

Slutrapport för förstudien RAIL-SENSE

Projektets namn: RAIL-SENSE Radar and AI-based Live Surveillance for Enhanced Network Safety (Radar och AI-baserad realitidsövervakning för förstärkt säkerhet)

Projektledarens namn och organisation: Mats Pettersson, Blekinge Tekniska Högskola (BTH)

Deltagande organisationer: Blekinge Tekniska Högskola, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) och Trafikverket

Deltagande: Professor Mats Pettersson (BTH), Professor Mats Bengtsson (KTH), Professor Mattias Dahl (BTH), Forskare Anders Lindfeldt (KTH), Anders Lindahl (KTH)

Tidsperiod: Januari 2025-januari 2026

Trafikverkets ärendenummer: TRV 2024/101645

Innehållsförteckning

1	Sammanfattning	3
2	Bakgrund	4
3	Genomförande	5
3.1.	AP1 Identifiering av relevant scenario	5
3.2.	AP2. Experiment utfört på TTC	6
3.3.	AP3. Utformning av projektansökan RAIL-SENSE+	9
4	Sammanfattning av projektförslaget RAIL-SENSE+	9
5	Uppföljning av tid, kostnad och innehåll	10
5.1.	Tidplan, aktuell situation och eventuella avvikelser	10
5.2.	Kostnad, upparbetat och eventuella avvikelser	11
5.3.	Milstolpar, slutrapport och avslut av projektet	11
6	Referenser	11

1 Sammanfattning

Det sker en revolution inom sensorområdet med AI, nya sensorer och nya sensorer. Förstudien RAIL-SENSE har undersökt hur förutsättningarna är att sätta ett projekt som undersöker hur nya sensorer kan användas och utvecklas för att ge ett effektivare och säkrare järnvägsnät. I början av förstudien undersöktes förseningsdata med orsakskoder som erhöles från Trafikverket Statistikcenter. Denna analys gjordes för att sammanställa de vanligaste förseningsorsakerna i tågtrafiken. Orsakerna har i sin tur utnyttjats för att ta fram lämpliga scenarier enligt arbetspaket 1 (AP1). Dessa scenarier har sedan används som underlag till mätningar i arbetspaket 2 (AP2) i förstudien.

Under slutet av maj genomfördes mätningar vid Tortuna Testcenter (TTC), enligt AP2. För att genomföra mätningar upprättades avtal mellan Trafikverket, BTH och KTH. Mätningarna som gjordes på TTC baserades på de scenarier som framkommit i AP1. Vid experimentet brukades en ny typ av radarutrustning, lidar och kameror. Experimenten utfördes på stationsområdet och vid en vägkorsning enligt föreslagna scenarier. Analyser av data har visat att experimenten var framgångsrika och delar av resultaten kommer att presenteras vid vetenskapliga konferenser under 2026. Dessa analyser tillsammans med slutsatser från AP1 har resulterat i projektansökan RAIL-SENSE+. TGO ansökan av RAIL-SENSE+ har beviljats och en TG2 ansökan lämnades in i januari 2026. Alla mål i förstudien är nu avklarade. Vi har därtill presenterat förstudien RAIL-SENSE och projektförslaget RAIL-SENSE+ vid KAJTs höstmöte 2025.

2 Bakgrund

Det har skett revolutionerade genombrott på nya typer av sensorsystem under det senaste decenniet. Det gäller framför allt radar och lidar där lidar är bra på kortare avstånd och radar är bra på längre avstånd samtidigt som den är väderoberoende. Utvecklingen har drivits av autonoma system där framför allt säkerhet i fordon och självkörande fordon på väg stått i fokus. Pris och prestanda har möjliggjort nya tillämpningsområden och samtida utvecklingen av AI har tagit tekniken till en helt ny nivå. Med i denna snabba utveckling på radarsidan är många svenska företag som erbjuder radar produkter för övervakning och trafikövervakning samt produkter avsedda för säkerhet och autonom körning av bilar. Parallellt med detta har telekomjättar som Ericsson insett att man vill utrusta nästa generation mobilsystem med en sensormod (radar) och man hoppas att den skall bli verklighet i 6G. Standardiseringen av 6G påbörjades i år och man hoppas ha 6G tillgänglig på marknaden 2030. Det kommer att innebära att om 5 år finns det troligen ett avancerat radarsystem utefter järnvägen vilken kan användas för att övervaka spår och spårområde.

Som konsekvens av den snabba utvecklingen finns många intressanta resultat som kan tillämpas på järnvägssystem. Det var därför förstudien RAIL-SENSE [1] påbörjades 2025 med målsättningen att starta projektet RAIL-SENSE+ under 2026. Det som förslaget RAIL-SENSE+ [2] kommer att bidra med är kunskap och nödvändig anpassning för de speciella krav, problem och restriktioner som finns på järnvägen. Olika miljöer har sina speciella egenskaper och det svenska järnvägsnätet har sin unicitet. Ett viktigt område är exempelvis störokänsligheten och robusthet. Projektet har ur ett systemperspektiv ett tvärvetenskapligt angreppssätt. Det finns en tydlig bäring på både Signalsäkerhetssystem samt Trafikplanering och Trafikstyrning.

Det föreslagna projektet RAIL-SENSE+ behöver olika kompetenser från KTH och BTH och har därmed en tvärvetenskaplig karaktär. Tvärvetenskapliga projekt har ofta betydligt längre uppstartstid och kräver mer planering för att lyckas. Det är bl.a. därför det bedrivits en förstudie RAIL-SENSE under år 2025 för att utforma projekt RAIL-SENSE+ med start 2026. I den förstudien har det tagits fram relevanta mätsituationer för projektet, tillgängligheten för TTC har säkrats genom avtal med Trafikverket och mätningar har utförts på plats. Mätningarna har påvisat många bra resultat. Genom mätningarna har det framkommit att mätutrustningen har behövt vidareutvecklas vilket skett under hösten i ett när besläktat projekt vid BTH.

3 Genomförande

I förstudien RAIL-SENSE fanns tre små arbetspaket

AP1 Identifiering av relevant scenario. Identifiera de viktigaste situationerna där skede i närhet till banvallen får följder där tågen försenas. Exempel på scenarier som kan vara av intresse är spring på spåret, vilt på spåret, tågpositionering, växelläge, nedisning, plankorsningar och inte minst skeenden i banvall eller i närheten av banvall.

AP2. Experiment utfört på TTC. Scenario för experimentet kommer i förstudien att planeras utgående från resultatet AP1. Experimentet kommer att utföras på TTC i Tortuna.

AP3. Utformning av projektansökan RAIL-SENSE+. Projektansökan utformas för projektet. Erfarenhet från scenario och experiment används för det slutgiltiga projektet.

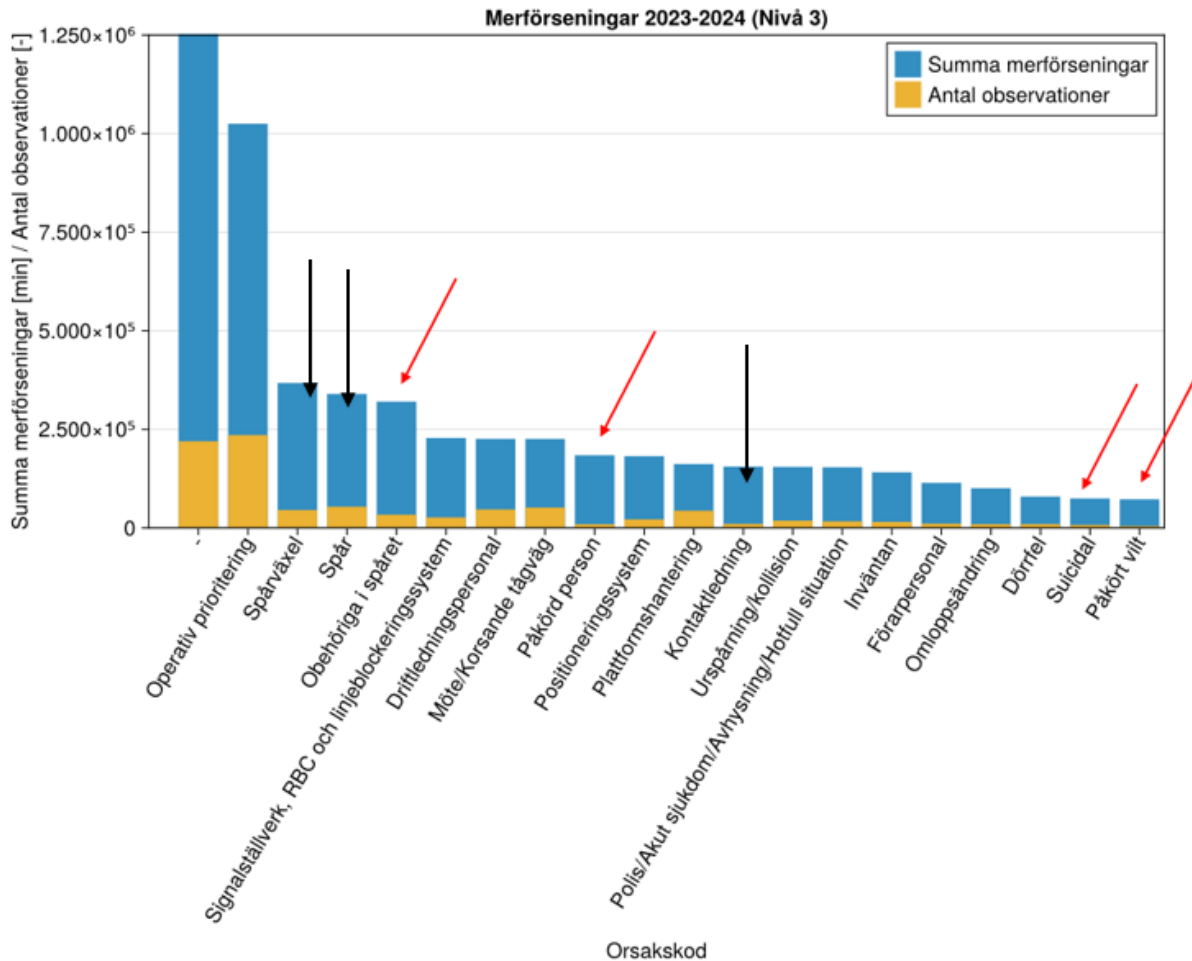
Arbetspaketen fullföljdes enligt plan och en kort beskrivning av de olika arbetspaketens genomförande finns nedan.

3.1. AP1 Identifiering av relevant scenario

För att genomföra mätningarna vid TTC behövdes underlag för vilka mätscenario som är mest relevanta ur ett förseningsperspektiv. För detta genomfördes en undersökning av trafikdata och orsakskoder. Resultaten från analysen finns rapporterade i memorandumet ”RAIL-SENSE – PM AP1 - Identifiering av relevanta scenarier” [3] som också var en av de två milstolparna i förstudien.

Ett utdrag av data från Trafikverkets system Lupp med orsakskodade merförseningar för hela 2023 och 2024 har erhållits från TRV Statistikcenter. Utdraget inkluderar inte godståg och innehåller endast orsakskodade merförseningar. En merförsening ska orsakskodas om merförseningen är 3 minuter eller högre. Detta innebär att merförseningar mindre än 3 minuter inte finns med. Information om inställda tåg är inte heller tillgänglig i det utdrag oms erhållits, vilket sannolikt utgör en stor del av den samhällsekonomiska kostnaden för orsaker som skapar längre avbrott i trafiken. Detta kräver en djupare analys i det slutliga projektet.

Data har olika orsakskoder och det finns tre nivåer: Nivå1, Nivå2 och Nivå3. Orsakskoderna blir mer detaljerade för högre nivåer. I memorandumet har vi analyserat framför allt Nivå 3 även ifall dom andra nivåerna är betraktade. I figur 1 är olika orsakskoder plottade i förhållande till antalet observationer och minuter det orsakar. Av dessa är de scenarier vi prioriterade rödmarkerade i förstudien RAIL-SENSE vid mätningarna vid TTC. Svartmarkerade också intressanta ur ett RAIL-SENSE perspektiv men vi har prioriterat rödmarkerade i förstudien och i det föreslagna projektet RAIL-SENSE+. Av alla orsakskodade merförseningar står rödmarkerade orsaker som kan detekteras av sensorsystem som testas i RAIL-SENSE för ca 10%. Av dessa 10% står orsakerna ”Obehöriga i spåret” och ”Påkörd person” för mer än hälften av merförseningarna. Om man lägger ihop alla förseningar som kan detekteras av RAIL-SENSE så står dessa av en betydande del av dom totala förseningarna. I memorandumet finns fler analyser av förseningar och i rapporten görs försök att uppskatta kostnader de orsakar. Det behöver dock göras mer på detta område vilket är planen för projektet RAIL-SENSE+.



Figur 1. Förseningsorsaker staplade som antalet observationer och antalet minuter som de orsakar.

3.2. AP2. Experiment utfört på TTC

I slutet av maj 2025 genomfördes experiment på TTC med relevanta scenarier. Innan experimentet ägde rum hade gruppen på KTH och BTH ett antal planeringsmöten på TTC och på distans. Underlaget för diskussionen var de resultat som kommit under AP1. Reglerna för användandet av TTC har även förändrats varför det slöts ett nyttjande avtal mellan Trafikverket, BTH och KTH under våren. Detta avtal garanterade strömförsörjning och tillgång till hela anläggningen vid TTC.

Vid experimentet användes ett nyutvecklat radarsystem från BTH vilket kan utföra både monostatiska och bistatiska radarmätningar. Denna utrustning samkördes med kamerautrustning från BTH och lidarutrustning från KTH. Experimenten utfördes på stationsområdet på TTC och i en plankorsning mellan Tortuna station och Tillberga station. För dokumentation användes även drönare för att övervaka allt som hände under experimenten.

I figur 2 syns delar av experimentuppställningen vid Tortuna station. På stativet närmast kameran finns en radarenhet vilken utför radarmätningar vid 77GHz. Utrustningen är framtagen för bilar och kan enkelt detektera fordon och gående personer. På andra stativet längre bort syns radarenhet nummer två. Denna enhet tar upp ekot från första enheten och bildar på så sett en bistatisk radarkonstellation. Genom en listig synkronisering har vi lyckats få dessa enheter att jobba bistatiskt vilket vad vi vet är helt unikt inom området. Med hjälp av denna konstruktion kan vi studera fördelarna som kommer i och med att sjätte generationens mobiltelefoni (6G) blir verklighet runt

2030. 6G kommer då att göra båda monostatiska och bistatiska radarmätningar tillgängliga utefter i princip hela Sveriges järnvägsnät. Än längre bort mellan rälsen vid ett bord står en man och övervakar KTHs lidarutrustning som användes under experimentet. Lidar har högre upplösning än radar men har inte samma räckvidd som radar och är betydligt mer väderkänslig än radar. Dom bildar dock ett bra komplement och båda sensorerna är intressanta för järnvägsövervakning. I figur 3 syns plankorsningen där också experiment utfördes. I detta fall placerades radarenheterna och lidarutrustningen utefter vägen.



Figur 2. Stationsområdet i Tortuna



Figur 3. Plankorsningen mellan Tortuna station och Tillberga.

På stationsområdet genomfördes flera experiment med framför allt personer som närmade sig spårområdet. Vid plankorsningen utfördes inte bara mätningar av personer utan även av olika fordon som cyklar och bilar. I figur 4 syns hur personer, cyklar och bilar ser ut i en Lidarbild. Både radarbilder och lidarbilder är svåra att presentera på bild då radar och lidardata är fyrdimensionella och inte två dimensionella som i en vanlig fotografisk bild.



Figur 4. Lidarbilder från plankorsningen.

Experimenten på TTC är lovande och resultaten kommer att presenteras på konferenser under året 2026. TTC anläggningen var tillgänglig och fungerade bra för denna typ av experiment. Vidare fungerade vår egen experimentutrustning i miljön och vi har från förstudien fått viktiga kunskaper som vi har användning för i det föreslagna projektet RAIL-SENSE+. Vi har genom förstudien och experimentet säkerställt att RAIL-SENSE+ utgår från ”state-of-the-art” och forskningsfronten på området. Användning av sensorer och AI för säkerhet och autonoma farkoster har kommit längre på

vägsidan än inom järnvägstrafiken. Forskningsmässigt finns det mycket intressanta publikationer [4],[5] vilka använder radar och optik och de övervakar spårområdet såsom vi. Dock undersöker de inte 6G och vad bistatisk radar kan åstadkomma för att förbättra punktlighet och säkerhet i järnvägsnätet.

3.3. AP3. Utformning av projektansökan RAIL-SENSE+

Med AP1 och AP2 som underlag har en projektansökan RAIL-SENSE+ tagits fram i AP3. TGO ansökan lämnades in i september som efter godkännande resulterade i en TG2 ansökan i januari 2026. Utformningen av ansökan har fördröjts till viss del p.g.a. att en ny portal används av Trafikverket. Dock ligger inlämnandet av projektförslaget helt enligt planen i förstudien.

4 Sammanfattning av projektförslaget RAIL-SENSE+

Att ha ett effektivt och säkert järnvägssystem är avgörande för att utveckla ett hållbart samhälle. Dagens järnvägssystem är dock känsligt för störningar som leder till förseningar och därigenom stora samhällskostnader. Effekten blir minskad trovärdighet för järnvägssystemet och en minskad vilja att överföra transporter till järnvägen. Det är därför viktigt att identifiera orsaken till störningarna och förebygga dessa med innovativa lösningar.

Projektet RAIL-SENSE+ syftar till att studera hur ny typ av övervakning kan utformas för att säkerställa en smidigare och säkrare tågtrafik. RAIL-SENSE+ undersöker hur framtida övervakningssystem kan utformas för att stärka säkerhet och effektivitet i tågtrafiken. Kraven på järnvägen ökar i form av högre kapacitet, punktlighet, snabbare tåg och införandet av nya system som ERTMS och ATO. Detta ställer i sin tur högre krav på övervakning. Parallellt sker en snabb utveckling av sensorteknik, driven av autonoma fordon och 6G. I 6G kommer kommunikation och radar integreras varför varje mobilmast även kan bli en radarenhet. Traditionellt så har säkerhets- och sensorsystem i järnvägsmiljö varit hårt kopplade till tågbanan och tågen som sådana. RAIL-SENSE+ tar en ny riktning genom att fokusera på rörelser och fenomen i och runt spår, banvall och närområde. En särskild utmaning är att detektera förändringar i luftrummet som passerar av tåget. Projektet kompletterar befintlig signalinfrastruktur och syftar till att anpassa ny teknik för järnvägens unika krav.

Projektet bygger på förstudien RAIL-SENSE som genomfördes 2025 och är ett samarbete mellan BTH och KTH. Där analyserades Trafikverkets statistik och förseningar kopplade till ”obehöriga i spåret” och ”påkörda personer” framstod som centrala orsaker. Experiment med ny sensorteknik genomfördes på Tortuna Test Center (TTC). Sensorlösningar som radar, bistatisk radar och Lidar testades i plankorsning och personer på stationsområden. Resultaten från denna förstudie är underlag till RAIL-SENSE+.

I RAIL-SENSE+ ska fördjupade analyser av förseningar göras, samtidigt som fler experiment planeras på sträckan Tillberga–Tortuna. Här kommer mätutrustning att registrera störningar såsom objekt på spåret, vilt, fordon i korsningar och andra risker. Sensorerna skulle även kunna upptäcka förändringar i banans form orsakade av väderförhållanden. Metoden kan fungera som komplement till spårledning och axelräknare och bidra med rumslig kunskap till signalsystem, trafikplanering och trafikstyrning.

Projektet har ett tvärvetenskapligt angreppssätt med tydlig bäring på både signalsäkerhet och trafikledning. För signalsystemen kan tekniken innebära kompletterande tågdetektering och en

utvidgad funktion som även fångar risker i banans närhet. För trafikplanering skapas möjlighet att värdera och reagera på störningar som tidigare varit svåra att mäta, vilket stärker optimeringen av omplanering. Trafikledningen kan i realtid dra nytta av informationen för att upptäcka företeelser som spårsprung, djur eller hinder innan de leder till större störningar.

Projektet avser att samlokalisera tester med andra aktörer på TTC, exempelvis Chalmers, för mer realistiska scenarier. Därtill har svenska radarföretag visat sig villiga att delta vid experimenten både med produkter och personal. Detta säkrar att arbetet har förankring i höga TRL-nivåer. Dessutom finns synergier mellan radarföretagen, BTH och KTH samt kopplingar till andra forskningsinitiativ, bland annat Europe's Rail och Vinnova-projektet "Integrated Sensing and Communication for 6G". Industriella intressenter finns även i dessa forskningsinitiativ.

RAIL-SENSE+ ska därmed skapa ny kunskap om hur avancerad sensorteknologi kan bidra till ett robustare järnvägssystem och ge Trafikverket nya verktyg för att förbättra säkerhet, planering och drift.

RAIL-SENSE+ utgår från *state-of-the-art* och forskningsfronten på området. Användning av sensorer och AI för säkerhet och autonoma farkoster har kommit längre på vägsidan än inom järnvägstrafiken. Vi har två ledande företag för fysisk säkerhet och övervakning vilka ha sagt sig vara villiga att delta med sin utrustning vid experimenten som genomförs. Detta innebär att vi har god insyn vad som händer i det privata näringslivet på området. När det gäller järnväg så finns det optiska och radarsystem som är konstruerade för att övervaka specifika platser som perronger och plankorsningar men inte vad vi vet på längre avstånd och med bistatisk radarteknik. Det finns koncept och initiativ som testas för att få bättre information om vad som händer i anläggningen [6], men inte med den inriktningen som vi har i RAIL-SENSE+ som mer är inriktad på säkerhet runt spåret. Forskningsmässigt finns det mycket intressanta publikationer [4],[5] där en av publikationerna är publicerad så sent som i år. De använder radar, optik och de övervakar spårområdet såsom vi. Dock undersöker de inte 6G och vad bistatisk radar kan åstadkomma.

5 Uppföljning av tid, kostnad och innehåll

5.1. Tidplan, aktuell situation och eventuella avvikelser

Arbetet i förstudien har följt tidplan men med en liten fördröjning innan sommaren. Faktureringen släpade efter från KTH p.g.a. att arbetet utfördes i anslutning till halvårsskifte och semestertider. Redan i november var en stor del av arbetet avslutat för att vara helt avslutat i samband med denna slutrapport.

Samarbetet har flutit på bra, trots att det är tre forskargrupper vid BTH och KTH som tidigare inte har samarbetat. Under året har grupperna haft möte 1-2 gånger i månaden där resultat från (AP1) diskuterats och förberedelse gjorts inför experimentet vid TTC (AP2). Arbetet med scenario (AP1) var klart under våren och det har levererat relevanta scenarier till experimentet i AP2. I slutet av maj genomfördes experiment på TTC där framkomna scenarier testades. Utvärderingen från experimenten tillsammans med resultaten från AP1 resulterade i en TGO för projektet RAIL SENSE+ som senare beviljades. En TG2 ansökan i pappersform var klar i december och inlämnad i forskningsportalen i januari 2026.

I samband med experimentet upprättades ett nyttjande avtal mellan BTH, KTH och Trafikverket. Avtalet gav högskolorna fri tillgång till TTC under tvådagarsexperimentet i slutet av maj. Nu när detta avtal är framtagit tror vi att access till TTC kommer att bli mycket enklare i samband med en eventuell fortsättning i projektet RAIL-SENSE+. Ett PM från arbetet i AP1 sammanställdes i juli och finns tillgängligt i gruppen.

5.2. Kostnad, upparbetat och eventuella avvikelser

Arbetet i förstudien följde tidplanen. Allt är nu upparbetat i samband med att denna slutrapport lämnas in.

Budget tkr	Upparbetat tkr	Eventuella avvikelser från budget (Prognos) tkr
BTH 250 tkr	BTH 250 tkr	
KTH 250 tkr	KTH 250 tkr	
Totalt 500 tkr	Totalt 500 tkr	

5.3. Milstolpar, slutrapport och avslut av projektet

Förstudien genomfördes enligt tidplan trots att grupperna på BTH och KTH tidigare inte har samarbetat. Under året har grupperna haft möte 1-2 gånger i månaden där arbetspaketen AP1-AP3 diskuterats. Resultatet i AP1 är rapporterat i ett PM [3], experimenten i AP2 är utförda och AP3 är slutförd i och med inlämnandet av TG2 av RAIL-SENSE+ i januari 2026. I förstudien fanns två milstolpar

Milstolpe 1: Identifiering av scenarie (M6)

Memorandum som distribueras internt i projektgruppen.

Milstolpe 2: Slutrapport (M13)

Projektansökan för projektet RAIL-SENSE+

Milstolpe 1 levererades vid halvårsskiftet i form av memorandumet ”RAIL-SENSE – PM AP1 - Identifiering av relevanta scenarier” [3]. Milstolpe 2 levererades i och med TG2 och projektet avslutas i och med att denna slutrapport lämnas in. Som en extra del i rapporteringen har vi valt att presentera RAIL-SENSE och RAIL-SENSE+ vid KAJT Höstseminarium i Stockholm den 27 november 2025.

6 Referenser

- 1 M.Pettersson, ”RAIL-SENSE Radar and AI-based Live Surveillance for Enhanced Network Safety”, TRV2024/101645
- 2 M.Pettersson, “RAIL-SENSE+ Radar och AI-baserad liveövervakning för förbättrad nätverkssäkerhet”, TRV 2025/101429
- 3 A.Lindfeldt, ”RAIL-SENSE – PM AP1 Identifiering av relevanta scenarier”, Internt projektmemorandum
- 4 T. Ye, X. Zhang, Y. Zhang and J. Liu, "Railway Traffic Object Detection Using Differential Feature Fusion Convolution Neural Network," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 22, no. 3, pp. 1375-1387, March 2021
- 5 X. -Y. Xu, S. -M. Wang, W. -Q. Liu and Y. -Q. Ni, "Advancements in Obstacle Intrusion Detection Methods for Rail Transit: A Comprehensive Review," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 74, pp. 1-34, 2025

- 6 J. Richter, "Automated Inventory of Railway Infrastructure Using Artificial Intelligence ", (20251205), ERCI Webinar | AI-Driven Rail Infrastructure Monitoring, (<https://mobilitaet-bb.de/en>)