan vara i form av ljus, värme, rörelse, fukt, tryck, hastighet eller acceleration eller något annat miljöfenomen. Utdata är i allmänhet en signal som omvandlas till läslig data via en display eller som överförs elektroniskt över ett nätverk för vidare bearbetning.

2.4.1 Accelerometrar

En accelerometer är en enhet som mäter förändringar i accelerationen var den är installerad. Accelerometrar används för att mäta acceleration, lutning och vibration inom flertalet olika applikationsområden. I vila mäter accelerometern 1 g vilket är jordens gravitationskraft, vilken är 9.81 meter per sekundkvadrat. Accelerometrar som använder den piezoelektriska effekten mäter spänningsförändring. Andra typer av accelerometrar mäter kapacitansen mellan två komponenter. Treaxliga linjära accelerometrar kan mäta rörelser i tre dimensioner. Applikationsområden för accelerometrar är t.ex. inom biologin, biltillverkning, industrin med mera (TechTarget, 2017). Accelerometrar av typen MEMS kan påvisa trender, som förskjutning i spårsläge på ett tydligt och kvantifierbart sätt (Milne, Le Pen, Watson, & Thompson, 2016). Accelerometrarna i denna studie har en känslighet på ± 16 g.

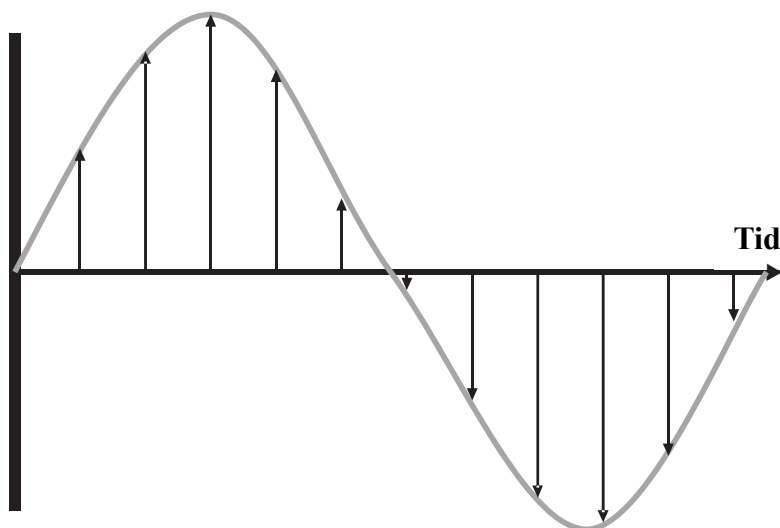
2.5 Analog till digital omvandlare (ADC)

För att ta en analog signal och konvertera den till digital så behöver man sampla signalen med en enhet som kallas Analog till digital omvandlare (ADC) (Parker, 2010). ADC omvandlaren omvandlar den analoga signalen med ett visst intervall och dessa mätningar kallas samplingar. Output blir en digital signal proportionell till amplituden av den analoga signalen vid det specifika tillfället.

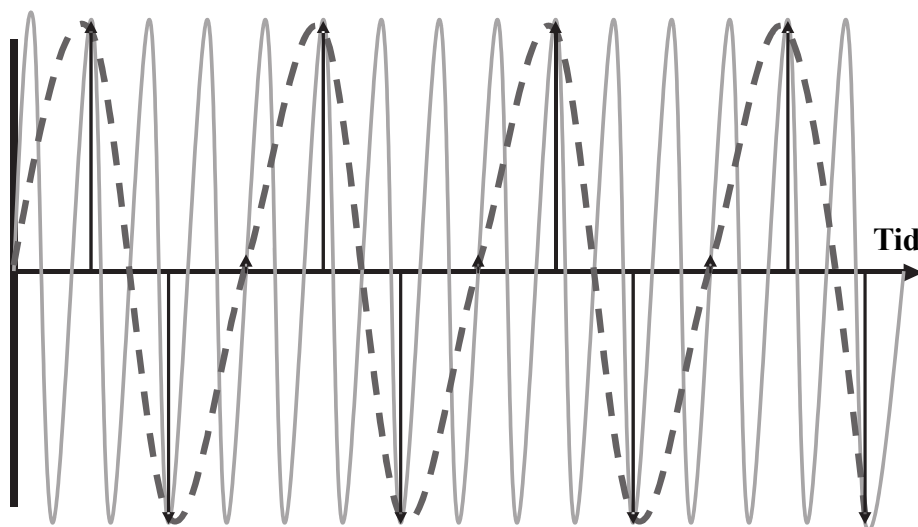
2.5.1 Sampling

Sampling kan enkelt förklaras som diskreta digitala mätpunkter av en kontinuerlig analog insignal. Då det gäller sampling så är det viktiga samplingshastigheten (Hz) i förhållande till frekvensen (Hz) av den analoga signalen. Detta för att få en så korrekt återgiven kurva som möjligt. Om samplingshastigheten är hög i förhållande till hur snabbt signalen förändras, erhålls en relativt exakt representation av signalen. Om däremot samplingshastigheten är låg i förhållande till hur signalen förändras så erhålls en förvrängd bild av signalens utseende.

Graferna i figur 2.4 och 2.5 åskådliggör två olika sinuskurvor med samplingsögonblick. Kurvan som förändras sakta (låg frekvens) i Figur 2.4 blir åskådliggjord på ett korrekt sätt med indikerad samplingshastighet, men kurvan som förändras snabbt (hög frekvens) i Figur 2.5 blir inte korrekt återgiven med given samplingshastighet. Det ser ut som att den samplade kurvan har lägre frekvens än den har i verkligheten, fenomenet kallas aliasing. Detta visar vikten av att ha rätt samplingshastighet i förhållande till insignalens frekvens. För att undvika detta problem finns det en samplingsregel kallad Nyquists samplingsregel (Parker, 2010). Regeln säger att samplingsfrekvensen måste uppgå till minst det dubbla jämfört med signalen som ska samplas.



Figur 2.4: Sampling av signal med låg frekvens, pilar indikerar samplingsögonblick.



Figur 2.5: Sampling av signal med hög frekvens. Pilar indikerar samplingsögonblick.

2.5.2 Bit

För att behandla en signal digitalt så måste den representeras i ett digitalt format. Digital elektronik arbetar i enheten bits som formar binära representationer. Bits kan representeras binärt, som decimaltal, hexadecimalt eller i andra former. För ett 8-bitars nummer kan vidden av nummer representeras från -128 till +127 i steg om 1 i heltalsrepresentation.

Om skalan som representeras, sträcker sig från -1 till 1, så kan -1 och +127/128 (nästan ett) åskådliggöras i steg om 1/128, så kallad fraktionell representation. (Parker, 2010)

I tabell 2.1 åskådliggörs samma tal binärt, hexadecimalt och som heltal. Här ser vi hur man med 8-bitars binärt system kan representera alla tal mellan -128 till +127.

Tabell 2.1: 8-bitars heltalsrepresentation.

Binärt	Hexadecimalt	Verkligt decimaltal
0111 1111	0x7F	127
0111 1110	0x7E	126
0000 0010	0x02	2
0000 0001	0x01	1
0000 0000	0x00	0
1111 1111	0xFF	-1
1111 1110	0xFE	-2
1000 0001	0x81	-127
1000 0000	0x80	-1

Tabell 2.2 visar hur olika tal kan representeras både som tvåpotens och som heltal. Med tvåpotens kan man på ett enkelt sätt ta reda på antalet olika kombinationer för olika bit-system genom att räkna ut tvåpotensen, i detta fall 8-bitar som ger: $2^8 = 256$ olika kombinationer från -128 till +127.

Tabell 2.2: Tvåpotens viktat med 8-bitars representation. MSB är most significant bit och LSB är least significant bit.

8-bitars heltal	MSB							LSB
Bitvärde	-128	64	32	16	8	4	2	1
Värde i tvåpotens	-2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0

Tabell 2.3: 8-bitars fraktionell representation.

Binärt	Hexadecimalt	Verkligt decimaltal
0111 1111	0x7F	$127/128 = 0,99219$
0111 1110	0x7E	$126/128 = 0,98438$
0000 0010	0x02	$2/128 = 0,01563$
0000 0001	0x01	$1/128 = 0,00781$
0000 0000	0x00	0
1111 1111	0xFF	$-1/128 = -0,00781$
1111 1110	0xFE	$-2/128 = -0,01563$
1000 0001	0x81	$-127/128 = -0,99219$
1000 0000	0x80	-1.00

I tabellen 2.4 åskådliggörs fraktionell representation i binär, hexadecimal samt decimal form. Här visas också exempel på hur små tal som kan representeras decimalt med ett 8-bitars system. Tabell 2.5 visar den gradvisa försämringen av noggrannheten i procent då signalen minskar i storleksordning en decimal i taget.

Tabell 2.4: Kvantiseringsseffekt med 8-bitars signal.

Signalnivå	Närmaste 8-bits representation	Hexadecimalt värde	Verkligt fel	Fel som procent av signalnivå
0,50300	0,5000000	0x40	0,00300	0,596 %
0,50300	0,5078125	0x41	-0,0048128	0,957 %
0,05030	0,0468750	0x06	0,003425	6,809 %
0,05030	0,0546875	0x07	-0,0043875	8,722 %
0,00503	0,0000000	0x00	0,00503	100 %
0,00503	0,0078125	0x01	-0,0027825	55,32 %

Tabell 2.5: Kvantiseringsseffekt med 16-bitars signal.

Signalnivå	Närmaste 16-bits representation	Hexadecimalt värde	Verkligt fel	Fel som procent av signalnivå
0,50300	0,5029907	0x4062	0,000009277	0,00185 %
0,50300	0,5030212	0x4063	-0,00002124	0,00422 %
0,05030	0,0502930	0x0670	0,0000703	0,0140 %
0,05030	0,0503235	0x0671	-0,0000235	0,0467 %
0,00503	0,005005	0xA4	0,0000251	0,499 %
0,00503	0,0050354	0xA5	-0,0000054	0,107 %

Vid en jämförelse av noggrannheten från 8 bitar upp till 16 bitar då det gäller väldigt små insignaler, så syns tydligt fördelarna med att öka antalet bitar för att få en större noggrannhet, som tydligt illustreras då tabell 2.4 och 2.5 jämförs.

Då det kommer till sampling så representerar bit noggrannheten på y-axeln, det vill säga hur exakt det samplande värdet kan återges i höjdläge. Ju högre bit en ADC omvandlare har till exempel, ju noggrannare blir kurvan av insignalen som omvandlas.

2.6 Primärbatterier (engångsbatterier)

Batterityp som ej tål uppladdning, benämns som primärcell och betyder att cellen är den primära källan till elektricitet och inte är konstruerad att återuppladdas. Cellen omvandlar energin vid en kemisk reaktion till elektrisk energi och pågår tills energin är förbrukad (Batteriföreningen, 2017).

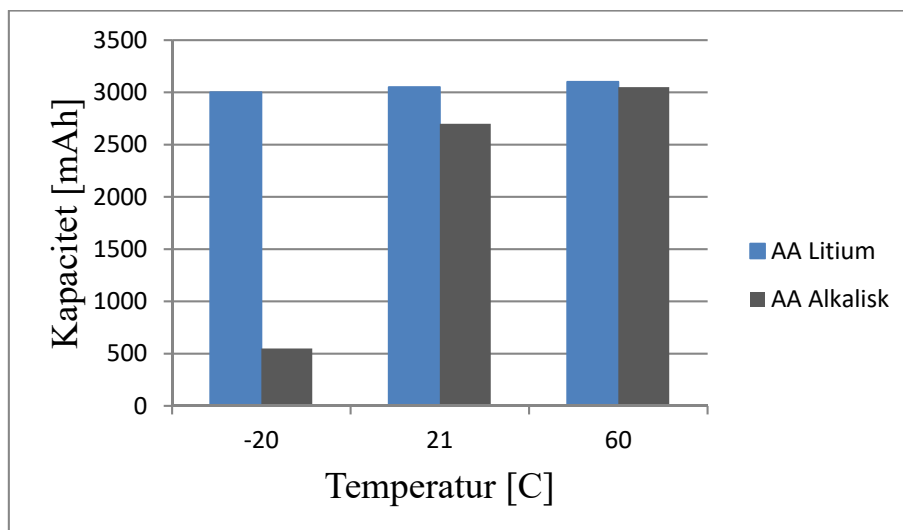
2.6.1 Litiumbatterier

I jämförelse med till exempel bly och nickelbatterier är litiumbatteriet lättare och har en längre hållbarhet än dessa batterityper. Detta och att de är mindre miljöfarliga gör att batteritypen är väldigt populär i applikationer som kräver längre hållbarhet (Hultén, 2017). Litiumjonbatterier kan laddas men tål inte kyla och är dyra.

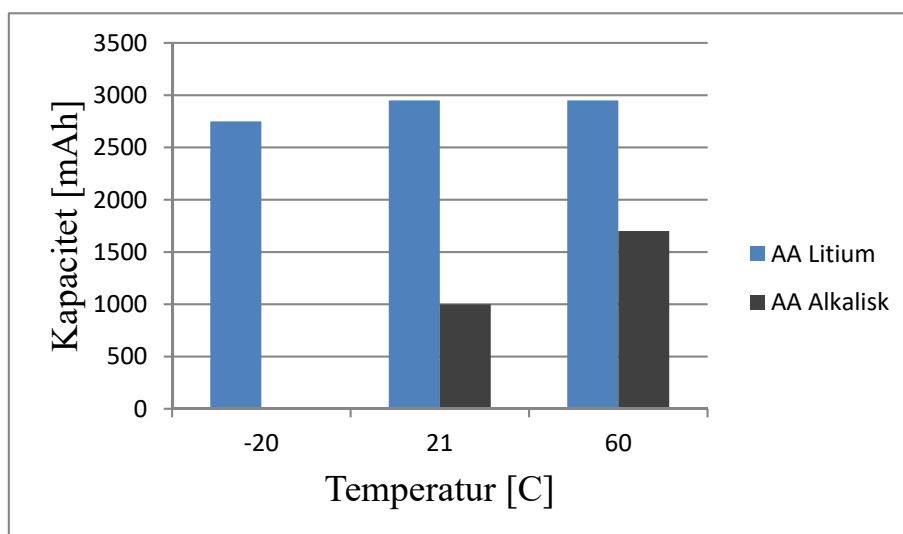
2.6.2 Alkaliska batterier

Då det gäller hushållsbatterier är alkaliska batterier den absolut vanligaste batteritypen. Batteriet kostar nästan dubbelt så mycket som ett brunnstombsbatteri men ger beroende på applikation 4-6 gånger längre drifttid. Batteritypen är även billigare än motsvarande litiumbatteri. (Batteriföreningen, 2017)

Vid låg belastning märks tydliga skillnader vid väldigt låga temperaturer, illustrerat i figur 2.6. Vid temperaturer över 21°C är dock skillnaden försumbar. Ökar belastningen däremot så blir skillnaderna uppenbara i alla temperaturintervall och det alkaliska batteriet fungerar inte alls i temperaturer ner mot -20°C. Skillnaden är även markant i varmare temperaturer som illustreras i figur 2.7.



Figur 2.6: Jämförelse av litium och alkaliska batterier vid låg belastning.



Figur 2.7: Jämförelse av litium och alkaliska batterier vid hög belastning.

2.7 Validitet

Begreppet kan rent allmänt definieras som relevansen av insamlad data för det givna problemet och/eller mätinstrumentets förmåga att mäta det man avser att mäta (Mälardalens högskola, 2017). Rent konkret kan sägas att de insamlade svaren måste tillföra något till det utredningen avser att säga något om.

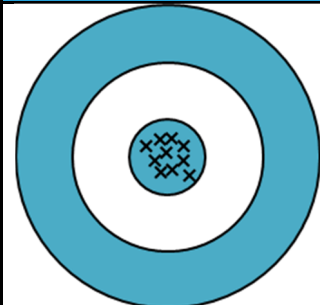
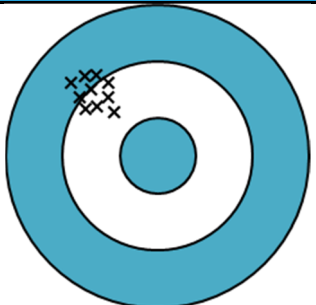
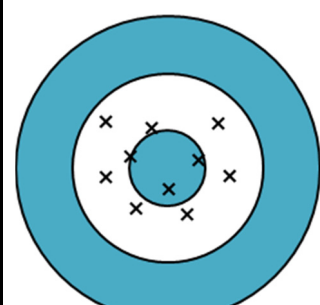
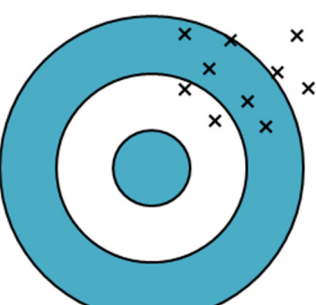
2.8 Reliabilitet

Reliabilitet handlar om kvalitet vid mätning; man kan uttrycka det som konsistens eller replikerbarhet, det vill säga att samma resultat ska kunna uppnås vid upprepade mätningar även om det är andra som utför mätningarna (Mälardalens högskola, 2017). Reliabilitet åsyftas att kunskap är framtagen på ett tillförlitligt sätt och att det inte finns tillfälliga okontrollerade fel som stör. Begreppet har lite olika betydelser om det är en kvalitativ eller kvantitativ ansats som använts vid undersökningen. Vid kvalitativ ansats handlar begreppet exempelvis om oberoende över tid eller över vem som utför mätningarna medan det vid kvalitativ ansats handlar om att på ett intressant, pålitligt och begripligt sätt kunna beskriva hur man gått tillväga för att samla in och bearbeta data.

2.9 Riktighet och precision (accuracy and precision)

Riktighet beskriver hur nära ett uppmätt värde är i förhållande till ett redan känt värde. Precision avser hur nära upprepade mätningar är gentemot varandra. Precision och riktighet är oberoende av varandra; se tabell 2.6 nedan. (NC State University, 2017)

Tabell 2.6: Riktighet och precision.

	Hög riktighet (Accurate)	Låg riktighet (Not Accurate)
Hög precision (Precise)		
Låg precision (Not Precise)		

Är både riktighet och precision hög så erhålls hög noggrannhet. Är överensstämmelsen mellan mätningarna hög så erhålls även hög reliabilitet oavsett närhet till det samma värdet. Maximal reliabilitet innebär att alla mätningar ger samma mätvärde, reliabilitet kan också ses som graden av frihet från slumpmässiga fel. Slumpmässiga fel orsakas av variabler som inte kan kontrolleras under mätprocessen, som brus i resistorer.

Uppnås hög riktighet så är även validiteten hög då mätvärdet är nära det sanna värdet. För att uppnå detta krävs att systematiska fel saknas och att de slumpmässiga felen är små. Hög validitet förutsätter alltså hög reliabilitet. Validitet kan här ses som graden av frihet från systematiska fel. Systematiska fel är exempelvis kalibreringsfel. (Olle Vejde Förlag, 2017)

3 Metodik

De metoder som har använts i detta arbete består av forskningsmetodik, litteraturstudier, intervjumetodik, experiment i laboratoriemiljö, fälttester och formler för integration.

3.1 Forskningsmetodik

Denna rapport har författats på metoder baserat på forskningens grunder. Här avses att uttrycka sig enkelt, klart, korrekt och logiskt. Ämnet i rapporten har disponerats, förklaringar och definieringar av termer har utförts. Hänvisningar till källor har utförts och fakta har dokumenterats. Nyckelord har plockats ut och sammanfattningar har gjorts. I rapporten har även stort fokus lagts på att hållas till ämnet som behandlats. Redogörelse för de olika metoderna för insamling av fakta och data har utförts. (Ejvegård, 2003)

3.2 Litteraturstudier

I detta projekt har vetenskapliga artiklar, avhandlingar, diverse facklitteratur och relevanta källor från internet använts. Som hjälp att hitta information har Luleå universitetsbiblioteks databas varit till stor hjälp samt scopus och google scholar. Sökord som använts är Railway, Railroad, CBM, accelerometer, track, vibration, MEMS, Internet of Things och IOT. Utöver detta så har även tidigare examensarbeten inom ämnet studerats.

3.3 Intervjumetodik

En väl genomförd intervju ger i många fall tillförlitliga resultat (reliabilitet), giltiga resultat (validitet) och möjlig att kritiskt granska för andra. Reliabilitet och validitet är begrepp som används för att beskriva värdet av intervjun. En väl genomförd intervju skall möjliggöra resultat som är tillräckligt tillförlitliga och giltiga för att vara nyttiga och användbara för andra och kunna komma andra till del.

Giltigheten i en intervju kan förenklat sägas vara i vilken mån data och resultat speglar källan samt på ett mer allmängiltigt plan ökar förståelsen för det som undersöks.

I intervjun är det den som intervjuar som styr dialogens utveckling och processen har en i förväg bestämd riktning. En väl genomförd intervju ger data som speglar källan. Intervjuaren försöker fånga intervjupersonens uppfattning eller upplevelser. Dessa kan förändras över tid, men vid intervjutillfället bör intervjuaren ha lyckats spegla sin källa. En professionell intervju innebär en systematisk undersökning av det subjektiva eller av ett subjektivt uppfattat fenomen. (Lantz, 2007)

Det finns tre olika typer av intervjuformer, halv- och helstrukturerad intervju samt öppenriktad intervju. Gällande strukturerade intervjuer är en förutsättning att frågorna förstås på ett likartat sätt av alla intervjupersoner. Intervjuaren definierar begreppet, ger det innehåll och ett omfång eller operationaliserar det och förutsätter därefter att alla frågor uppfattas likartat av alla. I de strukturerade intervjuformerna utgör definitionerna eller operationaliseringarna av de teoretiska begreppen intervjuens frågeområden. Helstrukturerade intervjuer lämpar sig naturligt bäst på rena faktafrågor där värderingar och attityder är av mindre relevans för respondenten. Är intervjun halvstrukturerad kan intervjuaren få en uppfattning om huruvida de på teoretisk grund valda avgränsningarna är relevanta för den som svarar då intervjun lämnas lite friare. Är intervjun en riktat öppen eller helt öppen kan respondenten på ett nyanserat sätt beskriva de dimensioner som denne finner relevanta i sammanhanget. Lämpliga intervjufrågor för denna typ av intervju är åsiktsfrågor, attitydfrågor och känslolägesfrågor. (Lantz, 2007)

3.3.1 Intervjumetod

Den första intervjun i detta projekt har haft en helstrukturerad karaktär där respondenten svarade på frågorna som ställdes. I detta fall bestod frågeställningen av rapportens forskningsfrågor. Beroende av svaren som erhöles så ställdes kompletterande frågor för bredd och överskådlighet samt för en djupare förståelse. Intervjun utfördes i samband med det första fälttestet och intervjupersonen var Trafikverkets handledare i projektet.

Den andra intervjun i projektet bokades några veckor i förväg och var förlagd hos en stor underhållsentreprenör av järnvägsnätet. Frågor som ställdes baserades på potentiella användningsområden för prototyperna i detta projekt. I huvudsak baserat på vilka feltyper som uppträder och hur vanliga och kostsamma dessa är. Intervjuformen i denna intervju var av halvstrukturerad karaktär och respondenten hade friare utrymme för egna reflektioner och tog upp relevanta ämnen runt frågeställningarna, bland annat utrymme för förbättring och modifiering av befintlig järnvägsinfrastruktur och underhållsmässigheten i dagsläget. Båda intervjuerna som utfördes var frivilliga och konfidentiella.

3.4 Arbete i laboratoriemiljö

Här har prototyper byggts till projektet. Ingående komponenter till detta är mikroprocessorer, sensorer, kretskort med klocka samt hållare för SD-kort. För sammankoppling av komponenterna har avsedda kablar för ändamålet använts. Där det behövts har kablar skarvats ihop, metod till detta har varit mjuklödning. Denna metod har även använts till att montera kontaktstycken till de olika ingående komponenterna så dessa kan sammankopplas. För att öka samplingsfrekvensen så har i laboratoriet även utförts en klockning av frekvensen från 430 Hz upp till nästan 1300 Hz, detta för att få mer detaljerad data då mätningar i fält utförs.

3.5 Fälttester

Projektet har haft som mål och syfte att testa prototyper för tillståndsovervakning i verklig miljö för att undersöka om de fungerar i dess tilltänkta applikationsområden. Fälttesterna har bokats i förväg då det har krävts behörig personal vid spår för att utföra testerna. Prototyperna har applicerats i anknötning till rälsen och aktiverats då tåg ankommit via accelerometrar för att sedan logga data från femton till trettio sekunder. För att dokumentera testerna så har kameror använts för att både fotografera och filma de olika försöken.

3.6 Formler för integration av accelerometerdata

För att få mer data från 16 g accelerometern än utslag i g-krafter så tas varje separat värde på axlarna av intresse och divideras med en given korrigeringsfaktor ur datablad för accelerometern för att sedan multipliceras med gravitationskonstanten för att erhålla accelerationen i varje samplingspunkt. När accelerationen erhållits så beräknas ett medelvärde av samtliga samplingspunkter för accelerationen. När detta är utfört så subtraheras varje samplingspunkt av erhållen accelerationsdata med det uträknade medelvärdet. När detta är utfört så kan man med erhållen data beräkna hastigheten i varje samplingspunkt med formeln nedan.

$$v(t_2) - v(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \approx \sum_{t_1}^{t_2} \frac{1}{2} (a_i + a_{i+1}) \Delta t$$

För att sedan få ut förskjutning så är proceduren samma som ovan med beräkning av medelvärde och subtraktion. Formeln är identisk mot ovanstående, se nedan.

$$s(t_2) - s(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt \approx \sum_{t_1}^{t_2} \frac{1}{2} (v_i + v_{i+1}) \Delta t$$

4 Resultat

I detta kapitel presenteras resultatet av arbetet som utförts i denna rapport.

4.1 Test av MEMS accelerometrar som aktiveringsfunktion

Det första testet i projektet var ett fälttest av datalogger med MEMS accelerometer som aktiveringsfunktion (se tabell 4.1). Testet bestod av tre likadana MEMS accelerometrar med wake on shake uppvakningsfunktion, monterade på aluminiumplattor, som monterades direkt mot rälen via magneter.

Syftet med testet var att ta reda på om MEMS accelerometrar kan fungera som aktiveringsfunktion av datalogger och för att undersöka detta så användes samma typ av montage av sensorerna som beskrivits tidigare. Sensorerna med montage på aluminiumplatta med magnet har olika typer av känslighet för vibrationer, i fallande ordning 2 g, 1 g och 150 mg monterade från vänster till höger i figur 4.1. Enheten mellan den andra och tredje i bilden är ytterligare en accelerometer, med montage via magnet direkt på rälen ovan slipers. Denna accelerometer är dock inte för test av uppvakningsfunktion, utan för initial test tillhörande nästa avsnitt.



Figur 4.1. Dataloggers och accelerometrar monterade och klara före test. Se även figur 4.5 (#5).

Testet utfördes i närheten av Notvikens station i Luleå och avståndet från växeldriv till den första sensorn uppmättes till 69 meter via måttband. Sensorerna placerades mellan sliprarna med ett cc mått, illustrerat från vänster till höger i figur 4.1, av 62, 64 respektive 62 centimeter.



Figur 4.2 Aktivering av 2 g sensor.



Figur 4.3 Aktivering av 1 g sensor.



Figur 4.4 Aktivering av 150 mg sensor.

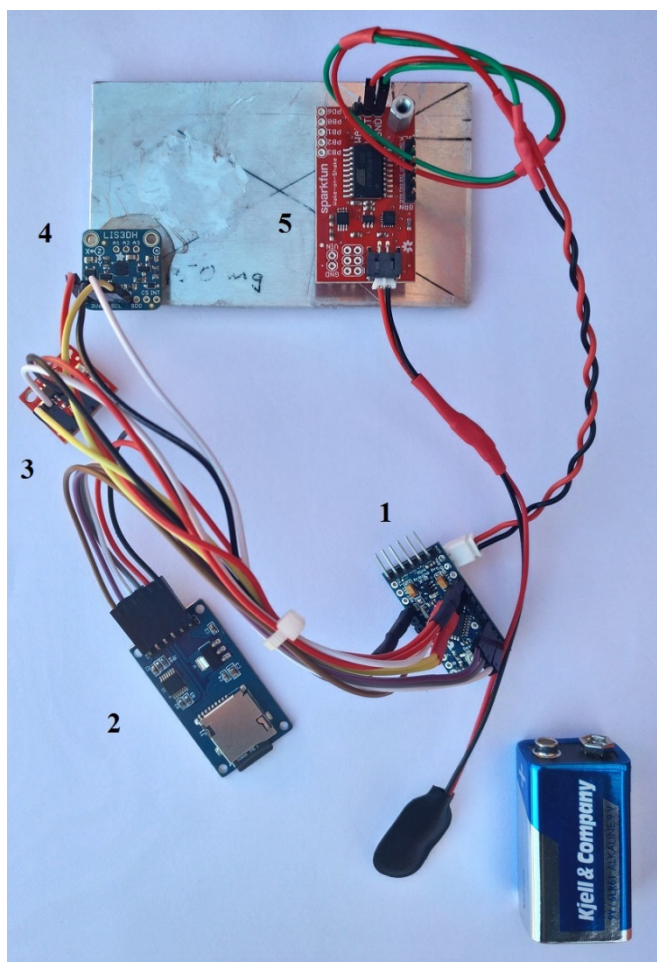
Som figur 4.2-4.4 visar, fungerar sensorerna då vibrationer av inkommande tåg aktiverar dem så att dioderna tänds. I fallet där accelerometern var fastmonterad på rälen via magnet så kontrolleras funktion om data loggats på ett SD-kort vilket inte fungerade denna gång på grund av bristfällig fastsättning av nämnda kort men som efter senare test med ordentlig fastsättning visat sig fungera, detta visar även att programkoden som utvecklats fungerar ändamålsmässigt (Se appendix 9.3 för programkod). Det kan konstateras efter detta test i fält, att aktiveringsfunktionen via MEMS accelerometer, med samma slags sensorplacering fungerar på ett tillfredsställande sätt.

4.2 Färdigbyggda dataloggers och kopplingsschema

I CBM laboriet har prototyperna som använts i denna rapport byggts, vilka metoderna redogjorts för tidigare i rapporten. Resultatet av detta visas med bilder på två färdiga prototyper samt en bild på kopplingsschema som jämförelse.

I figur 4.5 visas det färdiga resultatet av den första prototypen, som inkluderar:

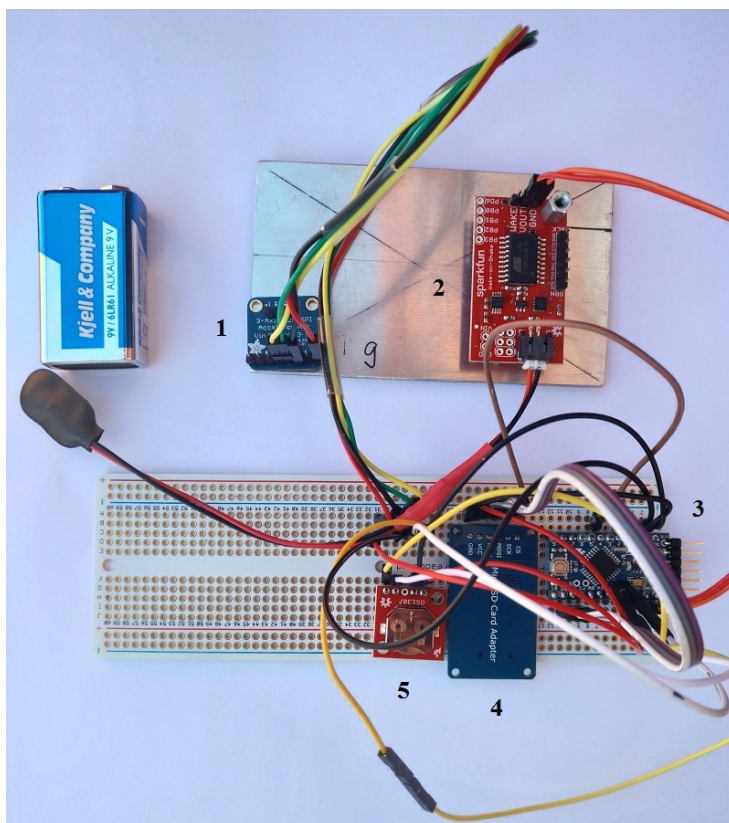
1. Mikroprocessor av typ Arduino uno.
2. Hållare för MikroSD-kort.
3. Klocka med batteri.
4. MEMS accelerometer med magnet monterad på undersidan.
5. Wake on shake uppvakningsfunktion, monterad på aluminiumplatta med fyra magneter på undersidan i varje hörn.



Figur 4.5: Färdigbyggd datalogger med wake on shake.

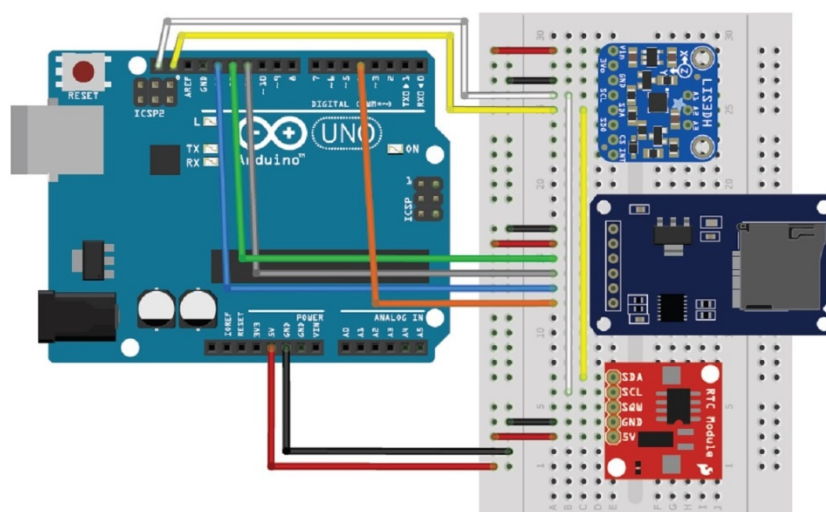
Prototypen i figur: 4.6 är monterad på breadboard i metall samt fastlödd på undersidan och har sammankopplats med wake on shake:

1. MEMS accelerometer
2. Wake on shake monterad på aluminiumplatta med fyra magneter på undersidan i varje hörn.
3. Arduino Uno mikroprocessor.
4. Hållare för MikroSD-kort.
5. Klocka med batteri



Figur 4.6: Färdigbyggd datalogger monterad på breadboard.

Kopplingsschemat i figur: 4.7 har utgjort modell för monteringen av prototyperna.



Figur 4.7: Kopplingsschema för prototyperna.

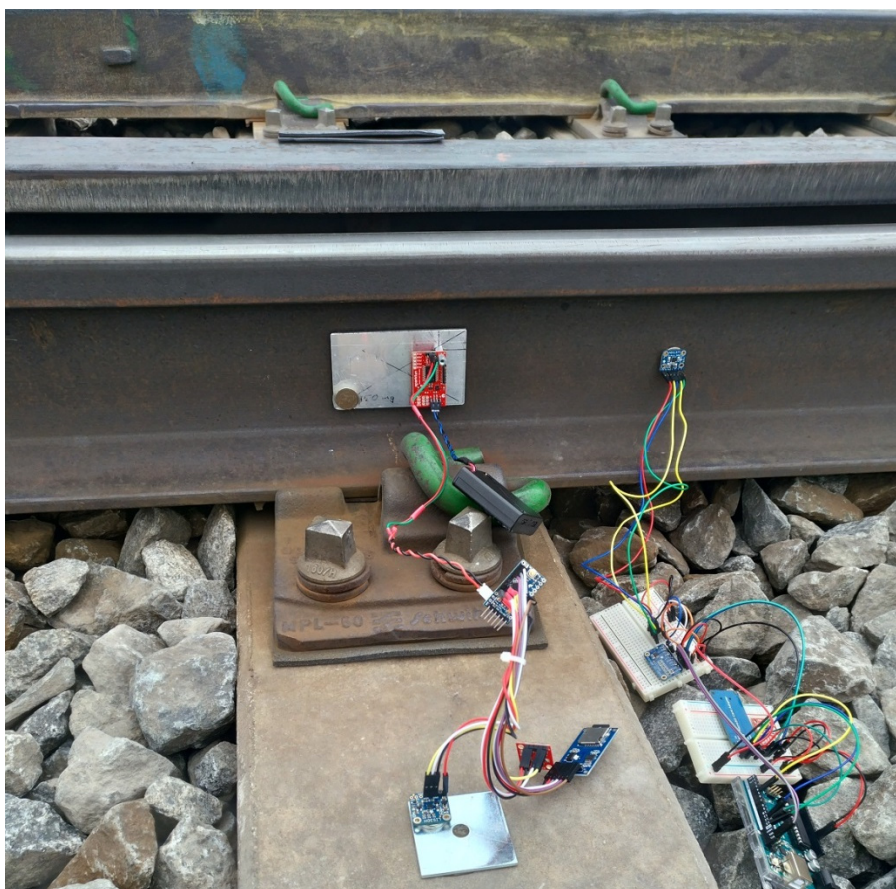
4.3 Test av datalogger med olika sensorplaceringar för insamling av vibrationsdata

Två stycken prototyper utprovades i spår med olika placering av sensorerna för att se om det påverkar kvaliteten på loggad mätdata. Sensorerna testades med placering direkt mot räl och med placering direkt mot slipers. Platsen var även denna gång Notvikens station.

Testet innefattade två tågpassager, ett med lok och två vagnar och ett med endast ett lok. Vid testet med lok och vagnar så placerades sensorerna direkt mot rälen och då endast lok passerade så var sensorerna placerade mot slipers respektive räl. Testet innefattade denna gång accelerometrar med olika mätområden; ± 16 g och ± 200 g. Vid höga tåg hastigheter eller axellaster kan accelerationerna nå 100 g och i korsningsspetsar ännu högre. ± 16 g passar därför bättre med placering direkt mot slipers, och ± 200 g med placering direkt mot räl. Varianten med 200 g hade även en ADC monterad mellan anslutningen till mikrokontrollern. Orsaker till detta är att mikroprocessorn endast omvandlar den analoga insignalen i 12 bitar och accelerometern mäter över ett stort spann (400 g), det vill säga vi tappar 4 ggr i upplösning med att köra utan ADC som är på 16 bitar. Den på 200 g testades i båda fallen mot räslivet. Denna gång så utfördes testet även i direkt närhet till spårväxeln.

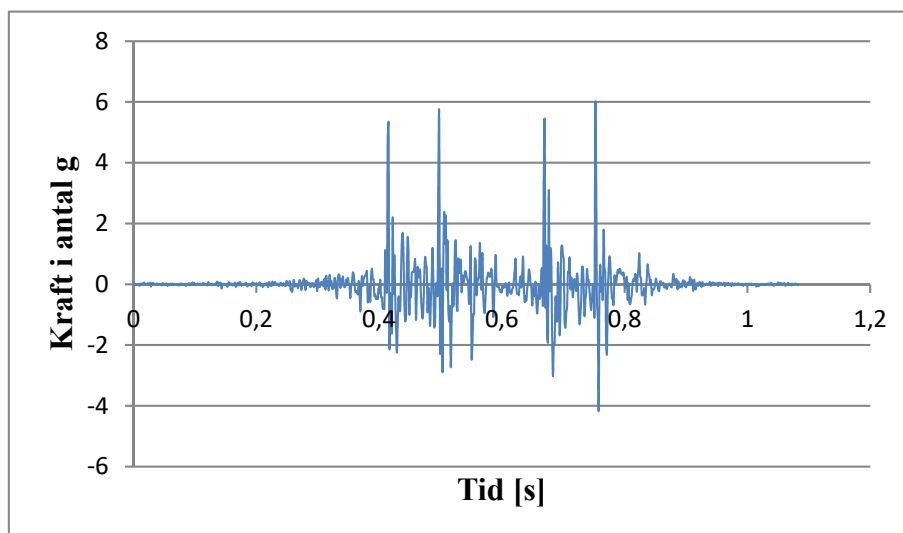
Vid den första tågpassagen, lok med vagnar, så var 16 g accelerometern applicerad mot räslivet, vilket gav en signal med mycket brus (höga frekvenser) och svårhanterad data (se appendix 9.4). Vid den andra tågpassagen med endast lok, var 16 g accelerometern applicerad mot slipersen vilket gav en tydligare signal med betydligt mindre brus.

Figur 4.8 visar applicering av de olika accelerometrarna, ± 16 g är i figuren applicerad mot sliper fäst på en metallplatta och ± 200 g accelerometern är applicerad direkt mot räslivet med en magnet. I bakgrunden på figur 4.8 skimtar korsningsspetsen.



Figur 4.8: Applicering av sensorer på räsliv respektive slipers.

Analys av data från 16 g accelerometern visar tydligt antalet g som påverkar växeln, signalen är även relativt befriad från brus och antalet axlar går tydligt att urskilja enligt figur 4.9; se tidpunkter då kurvan passerar 4 g. Alla mätningar var programmerade till att logga data i femton sekunder men har i figuren kortats ner för att åskådliggöra tåg med axlar på ett tydligare sätt. I figur 4.10 kan även antalet axlar på loket verifieras.



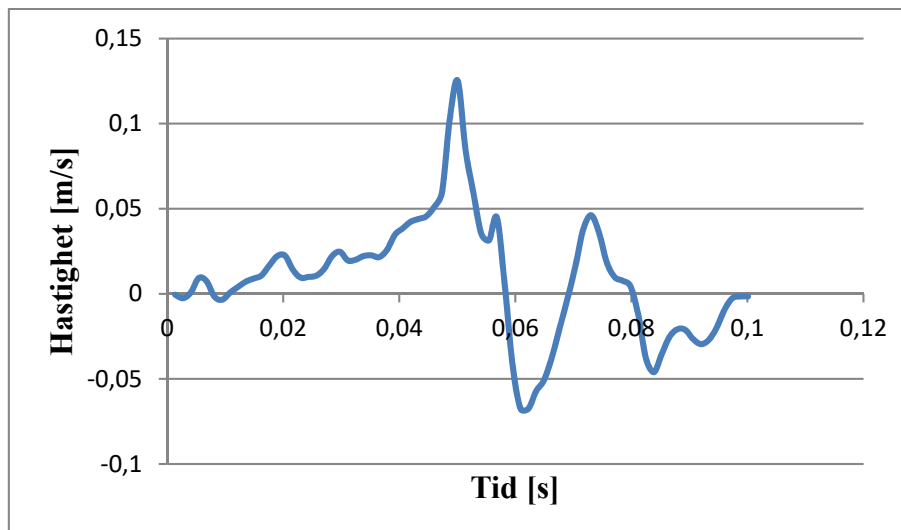
Figur 4.9: G-krafter fyraxligt lok.



Figur 4.10: Fyraxligt lok.

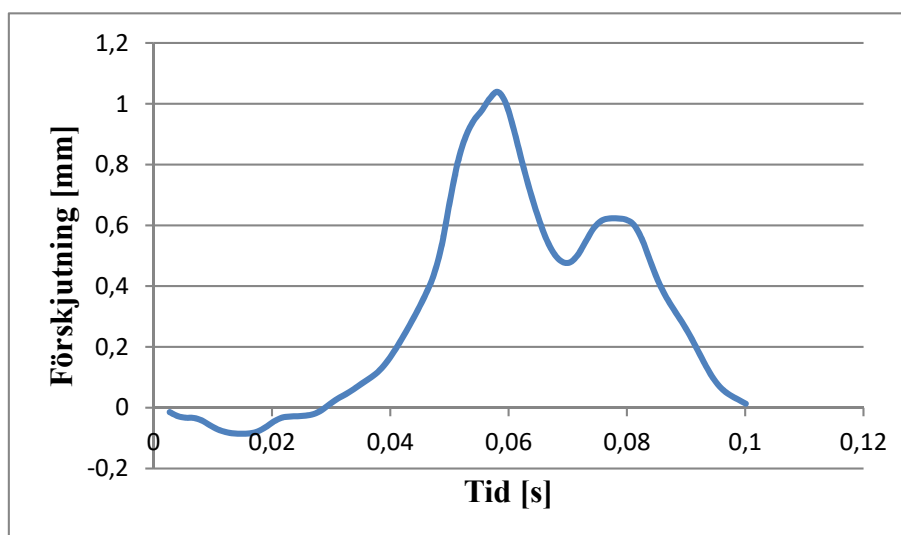
Efter vidare analys och bearbetning av erhållen data från prototypen med 16 g accelerometern, så valdes lokets fjärde axel för att analysera och åskådliggöra både hastighet och förskjutning via dubbelintegration. Då accelerometern är treaxlig så kan både vertikal och lateral förskjutning erhållas.

Efter integration en gång av accelerationsdatan så erhöles hastigheten vid fjärde axelns möte med spårväxeln i figur 4.11. Här åskådliggörs tid och hastighet på ett tydligt sätt.



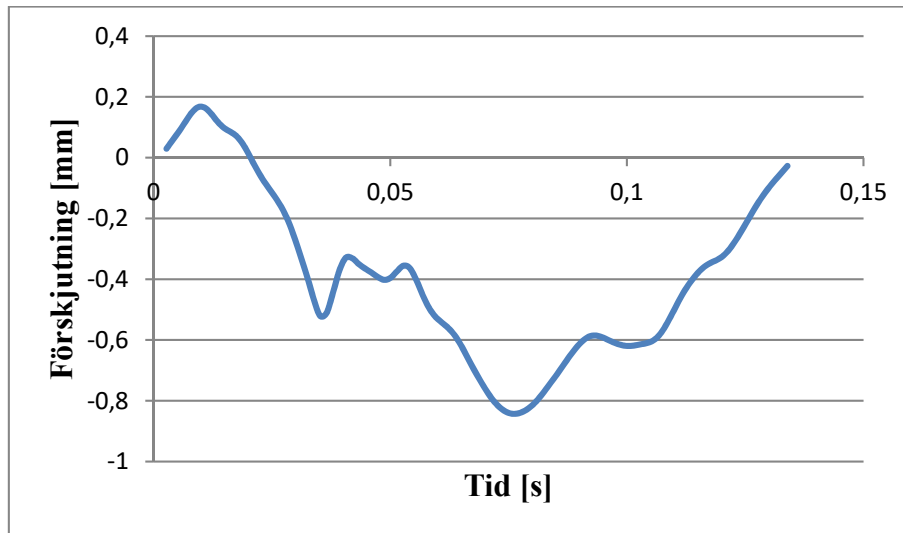
Figur 4.11: Vertikal hastighet i spårväxel av lokets fjärde axel.

När integration genomförts ytterligare en gång kan den vertikala förskjutningen erhållas. Denna var drygt en millimeter enligt erhållen mätdata, se figur 4.12.



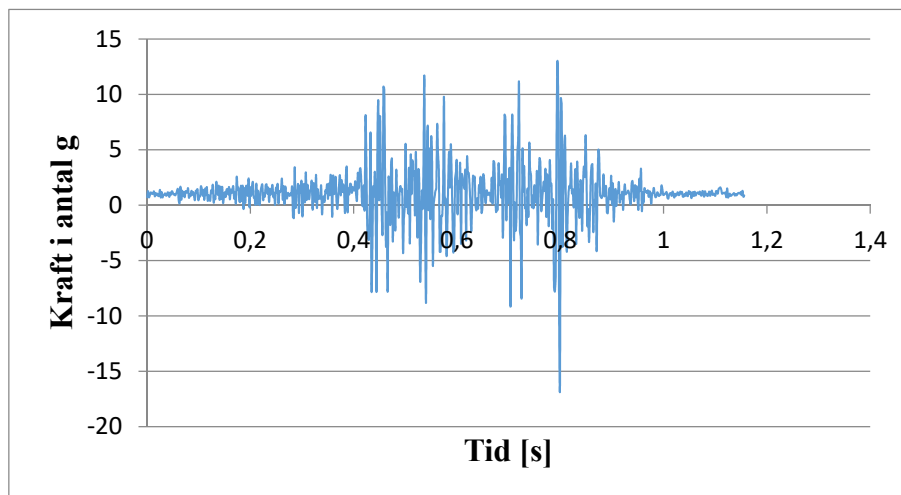
Figur 4.12: Vertikal förskjutning i spårväxel av lokets fjärde axel.

Samma tillvägagångssätt utfördes även för att få fram den laterala förskjutningen vilket i detta fall är slag i sidled i spårväxeln. Tåget kom norrifrån så den positiva förskjutningen är från tåget sett till höger och den negativa till vänster i figur 4.13 . Den totala förskjutningen är enligt mätdata ungefär 1 mm.

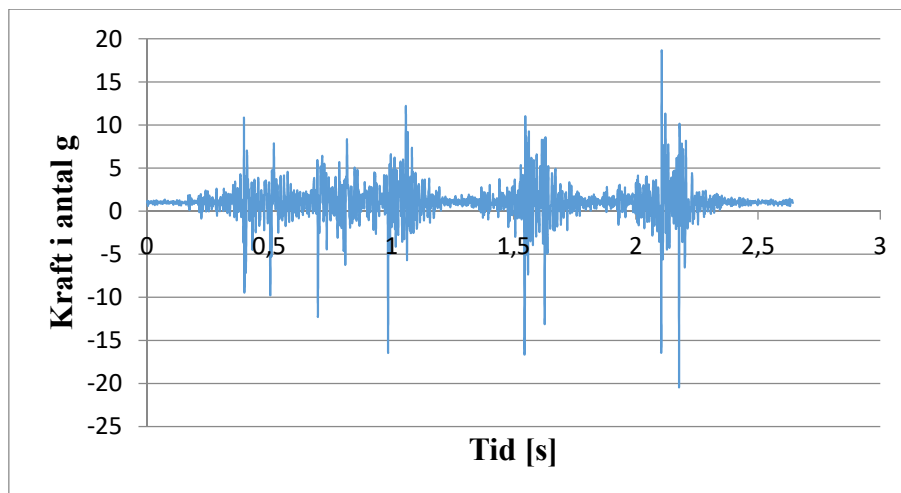


Figur 4.13: Lateral förskjutning i spårväxel av lokets fjärde axel.

Vid analys av data från 200 g accelerometern så visade det sig att signalen innehöll mindre brus än 16 g accelerometern vid passage av lok med vagn med samma typ av montage. Däremot var signalen bättre vid passage av lok utan vagn på 16 g accelerometern men där var denna applicerad på slipers. Endast tid för passage presenterats för ett tydligare åskådliggörande. Se figur 4.14 och 4.15.



Figur 4.14: G-krafter 4-axligt lok, 200 g accelerometer.



Figur 4.15 G-krafter lok med fyra axlar och två vagnar med 6 axlar, 200 g accelerometer.

4.4 Mätning av strömförbrukning

För att veta hur lång livslängd ett batteri har i prototypen så har strömförbrukningen uppmätts. Först komponent för komponent, i detta fall klocka, MEMS accelerometer och SD-korts adapter och sedan hela systemet med tidigare uppräknade komponenter plus mikrokontroller. Se tabell 4.1.

Tabell 4.1: Uppgifven samt uppmätt strömförbrukning.

Komponenter	Uppgifven maximal förbrukning (mA)	Uppmätt förbrukning (mA)
Klocka (RTC Module DS1307)	1,5	0,54
MEMS accelerometer (LIS3DH)	0,185 (vid 1344 Hz)	1,36 (vid 3×800 Hz)
SD-korts adapter (Catalex v1.0)	200	7,6
Mikrokontroller (Arduino mini pro, 16 MHz, 5V)	200	23 (hela systemet)

Enligt mätningar så håller sig alla komponenter under tillverkarens uppgifter om strömförbrukning, förutom för LIS3DH. Mätningen utfördes under ett test då alla komponenter belastades i form av accelerationsmätning. Gällande mikrokontrollern så gjordes mätningen då hela systemet var under belastning. Efter utförda mätningar så gjordes beräkningar av livslängd vid användande av 9 V batterier, enligt teorin av typen alkaliska och litium primärbatterier. En jämförelse gjordes mellan två tillverkare av alkaliska 9 V batterier då livslängden hade liten variation. Duracell (2017) uppgav en kapacitet på 550 mAh. Med denna kapacitet skulle mikroprocessorn ha en batteritid på ≈ 24 timmar. Energizer (2017) uppgav en kapacitet på 600 mAh vilket skulle ge en batteritid på ≈ 26 timmar. Gällande litiumbatterier på 9 V hävdar både Ultralife (2017) och Varta (2017) en kapacitet på 1200 mAh, dessutom under hög belastning. Detta skulle ge en batteritid för mikrokontrollern på ≈ 50 timmar.

5 Diskussion

Syftet med studien var att utveckla och testa lösningar i verklig miljö för tillståndövervakning av järnväg, specifikt mot punktfel i spårläge och spårväxlar. Målsättningen var att utprova om dessa prototyper fungerar i verklig miljö och hur användarvänliga de är. Detta för ett mer kostnadseffektivt underhåll av järnväg då anslagen inte räcker till för att underhålla nuvarande infrastruktur. Prototyperna har efter initiala tester visat att de fungerar ändamålsmässigt i fält och skulle teoretiskt kunna påvisa degradering av infrastrukturen vid montage vid spårväxlar och vid olika typer av punktfel. Detta skulle underlätta det förebyggande underhållsarbetet då till exempel underhållspersonal inte behöver vistas i spår i samma omfattning som idag, vilket bidrar till lägre underhållskostnader. Det ökar även driftsäkerheten om fel kan upptäckas i tid och åtgärdas.

Denna studie kan bidra till en hållbar framtid då personal inte behöver vistas i spår i samma utsträckning för att kontrollera skicket på infrastrukturen. Mindre transporter av personal bidrar till mindre växthusrelaterade utsläpp, vilket är bra för vår miljö. Kan tillståndövervakning på detta vis bli en realitet, så ökar tillgängligheten. Underhållsåtgärder utförs där de behövs och när de behövs, detta bidrar till att resurser kan läggas på utbyggnad av nätet istället för onödiga kontroller. Kan en utbyggnad av järnvägsnätet göras så kan ännu mer transporter förflyttas, vilket minskar utsläppen från tung trafik och flyg vilket är målsättningen för European Commission, mobility and transport, (2017).

Det första testet i fält var avseende aktiveringsfunktion, och fungerade för ändamålet på ett fullt tillfredsställande sätt, vilket visualiserades med lysdioder. Då alla tre aktiverades med olika typer av känslighet, dvs. 150 mg, 1 g och 2 g, så får denna typ av aktiveringsfunktion anses fungera väl i fält. Att de aktiverades i en icke tilltänkt följd kan eventuellt bero på att det handlar om så stora g-krafter från ett tåg (över 100 g) så uppvakning inställd på små g-krafter blir irrelevanta i sammanhanget. En annan trolig orsak kan vara programmeringsfel.

I intervjun med representanten från Trafikverket framkom det att denne också ansåg att det var möjligt att väcka en mätning med MEMS accelerometrar (se appendix 9.1). I detta fältbesök utfördes även ett initialt test med accelerometer för insamling av vibrationsdata. Programkoden som användes fungerade på ett tilltänkt sätt då data loggades på SD-kort och tiden även registrerades.

Av erhållen data i det andra testet så kan det konstateras att axlar och boogies kan urskiljas. Förskjutningar i spårsläge påvisas efter att accelerationsdata från SD-kortet integrerats två gånger, detta helt i enlighet med teorin och tidigare utförda försök med MEMS accelerometrar. I en förstudie visar Milne et al. (2016) att erhållen data från MEMS accelerometrar är fullt jämförbara med mätdata från betydligt dyrare geofoner (€600 styck) i samma typ av försök vid applikation på slipers. De har även visat sig fungera väl i fälttester över ett tidsspann på 1.5 månad och kunnat påvisa trender i samma studie. Då geofoner diskuterats som tänkbart alternativ i denna studie, visar Milne et al. (2016) att funktionen är likvärdig mellan alternativen.

Milne et al. (2016) visade dock att vid lägre frekvenser ≤ 1 Hz, presterade accelerometern med mätområde på ± 3 g inte lika bra resultat. Accelerometern med mätområde på ± 16 g presterade dock väl även vid lägre frekvenser. Då accelerometrarna är analoga i detta försök så har ADC använts. Då det inte framgår uppgifter om upplösning på dessa så går det inte att analysera bakomliggande orsaker till varför ± 3 g accelerometern fick sämre resultat i denna artikel.

Vid det andra testet så erhöles en hel del brus då 16 g accelerometern var monterad direkt på rälslivet. Möjliga orsaker till detta kan vara att accelerometern var monterad i direkt anslutning till korsningsspetsen i en spårväxel. Hade ett avstånd från växeln som i första testet hållits så hade resultatet rimligtvis blivit bättre. Vid montage på slipers så blev bruset mindre vilket stödjer denna teori. Mellan sliper och räl är ett gummimellanlägg monterat. Om tillståndsbaserat underhåll via tillståndsovervakning ska bli realitet så kan en modifiering vara ett filter mellan accelerometer och mikroprocessor för en tydligare signal.

En annan möjlig lösning på problemet med högfrekvent brus kan vara att testa olika typer av MEMS accelerometrar. Sekiya, Kimura och Miki (2016) utförde ett test med åtta stycken olika kommersiella MEMS accelerometrar för att ta fram förskjutning där egenskaperna i flera fall var likvärdiga enligt specifikation. Men då olika tillverkare använder sig av olika metoder då de specificerar produkten, så är tester under samma omständigheter det bästa sättet att ta reda på vilken typ som är bäst för ändamålet man ska använda den till.

Gällande filtrering av signalen kan efter utförd mätning en fouriertransform utföras för att transformera signalen från tidsdomänen till frekvensdomänen, Efter utförd transformering kan toppar i frekvenserna identifieras, efter detta kan lämpligt filter appliceras i dessa frekvenser, till exempel bandpassfilter eller lågpasfilter, Sekiya et al. (2016) utförde detta med gott resultat och erhöles en ren signal, vilket bör testas då detta inte hann utföras inom tidsramarna av detta projekt.

Enligt mätningarna av batteritid så skulle mikrokontrollern kunna logga data konstant i

minst 24 timmar med alkaliska 9 V batterier (550 mAh), om varje mätning tar 15 sekunder så skulle detta utgöra 5 760 mätningstillfällen. Sker det en mätning i veckan av ett passerande tåg så utgör det 110 års mätning utan batteribyte. Enligt teorin i figur 2.6 och 2.7 så är detta inte en realitet, då alkaliska batterier är känsliga för låga temperaturer och endast har 1/6 till ingen kapacitet beroende av belastning vid -20°C .

Jämförs detta mot 9 V litiumbatterier (1200 mAh) så erhålls en kapacitet på 50 timmar vilket med samma mättid utgör 12 000 mätningstillfällen. Sker här mätningar 1 gång i veckan utgör detta 230 år, sker mätningar 1 gång per dag så är batteritiden ≈ 33 år och sker det 7 mätningar varje dag så är batteritiden $\approx 4,7$ år. Då litiumbatterier inte påverkas nämnvärt av temperaturvariationer så är dessa beräkningar en bra referens. Denna batterityp skulle vara en förbättring till prototypen då tester i detta projekt endast skett med alkaliska batterier och nollgradig temperatur, vilket även skulle höja funktionssäkerheten och driftsäkerheten.

Skulle däremot prototyperna förses med internetuppkoppling via wifi eller GPRS så skulle detta såklart påverka batteritiden, men beroende på hur frekvent mätningar sker så kan batteritypen ändå vara ett fullgott alternativ.

I intervjun med underhållsentreprenören infranord (appendix 9.2) så ansågs uppkoppling inte nödvändigt i dagsläget vilket hade bidragit till en väldigt lång batteritid. Men eftersom tanken var att samla in enheterna efter ett par månaders intervall hade en möjlig lösning istället kunnat vara att logga data kontinuerligt varje dag, och skicka via wifi eller GPRS exempelvis en gång per vecka eller månad för analys av data. Detta hade sparat batteritid och möjliggjort en livslängd på flera år för batterierna. En design av låda, där batterier och minneskort dessutom är lätt att byta, hade bidragit till en hög underhållsmässighet, vilket är önskvärt för effektiv hantering.

Angående strömförbrukningen på accelerometern så framkom det aldrig hur många axlar som avsågs i databladet från tillverkaren. Är det endast en axel så blir skillnaden mindre då strömmätningen upptog alla tre axlar.

6 Slutsatser

Detta projekt baserades på att utveckla och utprova prototyper för tillståndövervakning av järnväg, specifikt mot att identifiera fel i spår och spårväxlar. Komponenter som använts för att bygga dessa prototyper är av öppen hårdvara och baseras på mikrokontroller av typen Arduino, som byggts på med accelerometrar, klocka, SD-kortsläsare och ADC. Komponenterna är billiga och kan programmeras med öppen mjukvara vilket har öppnat möjligheter att enkelt utprova olika ingående komponenter och dess funktion.

Arbetet visade att MEMS accelerometrar fungerade bra som aktiveringsfunktion av vibrationsdatalogger i järnvägsspår då avståndet är 70 meter.

Projektet lärde sig att sensorplacering i direkt närhet till det som avses mätas, kan medföra en hel del högfrekvent brus i signalen, appliceras däremot sensorn på slipers eller på ett avstånd från mätobjektet som i första testet, så erhålls en tydlig signal.

Resultaten visar att mätdata går att analysera och använda för tillståndövervakning av järnväg genom att använda integration, då förskjutningar i laterala samt vertikala riktningar erhålls. Detta är användbart för tillståndövervakning av järnväg, då degradering kan upptäckas i god tid och förebyggande underhållsåtgärder kan sättas in i berörda punktfel eller växelfel.

Mätningar och beräkningar av strömåtgång har även utförts och de uppställda krav på livslängd kan uppfyllas med en livslängd på ≥ 5 år, med en mätfrekvens 7 gånger per dag.

7 Förslag på fortsatt arbete

Resultaten i detta projekt gällande förskjutning av sliper i vertikalt samt lateralt läge är i enlighet med liknande försök refererade till i denna rapport, men då detta är en pilotstudie krävs ytterligare försök för att verifiera resultaten. Verifiering kan inbegripa annan teknik för mätning, som till exempel geofoner, och multi-depth deflectometers (MDD) (Gräbe and Shaw, 2010), Digital image correlation (DIC) (Murray, Andy Take, & Hoult, 2014), andra MEMS accelerometrar eller piezoelektriska accelerometrar.

Vidare kan verifiering ske med digital filtrering av signal och via labbtester med känd lägesförskjutning och hastighet på förskjutning. På detta sätt kan testerna gjorda i denna studie verifieras, samt att andra intressanta alternativ kan utvärderas.

Ska prototyperna förses med internetuppkoppling och delas över olika plattformar, som ett sista steg för sakernas internet, så bör olika alternativ som GPRS och wifi testas. Dessa tillbehör påverkar inte kostnaderna för prototyperna nämnvärt, förutom eventuell abonnemangskostnad. En aspekt som däremot är intressant är hur strömförbrukningen påverkas och hur frekvent data kan skickas utan att livslängden på batterierna påverkas nämnvärt.

I detta arbete konstaterades att sensorplacering har stor effekt på utseendet av erhållen mätdata. Alternativ som diskuterats är att placera sensorerna på ett längre avstånd från avsedd mätpunkt för tydligare mätdata. Filtrering av signalen kan även det vara ett alternativ. Antingen appliceras ett väl avvägt filter mellan sensor och mikroprocessor för att minimera brus och filtrera bort oönskade frekvenser, eller att utföra en fouriertransform för att omvandla den erhållna signalen från tidsdomänen till frekvensdomänen och identifiera brus samt avlägsna dessa frekvensområden. Dock beror sensorplacering och signalbehandling på vad som avses mätas.

8 Referenser

- SS-EN 13306:2010 (SIS 2016) Svensk standard, terminologi – underhåll
- SS-EN 50126:1999 (SIS 1999) Järnvägsanläggningar - Specifikation av tillförlitlighet, funktionssannolikhet, driftsäkerhet, tillgänglighet, underhållsmässighet och säkerhet (RAMS)
- Karolinska Institutet. (2013). Micro-Electrical-Mechanical Systems. Hämtad 2017-04-05 från <https://mesh.kib.ki.se/term/D055617/micro-electrical-mechanical-systems/>
- Utne, I.B., Brurok, T., Rødseth, H. 2012. A structured approach to improved condition monitoring, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 25, no. 3, 478-479.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Elsevier*, 24 February 2013 (1645–1660).
- European Commission, mobility and transport. (2011). VITBOK - Färdplan för ett gemensamt europeiskt transportområde – ett konkurrenskraftigt och resurseffektivt transportsystem. Hämtad från <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=EN>
- Trafikverket. (2011). Situationen i det svenska järnvägsnätet. Hämtad 2017-05-04 från http://www.regionvarmland.se/wp-content/uploads/2015/01/kom_situationen_i_det_svenska_jarnvagsnatet.pdf
- Trafikverket. (2017). Sveriges järnvägsnät. Hämtad 2017-05-04 från <http://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/jarnvag/Sveriges-jarnvagsnat/>
- Trafikanalys. (2017). *Järnvägstransporter 2016 kvartal 4*. Hämtad från <http://www.trafa.se/globalassets/statistik/bantrafik/jarnvagstransporter/jarnvagstransporter-2016-kvartal-4.pdf>
- Transportstyrelsen. (2017). Infrastrukturförvaltare. Hämtad 2017-05-04 från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/jarnvag/Tillstand/Tillstandformer-jarnvagsinfrastruktur/>
- Kumar, U., Nissen, A., Schunnesson, H., Parida, A. (2010). Driftsäkerhet och underhåll. (7., [rev.] uppl.) Luleå tekniska universitet.
- Möller, P., & Steffens, J. (2006). *Underhållsteknik Faktabok*. Solna: Liber.
- Future Electronics. (2017). What is a Microcontroller? Hämtad 2017-04-10 från <https://www.futureelectronics.com/en/Microcontrollers/microcontrollers.aspx>
- TechTarget. (2013). Definition Sensor. Hämtad 2017-04-10 från <http://whatis.techtarget.com/definition/sensor>
- Milne, D., Le Pen, L., Watson, G., & Thompson, D. (2016). Proving MEMS Technologies for Smarter Railway Infrastructure. *Elsevier, Volume 143, 2016*. Sid 1077–1084.
- Parker, M. (2010). *Digital Signal Processing 101: Everything You Need to Know to Get Started* [Elektronisk resurs]. Hämtad från http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=336009&site=ehost-live&scope=site&ebv=EB&ppid=pp_Cover
- Mälardalens högskola Eskilstuna. (2017). Metoden. Hämtad 2017-04-21 från <http://www.mdh.se/student/minastudier/examensarbete/omraden/metoddoktorn/metod/validitet-1.29071>

- Lantz, A. (2007). *Intervjumetodik* (Upplaga 2). Lund: Studentlitteratur.
- Ejvegård, R. (2003). *Vetenskaplig metod* (Tredje upplagan). Lund: Studentlitteratur.
- NC State University. (2017). Accuracy and Precision. Hämtad 2017-05-03 från <https://www.ncsu.edu/labwrite/Experimental%20Design/accuracyprecision.htm>
- Olle Vejde Förlag. (2017). reliabilitet, validitet. Hämtad 2015-05-03 från <http://www.ollevejde.se/statistikord/reliabilitet.htm>
- Duracell (2017). Duracell pluspower 9V [Datablad]. Hämtad från <http://pdfs.icecat.biz/pdf/32994756-5694.pdf?access=5ZIsPVkcnkx7ke-DERT6MLi78fpTH5pTjuPvcIEhKEPICPo1Eq8EZauTF9KvGx1rH>
- Energizer (2017). Product datasheet Energizer 522 [Datablad]. Hämtad från <http://data.energizer.com/pdfs/522.pdf>
- Ultralife (2017). 9-VOLT Lithium Power [Datablad]. Hämtad från <https://www.wiltro-nics.com.au/wp-content/uploads/datasheets/u9vl.pdf>
- Varta (2012). VARTA-9V LITHIUM 1200mAh [Datablad]. Hämtad från https://www.mega-piles.com/im/VARTA-9V-LITHIUM-1200mAh-X1_1286.pdf
- Sekiya, H., Kimura, K., & Miki, C. (2016). Technique for Determining Bridge Displacement Response Using MEMS Accelerometers. *Sensors Volume 16 Issue 2*, doi:10.3390/s16020257
- Gräbe, P. J. & Shaw, F. J. (2010). Design Life Prediction of a Heavy Haul Track Foundation. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit 224(5):337-344
- Murray, C. A., Andy Take, W., & Hoult, N. A. (2014). Measurement of vertical and longitudinal rail displacements using digital image correlation. Canadian Geotechnical Journal, Volume 52, Issue 2, Pages 141-155

Datablad komponenter

- Maxim integrated (2017). DS1307 [Datablad]. Hämtad från <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>
- ST Microelectronics (2017). LIS3DH MEMS digital output motion sensor: ultra-low-power high-performance 3-axis "nano" accelerometer [Datablad]. Hämtad från http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/a0/f0/a0/62/3b/69/47/66/DM00119044.pdf/files/DM00119044.pdf/jcr:content/translations/en.DM00119044.pdf
- Baidu (2017). MicroSD Card Adapter v0.9b [Datablad]. Hämtad från <http://pan.baidu.com/share/link?uk=2973473165&shareid=2278565172&third=0>
- Sparkfun (2017). Arduino Pro Mini (DEV-11113) [Datablad]. Hämtad från <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Boards/ProMini16MHzv1.pdf>
- Analog (2017). Data Sheet ADXL377 [Datablad]. Hämtad från <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL377.pdf>
- ST Microelectronics (2017). Parameters and calibration of a low-g 3-axis accelerometer [Datablad]. Hämtad från http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/a0/f0/a0/62/3b/69/47/66/DM00119044.pdf/files/DM00119044.pdf/jcr:content/translations/en.DM00119044.pdf

Appendix

A.1 Intervju med representant från Trafikverket 30/3 2017

Vid tillfället vid testningen av MEMS accelerometrar så utfördes samtidigt en intervju med Arne Nissen från Trafikverket. De tre forskningsfrågorna blev kärnan i intervjun och några kompletterande frågor ställdes även till nämnd person. Frågorna ställdes i ordningen nedan.

1. Kan MEMS accelerometer används som aktiveringsfunktion av vibrations-dataloger i järnvägsspår?

Svar: Här ansåg intervjupersonen att MEMS accelerometrar är för billiga för att kunna fungera i fält vid sitt tänkta användningsområde. Tveksamheter gällande temperatur, amplitud och om de är linjära över frekvenserna. Har de samma precision som ett dyrare system var också ett frågetecken. Däremot trodde nämnda person att MEMS accelerometrar kan väcka en mätning.

2. På vilket sätt påverkar intern och extern sensorplacering samt materialval mätkvaliteten på insamlad mätdata?

Svar: Intervjupersonen trodde här att en intern sensorplacering i låda är det bästa alternativet för en treaxlig accelerometer för bra mätkvalitet. Alternativet där sensorn sitter limmad mot rälen ansågs också vara ett bra alternativ men här var det viktigt med noggrannheten vid applikation då det är viktigt att limma jämnt och tunt för så lite mätförluster som möjligt.

3. Går mätdata att analysera och använda för drift- och underhållspersonal som infrastrukturförvaltare och entreprenörer?

Svar: Det borde vara fullt möjligt ansåg den intervjuade. Det borde kunna registreras och analyseras av berörd personal om till exempel sliper ligger och guppar och sedan åtgärda dessa fel.

Ytterligare en fråga ställdes till intervjupersonen som komplettering då ytterligare system utprovas parallellt med projektets (en proprietär systemlösning med accelerometrar och en med geofon) och kan ha viss relevans för detta projekt.

4. Är det värt att investera i ett dyrare system än det som utprovas i mitt projekt?

Svar: Då de årliga underhållskostnaderna uppgår till 120 000 kr för berörda fel så är det värt att investera upp till 20 000 kr per sensor om de har en livslängd mellan 5-10 år. Det viktigaste är att få en så bra signal som möjligt. Geofon ansågs bättre än accelerometer då den är känsligare och den mäter enheten hastighet istället för acceleration vilket är bättre enligt intervjupersonen då det blir enklare att hantera data. Gällande arduino så tillades att en AD-omvandlare nog är nödvändig då arduinon inte har konstant spänning.

A.2 Intervju med representant från Infranord 20/4 2017

För att se om intresse och användningsområde finns av prototyperna för tillståndsovervakning så bokades en intervju med underhållsentreprenören Infranord med säte i Boden. Detta är av stort intresse för projektet då ett gott utfall av testverksamheten kan bidra till ett förenklat och kostnadsbesparande underhåll.

En diskussion fördes före själva frågeställningen om hur deras underhållsverksamhet går till i dagsläget, och mycket information om järnvägsunderhåll erhöles, samt en hel del problem som de upplever sig ha i dagsläget. Det framkom bland annat att de idag har problem med växlar som inte uppfyller önskat krav på driftsäkerhet och funktionssäkerhet, att de har problem med sjunkande spår på vissa avsnitt av spåret. Ett annat stort problem var att de har problem med underläggen under rälen som gör att rälen glider, vilket ger en felaktig nötning. Efter information om hur problemen ser ut i dagsläget så ställdes frågor till Göran Henning som formulerats före själva besöket. Frågorna ställdes i kronologisk ordning som följer nedan och var i semistrukturerat utförande.

1. Finns det idag ett behov för övervakning av järnvägsväxlar och spår?
(schemalagt och kontinuerligt)

Svar: Ett intresse finns för applikation både i växlar och spår då det finns en problematik med just dessa delar.

2. Vilka feltyper är för er del viktigast att övervaka i nuläget?
(till exempel punktfel i spårläge, växelkors, växeltungor)

Svar: Växelkors ansågs här vara av högsta prioritet då dessa hade en hög felfrekvens i dagsläget. Även punktfel som kan uppstå där det finns trummor var av intresse då tjälbildning och sättningar uppstår ganska frekvent. Ett sådant system för övervakning som utprovas i detta projekt skulle vara väl anpassat för dessa behov ansåg respondenten. Skulle även temperatur kunna loggas så hade enheten varit till ännu större belåtenhet.

3. Är övervakning vid behov aktuellt, dvs där en datalogger appliceras manuellt vid ett specifikt tillfälle för ett specifikt fel eller är kontinuerlig övervakning att föredra där en datalogger är applicerad över en längre tidsperiod för loggning av gradvis försämring eller både och?
(ev. före och efter uh-åtgärd)

Svar: Här var kontinuerlig övervakning det aktuella alternativet under perioder om en månad upp till tre månader i dagsläget.

4. Om kontinuerlig övervakning föredras, finns det någon önskan om livslängd?
(batteritid tex)

Svar: Då aspekten gällande tid avsåg en till tre månader så ansåg respondenten att batteriet kunde bytas i samband med insamling av data vilket enligt önskemål kommer ske med intervallet en till tre månader.

5. Är uppkoppling mot internet via GPRS önskvärt? (vid vilka fall)

Svar: I dagsläget var uppkoppling mot internet inte nödvändigt men kunde detta ske till en kostnad som inte påverkar slutprodukten i alltför stor grad så kunde det eventuellt vara intressant.

A.3 Kod till vibrationsdatalogger

```
// LIS3DH accelerometer from Adafruit: Has both I2C and SPI
// Applying I2C. Code for SPI removed
// Code for Zero removed
// Notice that there is a delay in the accelerometer readings
// Data rate options 1 Hz to 5kHz
// Removed g-force conversion, i.e. <Adafruit_Sensor.h> and code

// microSD
#include <SD.h> // Load SD card library
#include<SPI.h> // Load SPI library for microSD

// LIS3DH
#include <Wire.h> // I2C for LIS3DH, i.e. using SCL and SCA
#include <Adafruit_LIS3DH.h>

// RTC
#include <SparkFunDS1307RTC.h>

// microSD
int dummy_variable = 2; // Variable for storing data to SD card
int chipSelect = 4; // chipSelect pin for the SD card Reader
File mySensorData; // Data object you will write your sensor data
to

// LIS3DH
Adafruit_LIS3DH lis = Adafruit_LIS3DH(); // Makes an "lis" (I2C)

// Time
int starttime;
int endtime;

void setup(void) {
  //Serial.begin(9600);

  // microSD
  pinMode(10, OUTPUT); // Must declare 10 an output and reserve it
  (microSD)
  SD.begin(4); // Initialize the SD card reader (microSD)

  // RTC
  rtc.begin(); // Call rtc.begin() to initialize the library
  //rtc.autoTime(); //Sets the time automatically
  //rtc.setTime(10, 21, 23, 4, 29, 03, 17); //rtc.setTime(s, m, h,
  day, date, month, year)
  // After setting the time, comment out immediately and upload
  again

  // LIS3DH
  // Check so that lis works
  if (! lis.begin(0x18)) { // change this to 0x19 for alternative
  i2c address
    Serial.println("Couldnt start");
    while (1);
  }
  lis.setRange(LIS3DH_RANGE_16_G); // Set range to 2, 4, 8 or 16
  G!
  lis.setDataRate(LIS3DH_DATARATE_LOWPOWER_5KHZ); // Set rate
  // LIS3DH_DATARATE_LOWPOWER_5KHZ
```

```

    TWBR = ((F_CPU /4000001) - 16) / 2; // Change the i2c clock to
    400KHz

}

void loop() {

    // RTC
    rtc.update(); // Call rtc.update() to update all rtc.seconds(),
    rtc.minutes(),

    // microSD
    mySensorData = SD.open("PTData.txt", FILE_WRITE);
    if (mySensorData) {

        printTime(); // Print the new time from RTC

        starttime = millis();
        endtime = starttime;
        while ((endtime - starttime) <= 5000) { // do this loop for x
ms

            lis.read(); // Get X Y and Z data at once
            mySensorData.print(lis.x); // write x to card
            mySensorData.print(", ");
            mySensorData.print(lis.y); // write y to card
            mySensorData.print(", ");
            mySensorData.println(lis.z); // write z to card

            endtime = millis();
        }
        mySensorData.println("end");
        mySensorData.close(); //close the file
    }
}

void printTime()
{
    mySensorData.print(String(rtc.hour()) + ":"); // Print hour
    if (rtc.minute() < 10)
        mySensorData.print('0'); // Print leading '0' for minute
    mySensorData.print(String(rtc.minute()) + ":"); // Print minute
    if (rtc.second() < 10)
        mySensorData.print('0'); // Print leading '0' for second
    mySensorData.print(String(rtc.second())); // Print second

    mySensorData.print(" | ");

    // Few options for printing the day, pick one:
    mySensorData.print(rtc.dayStr()); // Print day string
    mySensorData.print(" - ");

    mySensorData.print(String(rtc.date()) + "/" + // (or) print
date
        String(rtc.month()) + "/"); // Print month
    mySensorData.println(String(rtc.year())); // Print year
}

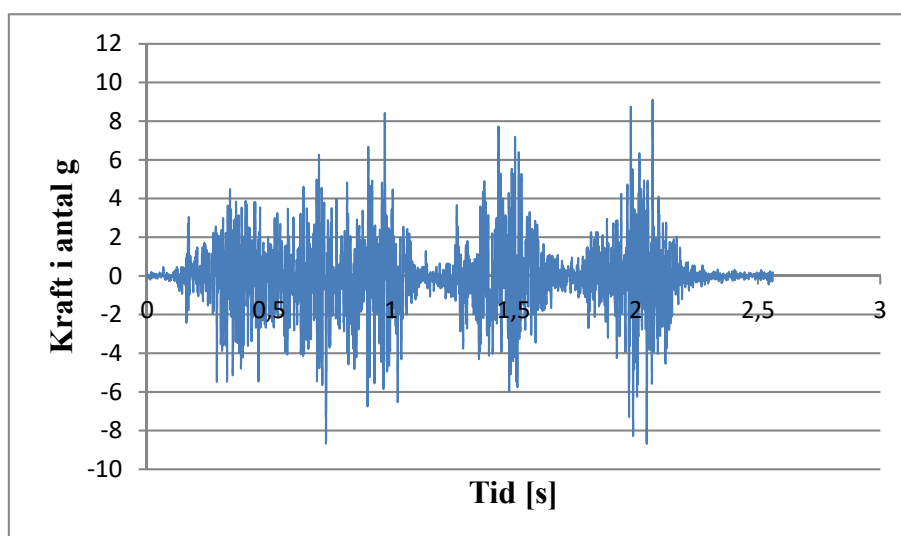
```

A.4 Test av sensorplacering, lok med två vagnar

Vid testet av sensorplacering där sensorn applicerades direkt mot rälen hade signalen mer brus och beräkning av förskjutning gjordes istället i det andra fallet. Bilder av detta försök redovisas här med bild på tåg, samt tabell med g-krafter som 16 g accelerometern registrerat.

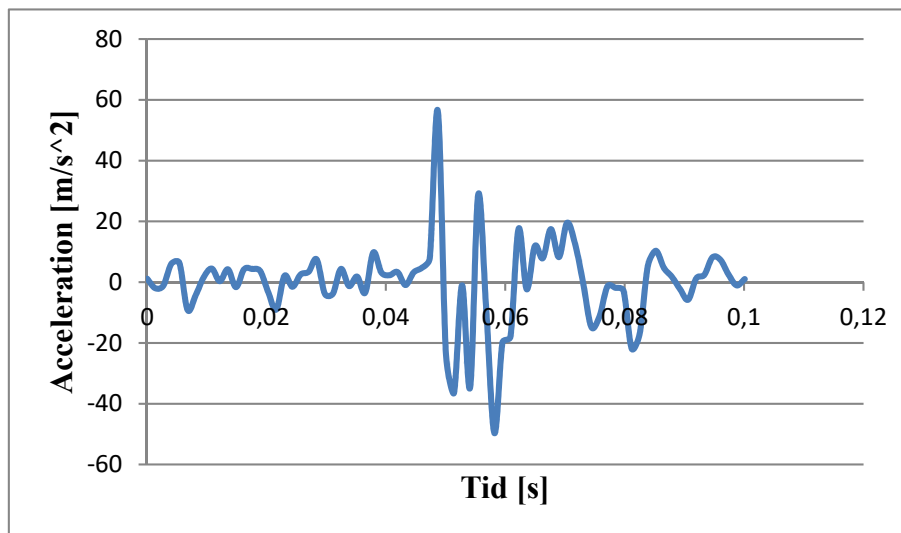


Figur 9.1: Tåg Green cargo med två vagnar.

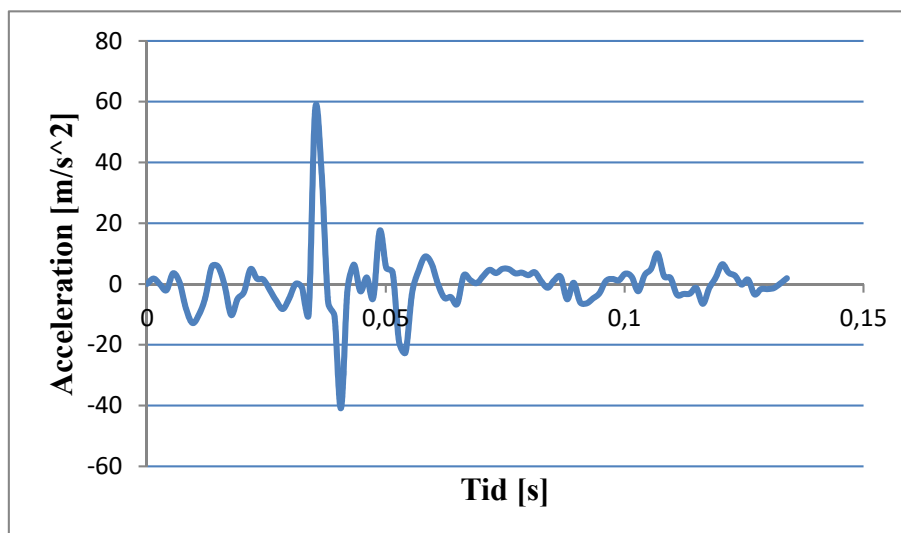


Figur 9.2: G-krafter lok med två vagnar.

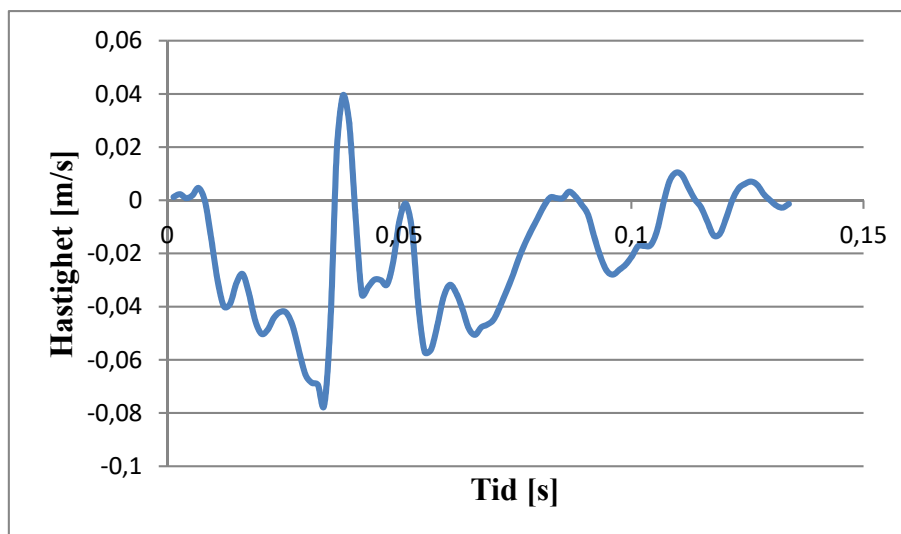
A.5 Tåg utan lok (Övriga figurer)



Figur 9.3: Vertikal acceleration i spårväxel av lokets fjärde axel.

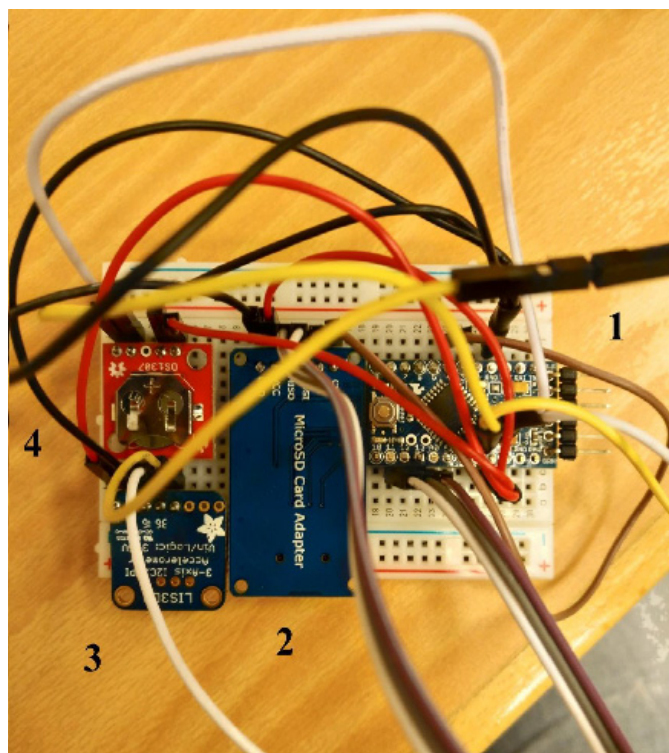


Figur 9.4: Lateral acceleration i spårväxel av lokets fjärde axel.



Figur 9.5: Lateral hastighet i spårväxel av lokets fjärde axel.

A.6 Datalogger på breadboard



Figur 9.6: Variant av montage på breadboard.

1. Mikroprocessor av typ Arduino uno.
2. Hållare för MikroSD-kort.
3. MEMS accelerometer.
4. Klocka med batteri.

Denna variant av montage (figur 9.6) är på en breadboard av plast där stift appliceras med att tryckas fast utan mjuklödning. Denna variant användes aldrig i studien men är funktionsmässigt identisk med de övriga prototyperna. Montering via mjuklödning upplevdes som en mer robust lösning.