



**Branschprogram  
Kapacitet i järnvägstrafiken – KAJT**

**Projektresultat 2021**

Mars 2022



# Innehållsförteckning

<b>Inledning</b> .....	<b>3</b>
<b>Operativ trafikstyrning</b> .....	<b>6</b>
<i>Beslutstöd för trafikledare: approximativa och exakta optimerande metoder (BLIXTEN II)</i> .....	7
<i>Capacity Modeling and Shift Optimization for Train Dispatchers –(CAPMO-Train)</i> .....	8
<i>Socioteknisk systemdesign av Framtidens Tågtrafiksystem (FTTS2)</i> .....	9
<i>Kapacitet, körbarhet och arbetsbelastning (KAKA)</i> .....	13
<i>Människa och automation i framtida samverkan (HumanAuto)</i> .....	14
<b>Simulering, optimering och kapacitetseffekter – demonstratorer och implementation</b> .....	<b>15</b>
<i>Indicator monitoring for a new railway paradigm in seamlessly integrated cross modal transport chains – Phase 2 (Impact-2, WP7)</i> .....	16
<i>Simulering med Proton och RailSys (SIMPOR)</i> .....	17
<i>Digitalization and Automation of Freight Rail (Fr8Rail II WP3)</i> .....	18
<b>Planering och styrning av godstrafik</b> .....	<b>20</b>
<i>Smart, data-based assets and efficient rail freight operation (Fr8Rail III WP2)</i> .....	21
<i>Flexibilitet för ökad kapacitet på Malmbanan (Flexikap)</i> .....	23
<i>Nyttjandegrad för anläggningar som bangårdar och terminaler (NYTTA)</i> .....	24
<i>PRediktion av AnkomstTider och Avgångar (PRATA)</i> .....	25
<b>Kapacitetsplanering av tåg och banarbeten</b> .....	<b>28</b>
<i>Robusta tidtabeller med kombinerad simulering och optimering (FlexÅter 2)</i> .....	29
<i>Decision support for railway crew planning (DSRCP)</i> .....	30
<i>Reservkapacitet i tilldelningsprocessen – Huvudstudie (RITH)</i> .....	31
<i>Kapacitet i nätverk 2 (KAIN 2)</i> .....	32
<i>Detaljeringsnivåer i tidtabellsplanering: mikro och makro (MIMA)</i> .....	33
<i>Tjänsteutbud och transportkapacitetsförsörjning på järnväg (TOT)</i> .....	34
<i>Banarbetsprocess och datatillgång (BANDAT)</i> .....	35
<i>Betydelsen av styva tidtabeller i anslutningstrafiken (BASTA)</i> .....	37
<i>Samplanering av trafikpåverkande åtgärder och trafikflöden, modellstudie (SATT)</i> .....	38
<b>Punktlighet</b> .....	<b>39</b>
<i>Nyckeltal för punktlighet på järnväg - del 2 (Nypunkt2.0)</i> .....	40
<i>Mindre Störningar i Tågtrafiken, del 2 (MIST2)</i> .....	42
<i>Förseningarnas påverkan på efterfrågan av tågresor – en tidserieanalys (DeDe Delay → Demand)</i> .....	44
<i>Störningars påverkan och samband med punktligheten (Ståndpunkt)</i> .....	45
<b>ERTMS</b> .....	<b>46</b>
<i>Testplattform med simulatorer för effektiv och trafiksäker driftsättning av ERTMS (TESTER)</i> .....	47
<i>Headway och signalpunktplaceringar i ETCS (HESE)</i> .....	48

## Inledning

KAJT har en målsättning att bedriva högklassig forskning och att forskningsresultat ska omsättas till förbättringar inom Sveriges järnvägsverksamhet. KAJT forskningen bedrivs hela tiden nära problemägare och intressenter. Problemägare är Trafikverket, svenska järnvägsföretag och JBS (Järnvägsbranschens samverkansforum). Intressenter är systemleverantörer, kunskapsföretag, godstransportkunder, resenärer med flera

I denna rapport sammanställs de viktigaste forskningsresultaten under 2021 från KAJT:s forskningsprojekt. Mer information om projekten finns även i KAJT Projektkatalog (version 2022-03-31) Nedan beskrivs görs översikt av forskningsbehov och forskningsnytta inom några områden.

Ny kunskap, metoder och demonstrationer som KAJT Projekt bidrar med kan delas upp i områdena:

- Operativ trafikstyrning
- Simulering, optimering och kapacitetseffekter – demonstratorer och implementation
- Planering och styrning av godstrafik
- Kapacitetsplanering av tåg och banarbeten
- Punktlighet
- ERTMS

### **Operativ trafikstyrning**

Flera av de större förändringsprojekten inom Trafikverket och svensk järnväg har koppling till forskning som gjorts av KAJT och det framtagna konceptet att styra genom planering.

Projekt NTL (Nationellt Tågledningssystem) är ett införandeprojekt för att unifiera Sveriges tågledningssystem och att trafikledarna går från penna och papper till digital trafikledning. Hos Trafikverk pågår arbete både med att utveckla och införa det nya systemet samt att genomföra förändring av arbetssätt.

Innan NTL är på plats pågår arbete med att sprida Digital Graf till samtliga driftledningscentraler. En plattform har utvecklats för externt datautbyte för C-DAS (Connected Driver Advisory System) som branschen kan koppla upp sig mot. Det finns också en järnvägssimulator som är kopplad till det kommande systemet.

KAJT:s miljöer utvecklat koncept, metoder och demonstration av beräkningsstöd i den operativa driften vid trafikstyrningar. Forskning om människans del i processen, samt delning av information och utveckling av processer hos Trafikverket inom svensk järnväg Trafikverket och andra delar tex tåg, lokförare, bangårdspersonal, Järnvägsföretagens trafikledning m.m.

Nyttor från KAJT forskning är:

- Bidrag genom kunskap om den operativa processen, att studera identifierade problem och förbättringsmöjligheter
- Kunskap om människans del i processen och frågor kopplat till pågående digitalisering och automation
- Framtagande av koncept demonstratorer och algoritmer
- Framtagande av simulatorer och demonstratorer som kan användas för utveckling av processer och beslutsstöd
- Koncept om hur beslutsstöd för operativa processen hänger ihop finns beskrivna i rapporten FR8Rail II D 3.2.Description of decision support tool.

### **Simulering, optimering och kapacitetseffekter – demonstratorer och implementation**

Att utföra simulering och optimering, samt studera kapacitetseffekter sker i strategiskt, taktiskt och operativ nivå.

I projektet Plasa har KAJT parter tillsammans med DB utvecklat en makrosimulator Proton. Proton är en forskningssimulator som i Tyskland används för simulering av nationellt järnvägsnät. Trafikverket och DB Tyska järnvägen har forskningssamverkan om Proton. KTH och Lunds universitet utför forskning och deltar i utveckling av Protons metodik och användning för Sverige. Trafikverket håller på att införa Proton i förvaltning. Trafikverket planerar att börja använda simulatoren i TPA-processen (Trafikpåverkande åtgärder) för planering av tåg och banarbeten. Workshop har utförts med kapacitetsexperter och intressenter hos Trafikverket, samt forskare inom KAJT.

KAJT parter utvecklar ett koncept M2 – Timo optimeringsstöd till kapacitetsplanerare. M2 (RISE) är en forskningsplattform som hanterar tidtabell, visualisering och optimeringsfunktionalitet. M2 har exportfunktion av data till Timo. Timo (Linköpings universitet) är ett IT stöd för optimering av tågplan. I Timo kan användare definiera uppgiften, t.ex. område och vilka tåg/banarbeten som ska förbättras/ändras. Nästa steg är att genomföra optimering och välja kapacitetsplan utifrån KPI:er och inställning av objektfunktion. Workshop har utförts med kapacitetsplanerare och personer med olika roller inom tågplanprocessen hos Trafikverket och forskare inom KAJT.

### **Planering och styrning av godstrafik**

Inom planering och styrning av godstrafik sker ett arbete med att få en bättre koppling mellan bangård och järnvägsnät. Forskning pågår inom Shift2Rail och fokus är Hallsberg – Malmö – Danmark/Tyskland. Forskningen studerar kapacitet, processer och brister för Hallsberg och Malmö. Forskning sker i samverkan med TTT bangårdar järnvägsföretag gods (Malmö, Hallsberg och Ånge). Ett arbete pågår med att specificera och utveckla beslutsstöd för Malmö godsbangård (MGB). Beslutsstödet benämns Yard Co-ordination System (YCS) och är samplanering av infarts/utfartsgrupp vid bangården. Intressenter som ska samplaneras är Trafikverket, rangeringsbangården (Green Cargo) och kombiterminalen (Mertz). Utbildning av expertanvändare hos de tre parterna har påbörjats. Under 2022 ska konceptet med samplanering testa genom workshops med YCS-verktyget för olika scenarios.

### **Kapacitetsplanering av tåg och banarbeten**

Trafikverket utvecklar kapacitetsplaneringen genom processen Trafikpåverkande åtgärder. I den nya processen sker planering av större banarbeten i ett tidigare skede än tidigare. Trafikverket deltar också i att utveckla kapacitetsplaneringsprocessen på Europeisk nivå, den nya processen benämns TTR.

KAJT har flera projekt som studerar kapacitetsplanering av tåg och banarbeten. Det gäller dels forskning om optimeringsstöd för planering och dels hur väl processen fungerar.

### **Punktlighet**

KAJT har ett flertal projekt som arbetar med uppföljning och analys av punktlighet, samt stöd för åtgärder om ökad punktlighet.

Projektet Nypunkt 2 har studerat punktligheten i de tre storstadsområdena Stockholmsområdet, Göteborgsområdet och Malmö-/Skåneområdet. Dataanalys och uppföljning har utförts för de tre områdena. En triangel har tagits fram som beskriver punktlighetssamband och punktlighetsarbete. Metodik tas fram för ledande och släpande indikatorer, samt hur indikatorer kan användas för arbete med åtgärd och effekt av punktlighetsåtgärd.

I projektet Ståndpunkt är syfte att hitta tydligare samband mellan händelser/störningar och punktlighetsbrist. Algoritmer har utvecklats av forskare i samverkan med Trafikverket om uppföljning och analys av störningar och dess spridning. Arbete sker i nära samverkan med Trafikverkets rot-grupp som arbetar med åtgärder för ökad punktlighet.

### **ERTMS**

Det nya europeiska signalsystemet ERTMS är under införande i Sverige, nästkommande banor är Malmbanan och Södra stambanan. Arbete pågår med projektering och simulering av kapacitetseffekter

för dessa banor pågår. I Sverige är det ERTMS nivå 2 som införts och planeras att införas. Forskning utförs även på ERTMS nivå 3 och ERTMS nivå 3 hybrid.

För ERTMS införande är simuleringar med VTI tågssimulator och med Railsys viktiga. För VTI tågssimulator finns ett samarbete med ett flertal tågforetag verksamma i Sverige, samarbetet benämns TUFFA gruppen. VTI har också forskningssamverkan på Europeisk nivå kopplat till sin simulator och tåg/förarsimulering. För Railsys håller Trafikverket i en användargrupp i Sverige, samt ett internationellt samarbete med Norge, Danmark och Nederländerna.

Nyttor från KAJT forskning är:

- Förbättrade simuleringsmodeller, användningsområden och metodik kopplat till dessa för VTI tågssimulator och Railsys
- Bidrar till ökad kvalitet i ERTMS utbildning för förare. Utbildning med simulering har en viktig uppgift i ERTMS införandet
- Forskningsstudier med VTI simulatoren eller uppföljning av körningar (kördata, film m.m.). Det ger kunskap om skillnader i förarbeteende mellan ATC och ERTMS, hur föraren bromsar i förhållande till ERTMS övervakningskurvor, m.m.
- Ökad kunskap om kopplingen förare – trafikledning samt koppling ERTMS förargränssnitt (DMI) förarbeteende och kapaciteten
- Projektet ger oss mer korrekta metoder och modeller för gångtidsberäkning, samt utvecklar analysmetodik för kapacitets- och punktlighetsstudier.
- Kunskap om bromskurvor och dess påverkan på kapacitet
- Kunskap om ERTMS nivå 2 versus ERTMS nivå 3 hybrid och ERTMS nivå 3, samt nivåernas effekter på gångtider, kapacitet och punktlighet
- Kunskap som stödjer ERTMS projektering t ex metoder för hur hastighetsprofilerna ska utformas.

## Operativ trafikstyrning

## Beslutstöd för trafikledare: approximativa och exakta optimerande metoder (BLIXTEN II)

Projektledare: Johanna Törnquist Krasemann, Blekinge Tekniska Högskola (BTH)  
Projektdeltagare: Sai Prashanth Josyula och Lars Lundberg, BTH  
Kontaktperson/beställare: Jerry Onmalm, Trafikverket

Behoven av och potentialen i att införa en större omfattning av beräkningsfunktionalitet som stöd för proaktiv tågtrafikledning har blivit allt tydligare de senaste åren. I detta projekt utvecklas och utvärderas alternativa algoritmer som skulle kunna i ett framtida scenario vägleda utformningen av dylik beräkningsfunktionalitet, dess potential och begränsningar.

Under projektets första del vidareutvecklades den parallella algoritmen från ett tidigare projekt (TRANSFORM-projektet) för att kunna hantera multipla mål och preferenser i omplaneringen av tågtrafik vid störningar. Därefter vidareutvecklades ett ramverk för att kunna utvärdera och jämföra alternativa metoder där vi utvärderade två alternativ. Under 2021 har algoritmen förbättrats ytterligare och fokus i projektet har även varit på att analysera resultaten från den senaste studien, se Paper 5 i (Prashanth Josyula, 2021) utifrån frågor och synpunkter från Trafikverkets kontaktperson. Vidare har underlag tagits fram för en presentation och demonstration under februari 2022 av den senaste versionen av algoritmen avseende:

1. Hur algoritmen fungerar såsom vilken data som används, vilka beslut som tas och enligt vilka regler samt vilka resultat som fås och hur dessa kan tolkas på olika sätt.
2. En genomgång av lösningarna från ett par störningsscenarioer som studerats i detalj.
3. En analys av hur algoritmen fungerar om den används iterativt för att uppdatera aktuell tidtabell när förändringar sker, t ex med 10 minuters intervall (s k closed-loop).

Projektet fortsätter under 2022 och planeras att slutrapporteras i april 2022.

### Avhandlingar

Prashanth Josyula, S., (2021), "Parallel algorithms for solving the train timetable rescheduling problem", Doktorsavhandling No. 2021:06, Blekinge Tekniska Högskola. <http://bth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1583732/FULLTEXT03.pdf>

### Tidskriftsartiklar

Prashanth Josyula, S., Törnquist Krasemann, J., Lundberg, L., "An Evaluation Framework and Algorithms for Train Rescheduling", *Algorithms* 2020, No. 13, pp. 332; <https://doi.org/10.3390/a13120332>

Prashanth Josyula, S., Törnquist Krasemann, J., Lundberg, L., "Parallel computing for multi-objective train rescheduling", *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, ISSN 2168-6750, Vol. 9, nr 4, pp. 1683 - 1696, IEEE Computer Society, 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9224174>

### Konferenspresentationer (utan proceedings)

Törnquist Krasemann, J., Parallel algorithms for real-time railway disturbance management: Opportunities and challenges, TRAIL research school seminar med titeln "Modelling Passenger Behaviour and Managing Public Transport Operations under Disturbances", TU Delft, 26 februari 2020.

Prashanth Josyula, S., Disturbance management: Some insights from the project Blixten II, KAJT host seminarium, 23 november 2021.

## Capacity Modeling and Shift Optimization for Train Dispatchers –(CAPMO-Train)

Projektledare: Christiane Schmidt, Linköpings universitet  
Projektmedlemmar: Rabii Zahir och Tomas Lidén, Linköpings universitet; Jan Andersson och Gunilla Björklund, VTI  
Kontaktperson beställare: Magnus C Johansson, Trafikverket

I detta projekt strävar vi efter att belysa möjligheterna till automatiserade, optimerade arbetsskift för tågklarerare, som tar hänsyn till alla juridiska och operativa restriktioner och integrerar tågklarerarens arbetsbelastning. Vi kommer att utveckla ett optimeringsramverk för arbetsskiften.

Under våren 2021 påbörjade vi projektet och rekryterade en doktorand: Rabii Zahir. Vi har gjort en litteraturstudie, studerat kollektivavtalet och tagit fram en detaljerad enkät för en intervju för att få fram alla operativa och juridiska restriktioner. Vi har genomfört intervjun och baserat på den har vi påbörjat modellutvecklingen.

Vi har haft flera möten med resultatmottagare hos Malmö trafikcentral och det finns stort intresse för projektet.

Projektet fortsätter under 2022 (projekttiden är april 2021-mars 2024).



## Socioteknisk systemdesign av Framtidens Tågtrafiksystem (FTTS2)

Projektledare: Anders Arweström Jansson, Uppsala universitet  
Projektmedlemmar: Rebecca Cort, Uppsala universitet  
Kontaktperson beställare: Gunnar Bengtsson / Jörgen Frohm, Trafikverket

Projektinnehåll i korthet:

Resultaten visar på tidigare okända fenomen som avslöjar hur centralt det mänskliga bidraget är i tågtrafiksystemet.

Viktigaste aktiviteten under året:

Rebecca Corts disputation 2021-12-10 samt tre publikationer.

Projektstatus: Avslutat

### Projektets resultat och slutsatser i korthet

Rebecca Cort har med sin forskning visat på vikten av ett bredare angreppssätt när man vill förstå och utvärdera människans roll i det vi här kallar för *det sociotekniska systemet*, och som det svenska tågtrafiksystemet är ett exempel på. De olika rollerna i tågtrafiksystemet har studerats genom användning av *kognitiva-etnografiska metoder*. Resultaten avslöjar tidigare okända delar av *det mänskliga bidraget i tågtrafiksystemet*. Genom noggranna analyser mejslas de olika rollernas ansvarsområden fram, och slutsatsen som dras är att det är mänskliga aktörer som bär upp hela systemet, naturligtvis inom ramen för de tekniska system där de verkar. Syftet med forskningen har varit att synliggöra det mänskliga bidraget, som en kontrast till den många gånger ensidiga fokusen på mänskliga misstag i samband med avvikelser. I den forskning som presenteras är vardagspraktiken i fokus. *Distribuerad kognition* har varit det viktigaste teoretiska ramverket när kvalitativa data har tolkats och analyserats. Nedan beskrivs innehållet i de tre artiklar som slutfördes under 2020 och 2021 i populärvetenskapliga termer. Därefter beskrivs avhandlingssammanfattningen på samma sätt.

### ”Vi gör det här tillsammans” – Om samarbetet mellan tågtrafikledare och lokförare

Operativ tågtrafik utförs av lokförare och tågtrafikledare som fungerar som ett tätt sammankopplat team. Även om de är åtskilda i tid och rum, så är deras arbeten sammanflätade till en sådan grad att genomförandet av trafiken är beroende av framgångsrik samordning dem emellan. Tidigare forskning har mest fokuserat på en i taget av dessa två roller, vilket har varit en brist. Tågtrafikledaren och lokföraren kan sägas utgöra den *dyad* som är själva kärnan i den operativa tågtrafiken, och deras relation är därför av stort intresse för att skapa och upprätthålla ett säkert och effektivt trafiksystem. Med hjälp av observationer och intervjuer analyseras den unika dyaden, hur de ser på varandra och sitt samarbete. Resultaten visar på en laganda och förtroende inom ramarna för den begränsade relationen, och avslöjar samtidigt ett underliggande organisatoriskt avstånd som påverkar förutsättningarna att vara framgångsrika i samarbetet. Brist på insikter om varandras arbete och brist på förståelse om olika prioriteringar skapar utmaningar, precis som implementering av ny teknik och dess effekter på förmedling av information gör. Resultaten tolkas och diskuteras utifrån ett gemensamt sammanhang för att få ett helhetsperspektiv på den operativa tågtrafiken, och de grundläggande aktiviteter som finns i dess utförande. För mer utförligt innehåll, se Cort (2020).

### En nedriven kontaktledning – Hantering av en komplex händelse på distans

Operativ tågtrafikledning är i normala fall ett komplext och tidskritiskt arbete. När det inträffar störningar av den typ som en nedriven kontaktledning innebär ställs tågtrafikledaren och hans medarbetare inför större utmaningar än vanligt. I den här artikeln beskrivs en sådan händelse, vilka konsekvenser den får i form av stora störningar i infrastrukturen, samt hur den uppfattas och hanteras av tågtrafikledare och informatörer. Genom att skildra händelseförloppet i detalj beskrivs hur de olika rollerna i kontrollrummet lever sig in i situationen. Genom en situationsuppfattning i form av platsen

för händelsen och incidentens svårighetsgrad skaffar sig de båda operatörsrollerna en viktig insikt om sammanhanget, vilket gör att händelsen kan hanteras framgångsrikt. Genom introduktion av begreppet "sense of place", en slags "lokalsinne på distans", blev det möjligt att i analyserna nå en fördjupad förståelse för de stora logistiska utmaningar som kännetecknar arbetet. Artikeln avslutas med reflektioner kring nyttan med begreppet "lokalsinne på distans", samt med förslag på framtida forskningsfrågor. För mer utförligt innehåll, se Cort & Lindblom (2021a).

### **Tågtrafikledningens centrala roll i tågtrafikstyrningen – Två olika teoretiska perspektiv**

Här analyseras och beskrivs hur man använder teknik i sammanhang och miljöer som kännetecknas av att vara teknikintensiva. Ett exempel på en sådan miljö är tågtrafikledning. I den aktuella studien fokuseras på hur trafikledare och informatörer hanterar situationer som innebär störningar av trafikflödet. I synnerhet beskrivs hur operatörerna ser till att tågtrafiken fungerar, samt hur trafikledarnas och informatörernas verksamhet påverkas av andras aktörers beteende, oavsett om de är placerade i samma utrymme eller inte. En del av det empiriska arbetet är en detaljerad analys av den koordinerande praxis och teknikanvändning som äger rum i tågtrafikledningen. Två teorier om datorstött samarbete ställs mot varandra för att skärskåda hur väl de kan beskriva och förklara arbetets centrala aspekter: Distribuerad kognition (DCog) och Aktivitetsteori (AT) jämförs med avseende på de empiriska resultaten. Forskningen som beskrivs hade tre syften: 1) Att kartlägga och analysera i vilken utsträckning den pågående digitaliseringen påverkar teknikanvändningen, och om det finns några nya insikter från tågtrafikledningen som påverkar ämnesområdet, 2) Att diskutera den framtida användningen av DCog och AT i arbetsplatsstudier om kontrollrumsarbetets alltmer digitaliserade karaktär, och 3) Att stimulera framtida forskning om effekterna av digitalisering utifrån hur operatörerna bidrar med att upprätthålla trafikflödet och hur det kan forma tågtrafikledningens arbete ur ett helhetsperspektiv. För mer utförligt innehåll, se Cort & Lindblom (2021b).

### **Att få jobbet gjort – Människans betydelse i komplexa sociotekniska system**

Den forskning som presenteras i avhandlingen handlar om arbete i komplexa, sociotekniska miljöer och syftar till att bättre förstå människans roll för att få det dagliga arbetet att fungera. Intresset för att förstå sådant arbete är stort, och arbetspraktiker har studerats tidigare, med olika infallsvinklar och ansatser. Trots detta är det mycket vi ännu inte vet, och den tekniska utvecklingen i samhället bidrar till en konstant och pågående förändring, vilket påverkar arbetets utförande, så även hos tågtrafikens centrala aktörer. I tågtrafiken står säkerheten av naturliga skäl i centrum, och därför fokuserar arbetet i avhandlingen på just säkerhetskritiska miljöer. Arbetet består av svåra uppgifter som kräver samarbete mellan den yrkesskicklige operatören, verktyg och teknologier hen använder, och de kollegor som ingår i det sociotekniska systemet. Ofta utförs arbetet under tidspress.

Operativ tågtrafik har traditionellt sett studerats inom ett forskningsfält som, i brist på bra svenska begrepp, går under benämningen Human Factors. I miljöer där säkerheten är central har fokus huvudsakligen legat på att utreda olyckor och incidenter, samt att beräkna riskfaktorer för att i förlängningen kunna upprätthålla en hög säkerhet i verksamheten genom att förhindra allt som kan gå fel. Trots denna högst rimliga och relevanta ansats har denna fokus medfört ett flertal nackdelar. För det första är det ett faktum att olyckor och incidenter hör till ovanligheterna och att det dagliga arbetet allt som oftast fungerar bra och leder till önskade resultat. Det dagliga arbetet har trots detta undgått att studeras i detalj, och det återstår många frågor att besvara när det kommer till att förstå vad som kännetecknar arbetet när allt flyter som det är tänkt. För det andra har uppmärksamheten mot misstag resulterat i en syn på människan som riskfaktor, en felande systemkomponent.

För det tredje har fokus på incidenter och olyckor lett till en syn på det sociotekniska arbetssystemet som bestående av separata delsystem, där det gäller att identifiera vilken komponent som brustit. Detta förminskar den tätt sammanvävda relation som finns mellan människan och hennes sociala och

materiella miljö där det egentligen är omöjligt att helt och fullt separera dem och dess påverkan på varandra. För att hantera den ökande komplexiteten i dagens arbetsliv behövs en helhetssyn på sådana arbetspraktiker och på människans roll i i systemet. Det är här som avhandlingen tar sin utgångspunkt och ger ett bidrag till utvecklingen.

I avhandlingssammanfattningen beskrivs de teoretiska grunderna för de olika empiriska studierna. Vidare beskrivs mer utförligt den metodologiska ansats med kognitiva-etnografiska metoder som har använts. Samtliga artiklar bidrar till en ökad förståelse för arbetspraktiker i verkliga miljöer och illustrerar människans roll och relevans för att få det dagliga arbetet att fungera. Resultaten visar hur operatörerna använder förvärvade erfarenheter och kompetens på sätt som möjliggör användning av tillgängliga socio-materiella resurser, samtidigt som de bidrar till en konstant utveckling av dessa resurser för att bättre anpassa dem till verksamhetens krav. Resultaten visar också hur operatörerna gör förändringar av de dagliga arbetspraktikerna, och att dessa anpassningar är internt drivna av den mänskliga aktörens vilja och intentioner att omsätta sina kunskaper i praktiken. Detta skiljer sig från hur anpassningar vanligtvis framställs och skildras i litteraturen, där dessa ofta ses som ett resultat av ett passivt anpassande till externa krav från omgivningen.

Avhandlingens övergripande bidrag utgörs av resultat i form av exempel på arbetspraktiker som belyser operatören som en meningsskapande agent. Denne deltar inte bara i det socio-tekniska systemet utan bidrar aktivt till dess möjlighet att fungera. På så sätt agerar aktören som en drivkraft för systemet och för en process av kontinuerlig utveckling som på många sätt är nödvändig för att det socio-tekniska systemet ska bestå och fungera i en värld där oförutsägbara händelser är vanligt förekommande. Utifrån dessa insikter om operatörens roll i det sociotekniska systemet framhävs hen som oerhört central då denne kan hantera osäkerhet, oförutsägbara händelser och stor variation på ett sätt som dagens teknologier inte kan. Tågtrafikledaren, lokföraren och informatören bidrar med något kvalitativt annorlunda än tekniken och har således essentiella roller för att systemet ska kunna fungera. I förlängningen förväntas detta bidra till nya perspektiv på systemsäkerhet, samt ge insikter kring hur arbete bäst fördelas mellan människa och maskin. Detta är inte minst viktigt i en tid när den tredje generationens AI levererar maskininlärningstekniker med möjlighet att processa stora mängder data och analysera mönster i dessa data. Tolkningen av dessa analyser kommer dock även framledes att behöva guidning i form av verksamhetsspecifik kompetens. Behovet av människa-maskinsamverkan blir allt större, och människans roll i denna samverkan bör av säkerhetskritiska skäl inte underskattas. För mer utförligt innehåll, se Cort (2021). Övriga artiklar som igår i avhandlingen finns avrapporterade som resultat av DIALOG-projektet.

### **Tidskriftsartiklar**

Cort, R. & Lindblom, J. (2021). Sensing the breakdown: Managing complexity at the railway: *Culture and Organisation* (under granskning).

Cort, R. & Lindblom, J. (2021). At the Centre of Coordination for Train Traffic: Activity Theory and Distributed Cognition in times of digitalisation. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, accepterad, och inskickad efter en andra omskrivning.

### **Konferensartikel**

Cort, R. (2020). "We're Doing This Together": An in-Depth Analysis of the Teamwork between Train Traffic Controllers and Train Drivers. In: *Proceedings of Computer-Human Interaction Research and Applications (CHIRA)*. A. Holzinger, H. Plácido Silva, M. Helfert, & L. Constantine (Eds.). Volume 1: CHIRA, ISBN 978-989-758-480-0, pp. 96-103. DOI: 10.5220/0010058000960103

### **Avhandling**

Cort, R. (2021). Getting Work Done: The Significance of the Human in Complex Socio-Technical Systems. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 2088. 101 pp. Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis. ISBN 978-91-513-1330-6, se <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1604700/FULLTEXT02.pdf>

## Kapacitet, körbarhet och arbetsbelastning (KAKA)

Projektledare: Birgitta Thorslund, VTI  
Projektmedlemmar: Katja Kircher, Christer Ahlström och Tomas Rosberg VTI  
Kontaktperson beställare: Lisa Mannerhagen och Per Köhler, Trafikverket

Syftet är att öka kunskapen om sambandet mellan kapacitet, körbarhet och arbetsbelastning. Ett ”körbarhetsfilter” har implementerats vid projektering av hastighetsprofilen för ERTMS, vilket kommer ge ökad kunskap om vad föraren tycker är en acceptabel hastighetsprofil, hur ofta förändringar i hastighet får ske osv. En jämförelse kommer också att göras mellan ERTMS och ATC när det gäller arbetsbelastning och uppmärksamhetskrav.

Datansamling har genomförts under hösten 2021 med en transportabel tåg simulator från VTI på de orter i Sverige där erfarna ERTMS-förare finns (Sundsvall, Umeå, Luleå, Boden). Resultaten från studien kommer direkt till nytta för planering av hastighetsprofiler.

Ett 60 sekunders filter behövs för att få signifikanta skillnader i gångtid, även om skillnaderna är små (<1%). Så länge de restriktiva ETCS-bromskurvorna används är ett 30 sekunders filter för kort för att ge någon effekt. Hastighetsfiltrering har också en positiv effekt på arbetsbelastning, så att med en viss nivå av filtrering rapporterar förarna en högre prestation. Analysarbete och publicering fortsätter under våren 2022 då även en examensarbetare har engagerats.

### **Konferenspresentationer (utan proceedings)**

Rosberg, T., Kircher, K., Moertl, P., Prytz, E., Ahlström, C., Thorslund, B. Transportforum, Linköping, 2022.

## Människa och automation i framtida samverkan (HumanAuto)

Projektledare: Anders Arweström Jansson, Uppsala universitet  
Projektdeltagare: Rebecca Cort, Jessica Lindblom och Mikael Laaksoharju, Uppsala universitet  
Kontaktperson beställare: Gunnar Bengtsson / Jörgen Frohm, Trafikverket

### Projektinnehåll i korthet

Projektet syftar till ta tillvara de nyvunna insikterna om det mänskliga bidragets betydelse som central aktör i tågtrafiksystemet. Allt högre grader av automation kommer att åtföljas av nya krav på förmåga till anpassning hos de mänskliga aktörerna i systemet. Projektet syftar till att lägga grunden till premisserna för god samverkan mellan människa och automation.

### Viktigaste aktiviteten under året

Anders A Janssons medverkan i Transportstyrelsens säkerhetskonferens.

### Projektstatus

Projektet har nyligen startat, fortsätter 2022 – 2024, och kommer att vara ett projekt ämnat för Rebecca Corts PostDoc-studier.

### Projektets resultat och slutsatser i korthet

Projektet startade 2022-10-01, och än så länge finns inga resultat att rapportera. Som ett resultat av kontinuerlig bevakning av forskningsfrågorna inom området kommer ett examensarbete att presenteras 2022-01-24, se nedan. Anders A Jansson har deltagit i flera olika publika fora för att diskutera forskningsresultat från Uppsalas MTO-grupp.

### Presentationer

Anders Arweström Jansson medverkade i Transportstyrelsens Säkerhetskonferens 2021-12-16 i en paneldiskussion på temat ”*En inspirationsföreläsning – Behöver den mänskliga faktorn uppvärderas?*”

### Radioprogram

Anders Arweström Jansson medverkade i Sveriges Radio i Filosofiska rummet på temat *Behöver den mänskliga faktorn uppdateras?* 2021-04-18.

Anders Arweström Jansson medverkade i Sveriges Radio i Filosofiska rummet på temat *Humör och hunger styr våra beslut oftare än vi tror – Om Daniel Kahnemans bok Brus* 2021-10-17. I programmet diskuteras skillnader mellan bedömningar från människor och algoritmer.

### Examensarbete

Pappaterra, M. J. (2021). Blueprints for the application of AI in the Railway Industry. A Literature and Public Datasets Review. Thesis report from the Department of Information Technology to be examined 2022-01-24.

## Simulering, optimering och kapacitetseffekter – demonstratorer och implementation

## Indicator monitoring for a new railway paradigm in seamlessly integrated cross modal transport chains – Phase 2 (Impact-2, WP7)

Projektledare: Martin Joborn, RISE Research Institutes of Sweden  
Projektmedlemmar: Sara Gestrelus och Martin Kjellin, RISE Research Institutes of Sweden  
Kontaktperson beställare: Magnus Wahlborg, Trafikverket

Det övergripande målet med Shift2Rail-projektet Impact-2 är att studera samhällstrender, scenarier och kritiska framgångsfaktorer i ett utifrån och in-perspektiv på järnvägens roll i samhällsutvecklingen. I det arbetspaket där KAJT medverkar är målet att utveckla prototyper för tågplanering och tågstyrning. RISE bidrar till målet genom att vidareutveckla befintlig programvara (M2) till en forskningsplattform för tidtabellsplanering som ska kunna vara en bas för fortsatt KAJT-forskning inom taktisk kapacitetsplanering.

I jämförelse med tidigare versioner av M2 är den som utvecklats i projektet betydligt snabbare. Den är också mer användarvänlig, eftersom inställningar för optimering och modifiering av tidtabeller kan göras i ett grafiskt användargränssnitt. Programmets optimeringsmodell har kompletterats så att den hanterar kopplingar mellan tåg och bättre hanterar regler för tidsseparation mellan tåg, och funktionalitet för verifiering av att de tidtabeller som programmet producerar är giltiga (konfliktfria) har lagts till. Dessutom har M2 fått möjlighet att utbyta tidtabellsdata i standardformatet RailML med fristående planeringsmoduler.

Parterna i arbetspaketet har tillsammans producerat tre leverabler i form av rapporter. Till rapporterna har RISE bidragit med material om forskningsplattformen och om ett tänkt program för övervakning av aktuell status för personal, lok och vagnar i förhållande till gällande scheman och planer. Slutligen har RISE genomfört tester av att M2 kan användas för två use case som specificerats i projektet (optimering av en tidtabellsregion och tillägg av ett tåg till en tidtabell) och verifierat att de producerade tidtabellerna är konfliktfria.

Projektet är avslutat.

### **Shift2Rail och EU-rapporter**

Ormesher-Hussein, C., et al. (2020). Requirements Specification for Freight related Topics integrated in Integration Layer, Deliverable D7.1 from project Impact-2.

<https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=8d51de9b-0c98-440a-866e-3cee5330f44d>

Saeednia, M., et al. (2019). Use-Cases for advanced Freight operation, Deliverable D7.2 from project Impact-2. <https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=48cdc377-e4cd-485a-b32f-dea77f354a31>

Sánchez Pérez, J.A., et al. (2021). Requirements for Freight Operations, Deliverable D7.3 from project Impact-2. <https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=ff201a32-ab1c-444b-9192-82f80a80d08b>



## Simulering med Proton och RailSys (SIMPOR)

Projektledare: Hans Sipilä, KTH  
Projektdeltagare: Mohammad Al-Mousa, KTH  
Kontaktperson beställare: Pär Johansson, Trafikverket

Syftet med projektet är att undersöka hur och för vilka frågeställningar det makroskopiska simuleringsverktyget Proton (utvecklats av DB Analytics inom forskningsprojekten Plasa och Plasa-2) kan användas med hänsyn till svenska förhållanden samt att utveckla metodik kring användning av Proton i Sverige. Vidare studeras hur RailSys och Proton kan samverka, antingen att de kompletterar varandra eller att man ska kunna avgöra för- respektive nackdelarna med båda verktygen givet en viss frågeställning. Projektet inriktar sig huvudsakligen på att använda en ny version av Proton. En äldre version av Proton från 2019 finns installerad i Trafikverkets IT-miljö. Trafikverket avser att installera en nyare version av Proton, IT-lösningen för denna har utretts av Trafikverket under hösten och förhoppningen är att den nya versionen ska fungera i början av 2022. Den nya versionen ska användas till huvuddelen av arbetet inom projektet.

Det arbete som hittills gjorts inom projektet är framtagning av verktyg (skript) för att kunna importera tidtabeller för valda områden samt dagar från filer som exporterats från TrainPlan. Tidigare har tidtabellerna enbart kunnat tas via exporter från RailSys. Genom att importera TrainPlan-tidtabeller finns möjlighet att simulera längre perioder (flera dagar) samt att använda den faktiska produktionstidtabellen om så önskas och data finns för denna. Ihop med detta har även skript tagits fram för att, förutom tidtabellsdata, framställa övriga indatafiler som krävs av Proton för att kunna simulera med stokastiska och/eller systematiska störningar av olika typer. Både möjligheten att importera tidtabeller från TrainPlan och generering av störningsfiler samt annan data kommer att nyttjas i det fortsatta arbetet inom projektet under år 2022. Simuleringar med Proton har under 2021 gjorts i andra projekt.

Det fortsatta arbetet består av att ta fram verktyg eller anpassa de som redan finns för att generera indata till ny version av Proton. Eftersom Proton utvecklats mot att, förutom en makroskopisk infrastrukturbeskrivning, även kunna modellera framför allt spåren på stationer mer mikroskopiskt (realistiskt), behöver verktyg utvecklas för att kunna generera infrastrukturen på rätt format för Proton. De faktiska simuleringsfallstudierna som ingår i projektet har ännu inte specificerats, även detta arbete kommer att genomföras under 2022.

## Digitalization and Automation of Freight Rail (Fr8Rail II WP3)

Projektledare: Martin Joborn, RISE Research Institutes of Sweden  
Projektdeltagare: Johanna Törnquist Krasemann, BTH, Sai Prashanth Josyula, BTH, Anders Peterson, LiU, Christiane Schmidt, LiU, Carl-Henrik Häll, LiU, Markus Bohlin, KTH, Behzad Kordnejad, KTH, Jennifer Warg, KTH, Ingrid Johansson, KTH, Sara Gestrelus RISE, Zohreh Ranjbar, RISE, Martin Kjellin, RISE, Carl-William Palmquist, Daria Ivina, Lena Hiselius, Nils Olsson, LU, Tomas Lidén, VTI, Emil Berntsson, Trafikverket, Andreas Bååth, Trafikverket  
Kontaktperson: Magnus Wahlborg, Trafikverket

Projektets mål är dels att ta fram en demonstrator för förbättrade planeringsmetoder vid tidtabellskonstruktion, och dels att ta fram en specifikation för en demonstrator inom området real time network management.

Under året har en demonstrator för simulering med PROTON färdigställts, och även en demonstrator för förbättrad tidtabellskonstruktion. Demonstratorerna verifierades baserat på olika testfall, och demonstrerades också för Trafikverket i två workshoppar. Demonstratorn för tidtabellskonstruktion presenterades på Transportforum och KAJTs vårseminarium. Slutligen rapporterades resultatet av verifieringen och workshopparna i projektets sista leverans ”D3.4 Deliverable D3.4 Demonstrator on Improved Planning Verification of Demonstrators”.

Resultaten visar att de scenario som definierats i tidigare rapporter kan hanteras av demonstratorerna, och praktiker på Trafikverket anser att de funktioner som demonstrerats vore användbara. Ytterligare en slutsats är att railML standarden inte innehåller alla element och attribut som behövs för tidtabellsplanering på en makroskopisk nivå, och skulle således behöva utökas med dessa.

Projektet är avslutat.

### Tidskriftsartiklar

Prashanth Josyula, S., Törnquist Krasemann, J., Lundberg, L., “An Evaluation Framework and Algorithms for Train Rescheduling”, *Algorithms* 2020, No. 13, pp. 332;

<https://doi.org/10.3390/a13120332>

Palmqvist, C.W., Lind, A. & Ahlqvist, V. (2022) How and Why Freight Trains Deviate from the Timetable: Evidence from Sweden. *Submitted*.

### Shift2Rail och EU-rapporter

Peterson. A., et al. (2019), Analysis of the gap between daily timetable and operational traffic.

Deliverable D3.1. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1391876/FULLTEXT01.pdf>

Joborn. M., et al. (2020a), Demonstrator concept and first prototype for improved timetable planning. Milestone MS6 from project FR8RAIL II.

Joborn. M., et al. (2020b), Description of a decision support tool aimed at advanced Real Time Network Management and requirements for a demonstrator. Deliverable D3.2 from project FR8RAIL II. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-51010>

Kordnejad. B., et al. (2020), Requirements for a Decision Support Tool. Deliverable D3.3 from project FR8RAIL II.

Gestrelus, S., et al. (2021), Demonstrator on Improved Planning - Verification of Demonstrators. Deliverable D3.4 from Project FR8RAIL II.

### Konferenspresentationer (utan proceedings)

Joborn, M., Ranjbar, Z., Tidiga och sena godståg från MGB – orsak och verkan, KAJT Vårseminarium, 2020.

Joborn, M., Demonstrator för ”advanced real time network managment” – en vision, KAJT Höstseminarium, 2020.

Ivina, D., Palmqvist, C.-W., Olsson, O.E.N., Hiselius, L., The effect of maintenance activities on Swedish railways operational reliability. 48th Annual European Transport Conference, 2020.

Kjellin, M., Erlandson, W., Plattform för tidtabellsplanering med modul för modifieringar, Transportforum 2021.

Häll, C-H., Kjellin, M., Modifiering av tidtabeller med Timo och M2, KAJT Vårseminarium, 2021.

## Planering och styrning av godstrafik

## Smart, data-based assets and efficient rail freight operation (Fr8Rail III WP2)

Projektledare: Martin Joborn, RISE Research Institutes of Sweden  
Projektmedlemmar: Sara Gestrelus, Martin Kjellin, RISE; Behzad Kordnejad, Hans Sipilä, Mohammad Al-Mousa, Niloofar Minbashi, KTH; Anders Peterson, Carl-Henrik Häll, Christiane Schmidt, William Erlandson, LiU; Tomas Lidén, Abderrahman Ait Ali, VTI; Emma Solinen, Emma Dyrssén, Trafikverket  
Kontaktperson beställare: Magnus Wahlborg, Trafikverket

Projektets mål är dels att ta fram en demonstrator för förbättrade planeringsmetoder vid tidtabellskonstruktion och underhållsplanering, dels att ta fram en demonstrator för samordnad planering mellan linje och bangård, samt att utvidga kunskaper kring användning av simulering för tidtabellsanalys.

Under året har projektets första rapport framställts. Den innehåller en sammanställning av kunskap från tidigare projekt, analys av avgångsförseningar för Malmö Rangerbangård samt specifikation av de scenarier som ska demonstreras senare i projektet. Metodutvecklingsarbetet för demonstratorerna har resulterat i vetenskapliga presentationer och publikationer inom skattning av förseningar från Malmö rangerbangård, samhällsekonomisk värdering av underhåll, och tidtabellskonstruktion. Utöver detta har den första versionen av demonstratorn för samordnad planering av linje och bangård, kallad Yard Coordination System (YCS), implementerats och presenterats. Personer från trafikledning, Green Cargo och Mertz har under ett antal möten fått lära sig om YCS för att kunna delta i demonstrationen. Projektet har haft gemensamma möten med Yard CDM-projektet för att samordna de två projekten, och har regelbundna möten med personer från Trafikverkets driftledning, Green Cargo och Mertz.

Projektet fortsätter under 2022.

### **Shift2Rail och EU-rapporter**

Wahlborg, M., et al. (2021), Specification of Innovations and Scenarios for Enhanced and Integrated Line- and Yard Planning. Deliverable D2.1 from project FR8RAIL III.

### **Konferensartiklar**

Erlandson, W., Häll, C.H., Peterson, A. and C. Schmidt (2021). Meta-heuristic for inserting a robust train path in a non-cyclic timetable. In: RailBeijing 2021: 9th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis RailBeijing 2021, Beijing, China, November 3–7, 2021.

Gestrelus, S., Häll, C.H. and A. Peterson (2021). Capacity utilization, travel time, stability and heterogeneity — a linear programming analysis for railway timetabling. In: RailBeijing 2021: 9th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis RailBeijing 2021, Beijing, China, November 3–7, 2021.

### **Working paper**

Ait Ali, A., & Lidén, T. (2021). Minimal utilization rates for railway maintenance windows : a cost-benefit approach. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-17178>

### **Konferenspresentationer (utan proceedings)**

Minbashi, N., Machine learning in departure prediction of freight trains, INFORMS Annual Meeting, 2020.

Minbashi, N., Yard departure deviations in Swedish railways, KTH Railway Group Seminar, 2020.

Minbashi, N., Departure Status Prediction From Railyards Using Machine Learning Algorithms, ASME Joint Rail Conference (JRC2021).

Gestrelus, S., Olsson, E., Sharing data for yard operation - CDM och YCS, KAJT Vårseminarium, 2021.

Minbashi, N., Applying Machine Learning for Yard Departure Prediction, AI4RAILS workshop in the 31st European Conference on Operational Research, 2021.

Minbashi, N., Delay Analysis of Departing Trains from Shunting Yards: a Case Study, 8th International Symposium on Transport Network Reliability, 2021.

Ait Ali, A., Lidén, T., Towards Benefit-Cost Analysis of Railway Maintenance Windows, Society for Benefit-Cost Analysis: European Conference, 2021

Ait Ali, A., Lidén, T., Minimal utilisation rates of railway maintenance windows: a cost-benefit analysis approach, Swedish Transportation Research Conference, 2021.

Minbashi, N., Machine Learning Algorithms for Yard Departure Prediction, INFORMS Annual Meeting, 2021.

Minbashi, N., Yard Departure Prediction: Case Study from Malmö Yard, KAJT Höstseminarium, 2021.

Minbashi, N., “The Application of Machine Learning on Yard Departure Prediction”, Rising Stars Workshop, “Friedrich List“ Faculty of Transport and Traffic Sciences, 2021.

## Flexibilitet för ökad kapacitet på Malmbanan (Flexikap)

Projektledare: Martin Joborn, RISE Research Institutes of Sweden  
Projektdeltagare: Sara Gestrelus, RISE Research Institutes of Sweden  
Kontaktperson beställare: Fredrik Lundström, Trafikverket

Projektets syfte är att undersöka möjligheter och förutsättningar att utöka produktiviteten på Malmbanan och dess aktörer genom att tågavgångar kan göras på ett mer flexibelt och behovsanpassat sätt för dem som kan ha nytta av det – *utan* att störa trafiken för övriga aktörer på banan. Projektet sker i samverkan RISE-LKAB-Trafikverket, där både Trafikverket och LKAB är finansörer av förstudien.

Under 2021 har projektets startat. Behovet av flexibilitet i olika tidsperspektiv har konkretiserats i dialog med sakkunniga intressenter. Kvantitativa analyser har specificerats för att kunna utföras under 2022.

## Nyttjandegrad för anläggningar som bangårdar och terminaler (NYTTA)

Projektledare: Behzad Kordnejad, Kungliga Tekniska högskolan  
Projektmedlemmar: Mohammad Al-Mousa, Kungliga Tekniska högskolan  
Kontaktperson beställare: Ralf Grahn, Trafikverket

Detta projekt undersöker möjligheter att öka utnyttjandegraden av järnvägsserviceanläggningar som för närvarande inte är automatiskt övervakade, i synnerhet gällande godsbangårdar. Fokus för denna undersökning tittar på två delar, för det första, praxis och framväxande ny teknik som kan vara genomförbara i termer av kostnad och noggrannhet vid övervakning av bangårdars kapacitetsutnyttjande. För det andra, de möjliga förbättringar som kan åstadkommas genom kapacitetstilldelningsprocessen.

Under projektperioden har tvärvetenskaplig information om de olika aspekterna av järnvägsserviceanläggningar samlats in genom litteraturgenomgång, intervjuer, fältbesök och dataanalys.

Projektets framsteg lyftes bl.a. fram vid följande möten: Kick-off möte (19 maj), månadsvisa projektmöten (16 juni, 20 augusti, 17 september, 12 november, 15 december), VTI möte (7 september) samt Referensgruppmöte (1 oktober).

Projektet föreslår ett ramverk för hur man implementerar fullkostnadsbaserat debiteringssystem tillsammans med olika framväxande teknologier för övervakning. Det föreslagna ramverket gör det möjligt att öka utnyttjandegraden av serviceanläggningar och stöder infrastrukturförvaltaren i strategiska planeringsbeslut om vilka anläggningar som kan behöva ytterligare investeringar för att öka sin kapacitet utan att äventyra utnyttjandegraden, och vilka anläggningar som kan minskas i sin kapacitet för att för att minimera onödiga underhållskostnader.

Projektet är under avslut.



## PRediktion av AnkomstTider och Avgångar (PRATA)

Projektledare: Behzad Kordnejad, KTH  
Projektmedlemmar: Niloofar Minbashi (Doktorand), Markus Bohlin (Huvudhandledare), Behzad Kordnejad (Bihandledare), KTH  
Kontaktperson beställare: Magnus Wahlborg, Trafikverket

PRATA ämnar ta fram metoder för prediktion av avgångs- och ankomsttider för godstrafik baserad på stora datamängder med tillgängliga trafikdata, vilket inte har gjorts i tillräcklig utsträckning tidigare. I projektet ingår också att visa på potentialen för nyttogörande av dessa resultat. Syftet är dels att kunna göra en snabb och exakt prediktion av avgångs- och ankomsttider baserat på tillgängliga data i ett tidsperspektiv som sträcker sig från taktiskt till operativt, och dels att ta fram mer kunskap om förseningsfördelningar baserat på data från fler bangårdar.

Under 2021 färdigställde PRATA huvudsakligen hur Trafikverkets och Green Cargos nuvarande databaser kan användas för att implementera modeller för bangårdsprognoser. För det första använde PRATA LUPP-data från Trafikverket för en omfattande statistisk analys av avgångsavvikelser från två huvudgodsbangårdar i Sverige (Malmö och Hallsberg). Resultaten visade att statistiska tillvägagångssätt inte kan fånga avgångsavvikelser från bangårdar på grund av det långa spektrumet av avvikelser, den stora andelen tidiga avgångar från varvet samt den mänskliga verksamheten på bangården. Sedan använde PRATA data från Green Cargo för att undersöka tillämpningen av maskininlärningsalgoritmer inklusive beslutsträd och ”random forest” för att implementera en modell för förutsägelse av avgångar från godsbangårdar. Resultaten visade hög noggrannhet av avgångsförutsägelser med hjälp av beslutsträdbaserade algoritmer.

Projektet samverkar inom KTHs projektportfölj inom kapacitet på järnväg, där förutom FR8RAIL II WP3, FR8RAIL III WP2, också projekten FR8HUB WP3, Flexåter, PLASA och ARCC ingår.

Projektet fortsätter under 2022.

### Tidskriftsartiklar

Minbashi, N., Palmqvist, C. W., Bohlin, M., & Kordnejad, B. (2021). Statistical analysis of departure deviations from shunting yards: Case study from Swedish railways. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 18, 100248.

Minbashi, N., Bohlin, M., Palmqvist, C. W., & Kordnejad, B. (2021). The Application of Tree-Based Algorithms on Classifying Shunting Yard Departure Status. *Journal of Advanced Transportation*, 2021.

### Shift2Rail och EU-rapporter

Deliverable D2.1 from project FR8RAIL III, Specification of Innovations and Scenarios for Enhanced and Integrated Line- and Yard Planning

### Konferenspresentationer

Minbashi, N., Bohlin, M., Kordnejad, B., Palmqvist, CW., Departure Status Prediction from Railyards Using Machine Learning Algorithms, Joint Rail Conference (American Society of Mechanical Engineers), April 2021

Minbashi, N., Bohlin, M., Kordnejad, B., Delay Analysis of Departing Trains from Shunting Yards: a Case Study, INSTR 2021 (8th International Symposium on Transport Network Reliability, KTH), June 2021

Minbashi, N., Bohlin, M., Kordnejad, B., Palmqvist, CW., Applying Machine Learning for Yard Departure Prediction, AI4RAILS workshop in the 31st European Conference on Operational Research (University of West Attica, Athens, Greece), July 2021

Minbashi, N., Bohlin, M., Machine Learning Algorithms for Yard Departure Prediction, INFORMS 2021, October 2021

Minbashi, N., Yard Departure Prediction: Case Study from Malmö Yard, KAJT Höstseminarium 2021, November 2021

Minbashi, N., The Application of Machine Learning on Yard Departure Prediction, Rising Stars Symposium “Research Insights in Railway Operations, Railway Infrastructure and Mobility”, Dresden, Germany, November 2021

# Tågsimulering och ERTMS

Projektledare: Tomas Rosberg, VTI  
Projektledare: Birgitta Thorslund, VTI; Oskar Fröjd, KTH; Behzad Kordnejad, KTH.  
Kontaktperson beställare: Magnus Wahlborg, Trafikverket

Projektets syfte är att utföra forskning inom området tågsimulering och ERTMS. VTI är FoU- utförare och arbetet sker på uppdrag av och i samverkan med Trafikverket. Projektet är ett doktorandprojekt och doktoranden är Tomas Rosberg. Det finns ett behov av ökad kunskap om ERTMS, samt metoder kopplat till ERTMS utifrån simulering, projektering och teknikutveckling.

Resultat från den första studien om förarbete och ATC visar en signifikant lägre acceleration och retardation jämfört med simuleringsverktyget RailSys, vilket används för tidtabellsplanering. Detta resulterar i skillnader mellan uppmätt och simulerad gångtid.

Den andra studien på Ådalsbanan under 2019 resulterade i framtagandet av ett verktygsstöd (EPA – ERTMS Protocol Analyzer) för att effektivisera både användningen av ETCS-data och databearbetning. Detta ger nya möjligheter att lära av den trafik som pågått under ett decennium på våra ERTMS pilotbanor.

Två ytterligare datainsamlingar har gjorts under hösten 2020. Syftet var att vidare undersöka retardationsbeteende för ATC. Detta gjordes på pendeltåg i Stockholm och på Östgötapendeln.

Under 2020 presenterades en sammanställning av faktorer som påverkar körbeteende på ERTMS banor och metoder för att analysera dessa. Detta arbete togs vidare under 2021 med en omfattande tågsimulatorstudie hos operatörer med ERTMS trafik. Resultaten pekar på nödvändiga förbättringar i kapacitetsberäkningar vid införandet av E2.

En Licentiat-avhandling har presenterats under våren 2021.

## Avhandlingar och examensarbeten

Rosberg, T., (2021). Evaluation of Train Driving with Lineside ATP and ERTMS Signaling  
Licentiatavhandling <http://orcid.org/0000-0001-5586-3688>

## Tidskriftsartikel

Rosberg, T., Thorslund, B., (2020). Simulated and real train driving in a lineside Automatic Train Protection (ATP) system environment. *Journal of Rail Transport Planning & Management* 16.  
<https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2020.100205>

Rosberg, T., Cavalcanti, T., Thorslund, B., Prytz, E., & Moertl, P. (2021). Driveability analysis of the european rail transport management system (ERTMS) : A systematic literature review. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 18.  
<https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2021.100240>

## Konferenspresentation

Rosberg, T., Tågsimulering och ERTMS, Transportforum Linköping, 2020.

## Kapacitetsplanering av tåg och banarbeten

## Robusta tidtabeller med kombinerad simulering och optimering (FlexÅter 2)

Projektledare: Oskar Fröidh, KTH  
Projektmedlemmar: Doktorand Johan Högdahl, KTH, gästprofessor Markus Bohlin, KTH  
Kontaktperson beställare: Magnus Wahlborg, Trafikverket

### Beskrivning

Syftet med FlexÅter2 är att vidareutveckla metoden från FlexÅter med fokus på fortsatt modell- och metodutveckling samt att utveckla metodens generaliserbarhet och tillämpbarhet. I projektet ingår forskarutbildning av en doktorand.

### Aktiviteter

Projektet har:

Arbetat med fortsatt modell- och metodutveckling av den framtagna metoden.

Arbetat med fortsatt utvärdering av den framtagna metoden. Fokus på validering av förseningsmodell; utvärdering av metodens effekter med avseende på total onyttan i form av restid och förseningstid, total planerad restid, total genomsnittlig försening och punktlighet; utvärderat metodens skalbarhet på scenarier upp till ca 1400 tåg.

Sammanställt forskningsresultat i en artikel som skickats till en vetenskaplig tidskrift. Reviderad artikel skickades in i november 2021.

Presenterat forskningsresultat på KTH Järnvägsgruppens seminarium.

### Resultat

Metoden har utvärderats i en simuleringsstudie på Västra stambanan med RailSys. Utvärderingen har fokuserat på att validera förseningsmodellen; utvärdera metodens effekter med avseende på total onyttan (definierad som viktad summa av total restid och total försening), total planerad restid, total medelförsening och punktlighet samt hur dessa effekter beror på tidtabellens flexibilitet (dvs. hur mycket får den givna ursprungstidtabellen modifieras); och att utvärdera metodens skalbarhet. I utvärderingen jämfördes även den föreslagna metoden med några alternativa varianter.

I vår simuleringsstudie såg vi signifikanta förbättringar i trafikens punktlighet (+9 %-enheter) och signifikant mindre medelförseningar (-53%), till en kostnad av något längre restider (+7%). Sammantaget ledde detta till att den totala onyttan – dvs. summan av viktad restid och förseningstid – i snitt minskade med 5 %. I skalbarhetsexperimentet observerade vi för den största probleminstansen (med ca 1400 tåg) genomsnittliga lösningstider på 8–15 timmar, beroende på hur mycket den ursprungliga tidtabellen kunde modifieras, vilket indikerar att metoden är tillämpbar på stora probleminstanser.

### Status

Projektet fortsätter under 2022.

### Publikationer

Ännu inga publikationer.

## Decision support for railway crew planning (DSRCP)

Projektledare: Elina Rönnberg, LiU  
Projektdeltagare: Åsa Svensson, SJ, Christian Blome, IVU, Günther Raidl, TU Wien,  
Anders Petersson, LiU  
Kontaktperson beställare: Johan Holmgren, Director Crew Planning, SJ

Förstudie för att bedöma förutsättningarna för att utveckla nya optimeringsbaserade beslutsstödsverktyg för personalplanering hos SJ, med speciellt fokus på korttidsplanering. Samarbete mellan akademi (LiU, TU Wien), en systemleverantör (IVU) och en användare (SJ).

Samverkan och skapa förutsättningar för fortsatt arbete:

- Kartläggning av förutsättningarna för att använda beslutsstödsystem för korttidsplanering hos SJ samt en utvidgning av detta till att också omfatta personalplanering inom Trafikledningen.
- Planering för fortsatta forskningsprojekt i samverkan mellan LiU, SJ, IVU och TU Wien.

Förstudie med avseende på metodutveckling i form av ett masterarbete vid TU Wien: Maskininläring för att effektivisera en sökmetod för omplanering av personalscheman vid störningar. Schemalägningsproblemet är mycket förenklat jämfört med verklig schemaläggning av tågpersonal men relevant för att påbörja ett metodutvecklingsarbete.

Slutsatsen från förstudien är att förutsättningarna för att använda beslutsstödsystem inom denna typ av planering bedöms vara goda. Genomgången och analysen har dokumenterats i en internrapport hos SJ. Utöver detta identifierades ett behov av att omfokusera projektet till att också inkludera den omplanering av personal som trafikledningen hos en operatör ansvarar när störningar uppstår eller personal har frånvaro. Metoden som utvecklades gav goda resultat och är en lovande utgångspunkt för fortsatt arbete.

Förstudie avslutad, arbetar med ansökningar för fortsatt finansiering av fullskaligt forskningsprojekt.

### **Examensarbete**

Oberweger, F. F. (2021). A Learning Large Neighborhood Search for the Staff Rerostering Problem. Diploma thesis, TU Wien. <https://doi.org/10.34726/hss.2021.92421>

### **Teknisk rapport**

Oberweger, F. F., Raidl G. R., Rönnberg E., Huber M. A Learning Large Neighborhood Search for the Staff Rerostering Problem. Submitted manuscript, 2021.

## Reservkapacitet i tilldelningsprocessen – Huvudstudie (RITH)

Projektledare: Martin Aronsson, RISE Research Institutes of Sweden  
Projektdeltagare: Martin Kjellin, RISE Research Institutes of Sweden  
Kontaktperson beställare: Stefan Persson, Trafikverket

Projektet RITH, Reservkapacitet i tilldelningsprocessen – Huvudstudie, är ett FOI-projekt som pågår 2019-2022 och har som mål att klarlägga hur lagens krav på reservkapacitet och framtida krav på reservering av kapacitet skall hanteras i den svenska kapacitetstilldelningen på järnväg. I projektet även viktiga olösta frågeställningar i det av RNE/FTE framtagna förslaget till en förändrad internationell hantering av tåglägesprocessen, ”Timetabling and Capacity Redesign”, förkortat TTR, där en nyckelkomponent utgör förmågan att kunna reservera kapacitet för olika trafik- och tidssegment för att genom detta åstadkomma större flexibilitet i tåglägesprocessen.

En grundläggande problematik med reservkapacitet är att kapacitet avsätts för behov som vid den årliga kapacitetstilldelningen ännu inte är känt. Detta behov måste således prognosticeras på ett tillförlitligt och någorlunda säkert sätt. Av det skälet har projektet analyserat data från tidigare tågplaner från LUPP och Trainplan, men även tagit intryck av hur till exempel godskorridoren ScanMed RFC genomför sina kundundersökningar. Ett problem utgör analys av uttagna banarbetstider, där data idag saknas (systemet BAR är inte i drift ännu).

Projektet har under året arbetat med en andra underlagsrapport. Denna har dock inte färdigställts under 2021 då bedömningen varit att alltför många frågeställningar inte har kunnat besvarats tillfredställande ännu. Framför allt rör detta hur tillkommande ännu icke känd trafik skall kunna prognosticeras (om den är känd vid den årliga ansökan skall den ju sökas där). Projektet har undersökt olika maskininlärningsmetoder men inte funnit någon helt passande. Däremot finns synopsis för en tänkt process för skapande och användande av reservkapacitet. Denna process är dels diskuterad i RITHs Trafikverksinterna referensgrupp, dels diskuterad i den externa referensgruppen.

Projektet har hållit två referensgruppsmöten under hösten 2021 med gott resultat. Vi hade hoppats att kunna göra besök på plats hos medlemmarna i den externa referensgruppen men det har vi fått skjuta till 2022 på grund av pågående Covid-pandemi. Vi hoppas att det skall gå att genomföra (både vi och medlemmarna i den externa referensgruppen önskar detta). Projektet presenterades även på KAJTs vårseminarium samt vid ett antal mindre sammanhang t.ex. för TTR Sverige.

Under året har projektet deltagit aktivt som kompetensförstärkning i TTR Sveriges expertgrupp där Trafikverket hanterar den pågående utvecklingen av det internationella TTR-projektets pågående utveckling och vad den betyder för svensk kapacitetstilldelning på järnväg. Detta är en del av verksamheten i RITH-projektet och ingår i projektplanen. Under hösten har projektet dels medverkat i att presentera den svenska modellen med prioriteringskriterier för DB Netz (Tyskland) och FTE (Forum Train Europe, en av operatörernas europeiska intressegrupper), dels deltagit i workshops hållna av TTR Sverige för Trafikverkets linjeorganisation. Vidare har projektmedlemmarna i RITH tagit initiativ till en breddning av kontakterna mellan TTR Sverige och KAJT.

Projektet fortsätter under 2022.

## Kapacitet i nätverk 2 (KAIN 2)

Projektledare: Ingrid Johansson, KTH  
Kontaktperson beställare: Magnus Backman, Trafikverket

KAIN 2 vidareutvecklar den metodprototyp för tidtabellsberoende kapacitetsanalys av såväl stationer som linjer som togs fram i projektet KAIN (2017-2019). Förutom vidareutveckling och förbättring av metoden ska även en större kapacitetsanalys för det svenska järnvägsnätet utföras och visualiseras.

Projektet startade i september 2021 och en referensgrupp har rekryterats. Redan före formell projektstart har arbete utförts med metodförbättring samt kapacitetsanalys av stationer i Skåne för en tänkbar tidtabell år 2025, vilket utgjorde en bidragande artikel i Ingrid Johanssons doktorsavhandling. Medförfattare till artikeln är Norman Weik, DLR, Tyskland. Metodförbättringen består av möjligheten att tillåta tåg att byta ordningsföljd i tidtabellen vid tidtabellskomprimering av stationer om ett mer effektivt kapacitetsutnyttjande uppnås, genom att ”luckor” i tidtabellen fylls.

En reviderad version av artikeln från doktorsavhandlingen presenterades på konferensen RailBeijing i November 2021. Ett abstract har även accepterats till Transportforum 2022.

Samverkan sker främst med Trafikverket Kapacitetscenter som har visat stort intresse för projektet och väntas ha nytta av resultaten.

Projektet fortsätter under 2022.

### **Konferenspresentation**

Johansson, I., Weik, N., Strategic assessment of railway station capacity – Further development of a UIC 406-based approach considering timetable uncertainty. The 9<sup>th</sup> International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA), RailBeijing 2021, Beijing, China, 3-7<sup>th</sup> November 2021.



## Detaljeringsnivåer i tidtabellsplanering: mikro och makro (MIMA)

Projektledare: Sara Gestrelus, RISE Research Institutes of Sweden  
Projektmedlemmar: Martin Aronsson, RISE Research Institutes of Sweden, Magnus Backman och Emma Solinen, Trafikverket  
Kontaktperson: Magnus Backman, Trafikverket

Projektet MIMA syftade till att kartlägga styrkor och svagheter vad gäller tidtabellsplanering på mikro- och makro-nivå. Projektet har fokuserat särskilt på (1) hur detaljeringsgraden påverkar möjligheterna för framtida stödsystem med automatisk tidtabellsgenerering samt (2) vilken detaljeringsgrad som efterfrågas i olika delar av planeringsprocessen.

Under året har ytterligare information samlats in om de olika system och arbetsprocesser som finns på Trafikverket. Vidare har en begränsad litteraturstudie genomförts. Materialet från alla intervjuer, workshoppar och litteraturstudien har sammanställts och presenterats på KAJTs höstseminarium samt i en slutrapport.

Resultaten visar att det finns flera olika datamodeller inom Trafikverket och att dessa inte alltid är kompatibla med varandra. Det finns också behov på Trafikverket av att kunna planera på både mikro- och makronivå. Förenklat kan man säga att om planeringen ska gå snabbt och kunna hantera större ändringar krävs en makro-modell, men om t.ex. påverkan av små infrastrukturförändringar ska analyseras är en mikro-modell nödvändig. När det kommer till möjligheterna för framtida stödsystem med automatisk tidtabellsgenerering så är de flesta modeller som utvecklats makro-modeller. Det finns dock vetenskapliga publikationer som presenterar metoder för att iterativt anpassa en makro-lösning så att den blir kompatibel även med en mikro-modell, samt för hur man kan konstruera en makro-modell som ger lösningar som är kompatibla med en underliggande mikro-modell.

I och med införandet av det nya tidtabellsverktyget TPS, som är baserat på en mikro-modell, kommer Trafikverket lägga ner visst systemstöd för makro-modeller. Detta är på ett sätt olyckligt då det i vissa fall är lämpligare att planera på makro-nivå, vilket det i framtiden inte kommer finnas stöd för på Trafikverket. Samtidigt kan omtaget på tidtabellsplaneringsmodellen ses som en möjlighet för Trafikverket att skapa en flora av tidtabellsmodeller på olika detaljeringsnivåer där modellernas kompatibilitet (eller inkompatibilitet) är kontrollerad.

Projektet är avslutat.

### **Teknisk rapport**

Gestrelus, S. (2022). Slutrapport för Detaljering i tidtabellsplanering: mikro och makro (MIMA). RISE rapport 2022:10. *Rapporten kommer läggas upp i RISE DiVA arkiv.*

### **Konferenspresentation**

Gestrelus, S., Backman, M., Detaljeringsnivåer i tidtabellsplanering, KAJT Höstseminarium, online, 2021.

## Tjänsteutbud och transportkapacitetsförsörjning på järnväg (TOT)

Projektledare: Martin Aronsson, RISE Research Institutes of Sweden  
Kontaktperson beställare: Per-Åke Wärn, Trafikverket

Projektets huvudsakliga mål är att undersöka tillämpligheten av de s.k. prioriteringskategorierna för värdering av trafik i de tidigare skedena för utbudsframtagning och kapacitetsmodell i den av RNE och FTE pågående utvecklingen av TTR, Timetabling and Capacity Redesign.

Projektet startade under våren 2021 och hade sitt första styrgruppsmöte 2021-04-07. Projektet är representerat i TTR Sveriges expertgrupp både genom Trafikverkets kontaktperson samt genom projektledaren. Mycket av informationsinhämtning och diskussion har hittills skett genom TTR Sveriges expertgrupp. Projektet har under 2021 haft ganska låg intensitet men förväntas höjas under 2022 då mängden medel i projektet ökas avsevärt (i enlighet med Trafikverkets tilldelningsbeslut). Under hösten har ändå vissa framsteg gjorts vad gäller kopplingen mellan volymer av tåg (vilket är det som de tidigare stegen i TTR-metodiken har) och prioriteringskategorierna. Ett andra styrgruppsmöte har hållits 2021-11-19. En presentation / diskussion med delar av styrgruppen kring detta hölls 2021-09-02.

Under året har projektet levererat kompetensförstärkning till Trafikverket vid huvudsakligen tre tillfällen. Det första skedde i samband med ett möte som hölls med RNE rörande TTR-projektets användning av RISE (SICS) tidigare nytto-värdering av Successiv planering och kopplingen mellan den och TTR-projektets egen nyttovärdering. Efter detta möte har projektet författat ett utkast för RNEs räkning i vilket Successiv planering sätts i rätt sammanhang visavi TTR-projektet och dess business case. Detta utkast har av TTR incorporerats i TTRs Business case. Det andra tillfället var då projektet varit delaktigt i att presenterat den svenska modellen för Prioriteringskriterier för FTE. Det tredje tillfället var då en i stort sett lika presentation gjordes för DB Netz. Det har framgått att dessa tillfällen har varit uppskattade. Utöver detta har projektet bidragit till att kommentera slutrapporten för JÄRNA-projektet (Trafikverket) samt en avlämnat synpunkter på förslag till initiativ inom JBS.

Projektet fortsätter 2022 och 2023 med högre intensitet, helt enligt plan.

## Banarbetsprocess och datatillgång (BANDAT)

Projektledare: Lena Hiselius, Lunds Universitet  
Projektmedlemmar: Nils Olsson, Daria Ivina, Lund Universitet; Lars Brunsson, Trafikverket  
Kontaktperson beställare: Lars Brunsson, Trafikverket

Projektet syftar till att förstå banarbetsprocess och data som finns tillgängliga i varje steg i beslutsprocessen. Projektet fokuserar på beslut och information (aktuell och möjlig) rörande både planering och genomförande av banarbeten samt effekterna på tågtrafiken.

Under året analyserades förhållandet mellan förseningar och banarbeten vid olika förhållanden för 2017. Uppgifterna aggregerades i förhållandet till tågtyper (gods- och persontåg) och olika specifikationer för banarbeten. I denna studie använde vi en logistisk regressionsanalys baserad på mer än 225 000 planerade banarbeten och 25 600 000 tågrörelser under 2017. Resultaten visar att tåg som passerar spår på enkelspåriga segment hade i genomsnitt 44 % större sannolikhet att bli försenade än de som låt bli. Motsvarande värde för dubbelspåriga segment var 25 % och det vägda genomsnittet var en ökad risk med 31 %.

I år genomförde vi en intervjustudie som syftade till att analysera planering och genomförande av banarbeten ur entreprenörens perspektiv. Syftet med denna studie var att identifiera och klassificera osäkerheter och strategier som tillämpas för att hantera osäkerheter i entreprenörers vardagliga planering och schemaläggning av banarbeten. Vi genomförde semistrukturerade intervjuer med nio arbetsledare och planerare på entreprenadföretag för järnvägsunderhåll i Sverige. De viktigaste resultaten visade att entreprenörer hanterar två typer av osäkerheter i planering och genomförande av banarbeten: intern och extern. Vi kategoriserade osäkerheter och strategier för att hantera osäkerheter och beskrev dem på taktisk och operativ nivå. De flesta avslöjade osäkerheterna ledde till omläggning av banarbeten. Vidare föreslog vi att nuvarande strategier för att hantera osäkerheter som tillämpas hos entreprenadföretag kan förbättras genom att revidera organisatoriska designstrategier för underhållsprojekt.

I år avslutades studie som syftar till att utforska skillnader i kommunikation och samarbete i planering och genomförande av banarbeten under två kontraktstyper. En dokumentgenomgång och intervjuer med 22 projektledare identifierade problem i planering och schemaläggning relaterade till kunskapsöverföring hos entreprenörsföretag, bokning av tid för banarbeten och bristande förtroende mellan entreprenörer och beställare. Resultaten visade hur de två typerna av kontrakt uppfattas olika av avtalsparterna.

Projektet har koppling till ett antal KAJT-projekt, främst inom området Underhåll och trafik så som Tid för underhållsåtgärder i spåret. Data från projektet Mindre störningar i tågtrafiken (MIST2) är tänkt att användas inom projektet för att analysera punktlighet med anknytning till banarbeten för uppföljning och återkoppling. Projektet kopplas till Shift2Rail-projektet PLASA genom att input lämnas till Railsys-analyser.

Projektet fortsätter under 2022.

### Tidskriftsartikel

Ivina, D., Olsson, O.E.N., Hiselius W.L. (2022). Significance of the contractual relationship for the efficient railway maintenance project planning. *Procedia Computer Science*, V. 196, pp. 920-926, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.093>.

### Konferenspresentationer

Ivina, D., Olsson, O.E.N., Hiselius W.L. (2021). Significance of the contractual relationship for the efficient railway maintenance project planning. International Conference on Project Management, Portugal, Online.

Ivina, D., Palmqvist, C.-W. (2021). Use of reserved capacity for trackwork in Sweden. National transportation research conference 2021, Malmö, Online.

Ivina, D., Palmqvist, C.-W., Olsson, O.E.N., Hiselius, W.L. (2021). Train delays due to trackworks in Sweden. 48th 9th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA) RailBeijing21, Beijing, China, Online.

**Konferenspresentationer (utan proceedings)**

Ivina, D., Palmqvist, C.-W., Olsson, O.E.N., Hiselius, W.L. (2021). Train delays due to trackworks in Sweden. 48th 9th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA) RailBeijing21, Beijing, China, Online.

## Betydelsen av styva tidtabeller i anslutningstrafiken (BASTA)

Projektledare: Emanuel Broman, Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI)  
Projektmedlemmar: Anders Peterson, Linköpings universitet  
Kontaktperson beställare: Hans Dahlberg, Trafikverket

Projektet syftar till att kvantifiera den samhällsekonomiska effekten av (avsteg från) styva tidtabeller för regionalståg på anslutande kollektivtrafik. Syftet är att ge tidtabellskonstruktörer bättre underlag vid prioriteringar mellan å ena sidan regionalstågtrafikens önskemål om styva tidtabeller, å andra sidan övrig tågtrafiks efterfrågan på fler och bättre tåglägen.

Under hösten 2021 har arbetet påbörjats med en inledande intervjustudie med branschföreträdare. Diskussioner har förts med Trafikverket om hur arbetet ska utformas för att bäst kunna nyttiggöras. Riktlinjer har lagts upp för det fortsatta arbetet.

Projektet fortsätter under 2022.

## Samplanering av trafikpåverkande åtgärder och trafikflöden, modellstudie (SATT)

Projektledare: Tomas Lidén, Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI)  
Projektmedlemmar: Martin Aronsson och Eddie Olsson, RISE Research Institutes of Sweden, Chengxi Liu, VTI  
Kontaktperson beställare: Joel Sultan, Trafikverket

Syftet med projektet var att studera investerings- och underhållsplaneringen utifrån framkomlighet för trafiken. Projektets mål har varit att ta fram en metod (eller flera) som schemalägger trafikpåverkande åtgärder (TPÅer) över ett år så att trafikbortfall och projektgenomförande sammanvägs på ett optimalt sätt.

Funktionella krav och andra behov som en schemalägningsmodell bör uppfylla har inventerats och forskningslitteraturen har studerats vad gäller liknande modeller och passande lösningsmetoder. Projektet har studerat flera olika modelleringsansatser, vilka har implementerats som forskningsprototyper och utvärderats på små exempelproblem. Förutom det grundläggande schemalägningsproblemet har en enklare demonstrator utvecklats i programspråket Java, vilken beräknar en banarbetsplans trafikpåverkan på en given tågplan. Demonstratorn är levererad till Trafikverket och användbar under ordinarie linjearbete i TPÅ-processen.

Resultaten visar att en uppdelning av schemalägningsproblemet i en två-nivå-struktur (där den ena nivån schemalägger arbeten och den andra beräknar trafikanpassningarna) är lämplig. Optimeringsmodeller för de båda nivåerna har formulerats och de experimentella resultaten är mycket lovande, speciellt för den flödesmodell som beräknar trafikanpassningarna. Dessutom har projektet visat att tekniker för dynamisk trafik tilldelning, som används för stora bil- och kollektivtrafiknät, kan anpassas för tidtabellslös tågtrafik och att detta skulle kunna användas i multimodala trafikanalyser.

Projektet påbörjades våren 2020 och avslutades hösten 2021. Fortsättning av arbetet kommer att göras i projekten SATT-BP och SATT-TF.

### **Tekniska rapporter**

Lidén, T., Aronsson, M., Liu, C. (2021). Samplanering av trafikpåverkande åtgärder och trafikflöden, modellstudie: Delrapport 1 – Krav- och behovsinventering. VTI resultat 2021:7. <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1618719/FULLTEXT01.pdf>

Aronsson, M., Olsson, E. (2021). TDA – Train Disturbance Assessor. RISE rapport/PM.

Lidén, T., Aronsson, M. (2021). An optimization model for renewal scheduling and traffic flow routing. arXiv: 2111.13121, <https://arxiv.org/abs/2111.13121>

Aronsson, M., Lidén, T. (2021). A model for calculating volumes of trains as flows given demand and capacity restriction. arXiv: 2112.09507, URL: <https://arxiv.org/abs/2112.09507>

Liu, C., Lidén, T. (2021). Dynamic traffic assignment for railway: the 4th report in the project Joint planning of temporary capacity restrictions and railway traffic flow, a model study. VTI resultat 2021:5. <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1612544/FULLTEXT01.pdf>

### **Konferenspresentationer**

Lidén, T., Aronsson, M., Modelling approaches for handling traffic impact in railway renewal project planning. Swedish transportation research conference, Malmö, 2021.

Sultan, J., Lidén, T., Aronsson, M., Samplanering av trafikpåverkande åtgärder och trafikflöden. KAJT Höstseminarium, 2021.

Aronsson, M., Lidén, T., Samplanering av trafikpåverkanden åtgärder och tågglägen, SATT. Transportforum 2022.

## Punktlighet

## Nyckeltal för punktlighet på järnväg - del 2 (Nypunkt2.0)

Projektledare: Ida Kristoffersson, VTI Statens väg- och transportforskningsinstitut  
Projektmedlemmar: Carl-William Palmqvist, LTH Lunds Tekniska Högskola  
Kontaktperson beställare: Magnus Wahlborg, Trafikverket

Projektet syftar till att öka kunskapen om hur punktlighet för pendeltåg i storstad bäst kan följas upp och vilka indikatorer som kan förbättra uppföljningen.

Under året har ramverket för punktlighetsindikatorer på olika nivåer utvecklats vidare i samråd med projektets referensgrupp. Indikatorerna delas i ramverket in i släpande och ledande indikatorer. Släpande indikatorer mäts i efterhand som uppföljning av hur väl punktligheten nåtts medan ledande indikatorer mäts före eller under tågresaens gång för att styra mot hög punktlighet. Två nya typer av ledande indikatorer har utvecklats inom projektet – *andel försenade gångtider* och *andel försenade uppehållstider*. Dessa två nya indikatorer har sedan testats på ett stort data-set med 317 miljoner pendeltågrörelser från de tre storstadsregionerna Stockholm, Göteborg och Malmö under åren 2001–2020.

Resultaten av testerna med de två nya ledande indikatorerna visar följande: 1) att det finns ett tydligt samband mellan andelen försenade gång- och uppehållstider och pendeltågens punktlighet vid destinationen, 2) att det är vanligare med försenade uppehållstider än gångtider, 3) att punktligheten är känsligare för en ökning av andelen försenade gångtider jämfört med uppehållstider, 4) att det finns stora skillnader mellan de tre storstadsregionerna, 5) att både andelen försenade gång- och uppehållstider minskade under åren 2001-2012 och sedan låg på en plåt under åren 2013-2019 för att minska ytterligare under 2020, 6) att under pandemi-året 2020 var det framför allt andelen försenade uppehållstider som minskade vilket tyder på att antal resenärer påverkar huruvida man klarar uppehållstiderna, samt 7) att tröskelvärdena för att klara 95% punktlighet vid destinationen är maximalt 3% försenade gångtider och maximalt 25% försenade uppehållstider. Projektet har genomförts i nära samarbete med en referensgrupp som samlats sju gånger under projektiden. I referensgruppen ingick representanter från TTT, Trafikverket, Öresundståg, Västtrafik, Region Stockholm och MTR Pendeltågen.

Projektet avslutades under 2021.

### Tidskriftsartikel

Palmqvist, C.-W., Kristoffersson, I. A methodology for monitoring rail punctuality improvements. Manuscript under review.

### Populärvetenskaplig sammanfattning

Kristoffersson, I., Palmqvist, C.-W. (2021). Nyckeltal för punktlighet på järnväg – del 2 (Nypunkt 2.0). Populärvetenskaplig sammanfattning. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1629742/FULLTEXT01.pdf>



**Konferenspresentation**

Kristoffersson, I., Improving commuter train punctuality using lead indicators. 24th EURO Working Group on Transportation Meeting (EWGT), Aveiro, Portugal (online presentation), 2021.

Palmqvist, C.-W., Planering med nya mått och indikatorer. Trafikuskottet, Stockholm (online presentation), 2021.

Kristoffersson, I., Nya metoder för att styra mot en högre punktlighet – Demonstration på pendeltågsdata från våra storstadsregioner. Accepterad för presentation vid Transportforum, Linköping, 2022.

## Mindre Störningar i Tågtrafiken, del 2 (MIST2)

Projektledare: Lena Hiselius, Lunds universitet  
Projektmedlemmar: Carl-William Palmqvist, Kah Yong Tiong, Ruben Kuipers, Nils Olsson, Lunds universitet.  
Kontaktperson/beställare: Kenneth Håkansson resp. Hans Dahlberg, Trafikverket.

Projektet syftar till att: (a) förbättra kunskapen om störningar i tågtrafiken med fokus på uppehållsförsejningar och interaktioner mellan tåg, (b) förbättra metoderna för simulering av tågtrafiken med fokus på validering och kalibrering av modeller mot verkligheten och (c) utvärdera effekterna av nya konstruktionsregler och -processer. På sikt ska detta bidra till färre störningar i tågtrafiken, och till högre punktlighet.

Under 2021 har spridningen av störningar i trafiken studerats med flera metoder: simulering i RailSys och Proton, statistiska analyser, med epidemiska modeller, samt med hjälp av maskininlärning. Upphållsförsejningar har haft särskilt fokus, både avseende interaktioner mellan tåg och resenärer. Ett arbete har också gjorts för att följa upp de nya konstruktionsreglerna, samt med omfattande litteraturoversikter.

Resultaten visar att interaktioner mellan tåg har en stor påverkan på försejningar: risken att försejnas på ett uppehåll mer än dubblas för tåg med möten eller förbigångar. Dessa interaktioner är dock relativt ovanliga, och förklarar därför bara omkring 4% av alla uppehållsförsejningar. Arbetet går vidare med att titta på effekter av headway- och omloppsrelaterade interaktioner, inte minst vad gäller avgångsförsejningar. Vad gäller de nya konstruktionsreglerna visar vår utvärdering att punktligheten för påverkade snabbtåg har ökat på ett statistiskt signifikant sätt, utan negativ påverkan på pendeltågen.

Projektet avslutas under 2022.

### Avhandlingar och examensarbeten

Palmqvist, C.W. (2019). Delays and Timetabling for Passenger Trains. Lund: Lund University Faculty of Engineering. ISBN 9789178953103. Doktorsavhandling <https://lup.lub.lu.se/search/publication/47b7c636-06a1-4e0e-a701-64375bb4055e>

Landelius & Wallgren (2021) Network analysis of delay propagation on Swedish railways. Examensarbete. Lund: Lunds tekniska högskola. <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9058326>

### Tidskriftsartiklar

Johansson, I., Palmqvist, C.W., Sipilä, H., Warg, J. & Bohlin, M. (2022) Microscopic and macroscopic simulation of early freight train departures. Journal of Rail Transport Planning and Management. In press.

Kuipers, R.A., Palmqvist, C.W., Olsson, N.O.E. & Winslott Hiselius, L. (2021) The passenger's influence on dwell times at station platforms: a literature review, Transport Reviews, DOI: 10.1080/01441647.2021.1887960.

### Konferensartiklar

Palmqvist, C.W., Tomii, N. (2019) Overtakes and dwell time delays for Japanese commuter trains, World Conference on Transport Research - WCTR2019 in Mumbai, India.

Palmqvist, C.W., Tomii, N., Ochiai, Y. (2019) Dwell Time Delays for Commuter Trains in Stockholm and Tokyo, 8th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA) – RailNorrköping in Norrköping, Sweden.

Kah Yong, T., Palmqvist, C.W., Olsson, N.O.E., Winslott Hiselius, L. (2021) Train Passes and Dwell Time Delays. 9th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA) – RailBeijing in Beijing, China.

Kuipers, R., Palmqvist, C.W., Olsson, N.O.E., Winslott Hiselius, L. (2021) Passenger flows and dwell times for commuter trains in Stockholm. 9th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA) – RailBeijing in Beijing, China.

## Förseningarnas påverkan på efterfrågan av tågresor – en tidserieanalys (DeDe Delay → Demand)

Projektledare: Per Näsman, KTH  
Projektdeltagare: Bo-Lennart Nelldal, Josef Andersson, Han-Suck Song, KTH  
Kontaktperson beställare: Soli Liu-Viking, Trafikverket

Projektet syftar till att svara på frågan hur mycket efterfrågan på tågresor påverkas av förseningarna och därmed hur det påverkar intäkterna för operatörerna och de samhällsekonomiska kostnaderna för resenärerna och samhället.

På kort sikt ska projektet förbättra kunskapen om hur förseningarna påverkar efterfrågan av tågresor. Det kan också bidra till prioritering av åtgärder vid hantering av störningar. På lång sikt kan förseningarnas bidrag till efterfrågan implementeras i prognosmodeller, så att man kan få fram hur de påverkar efterfrågan i förhållande till t.ex. restid turtäthet och pris.

En databas har byggts upp som består av statistik för ca 60 tåglinjer eller aggregat av linjer i Sverige. Databasen omfattar olika mått på förseningar (t.ex. andel försenade tåg RT+5, medelförsening för försenade tåg samt andel inställda tåg) 2001-2020, utbud (turtäthet, restider och priser) 1990-2020, efterfrågan (personkilometer eller antal resor) samt socioekonomiska variabler som befolkningsutveckling, bilinnehav och privat konsumtion (1990-2020). Databasen har utvidgats och kvalitetssäkrats och tidsserieanalyser har genomförts successivt. 2020 har dock inte används i tidsserieanalysen eftersom efterfrågan var onormal p.g.a. coronapandemin.

Det mått som har gett bäst resultat är medelförsening för tåg som är mer än 5 minuter försenade (RT+5). Med hjälp av tidsserieanalys har en elasticitet beräknas mellan medelförsening RT+5 och antalet personkilometer med fjärrtrafik. Elasticiteten blev -0,6 vilket innebär att om medelförseningen ökar med 10% så minskar efterfrågan i personkilometer med 6%. Det innebär t.ex. om ett snabbtåg i medeltal är 20 minuter försenat för RT+5 (typiskt värde för snabbtåg) och medelförseningen ökar till 24 minuter eller med 20% så kommer efterfrågan att minska med  $0,6 \cdot 20 = 12\%$ . Detta stämmer också väl med de observationer vi har. Databasen har utvidgats och kvalitetssäkrats successivt.

Projektet har stämts av kontinuerligt med en referensgrupp och en styrgrupp. Särskilda arbetsmöten om tidsserieanalys har hållits med experter inom Trafikverket. Kontakt har också etablerats med andra forskare och organisationer som har genomfört näraliggande analyser.

Sammanställning av rapport pågår som beräknas vara klar i mars 2022. Projektet kommer att redovisas vid Transportforum 2022 som nu är uppskjutet till juni månad.

## Störningars påverkan och samband med punktligheten (Ståndpunkt)

Projektledare: Martin Joborn, RISE Research Institutes of Sweden  
Projektdeltagare: Zohreh Ranjbar, RISE Research Institutes of Sweden  
Kontaktperson beställare: Soli Liu-Viking, Trafikverket

Projektet syftar till att utveckla mätetalen *förseningsbidrag*, *kritiska händelser* och *spridningstal* för störningar i järnvägstrafiken för att öka kunskap om vad som orsakar opunktlighet och spridning av störningar, trafikens återställningsförmåga och kritiska platser.

De nya mätetalen har provats i stor skala för alla Sveriges tåg under 2019 och 2020. Verktyg har byggts upp för att visualisera punktlighetsproblematik och spridning av förseningar. Mätetalen har anpassats för att kunna mäta punktligheten i varje station vilket är relevant för pendeltågstrafik.

Resultaten visar att de föreslagna mätetalen på ett högst relevant sätt kompletterar de traditionellt använda sätten att analysera störningar och punktlighetsproblematik. Specifikt visar resultaten även på de små störningarnas betydelse för punktligheten. Beräkningar har god potential att standardiseras och automatiseras. Mätetal har generaliserats för godståg och kan belysa vad som händer tåg som är före tidtabellen. En fallstudie indikerar att tidiga godståg (på enkelspår) inte har negativ punktlighetspåverkan på andra tåg.

Järnvägsbranschen har visat stort intresse för resultat som framkommit i projektet. Projektet har samverkat nära med TTT och har medverkat vid möten, arbetsmöten och delgivit resultat, både med TTT, SJ, MTR och SLL. Projektet har också direkt bidragit till TTT:s analyser och fortsatt samverkan är planerad.

Projektet är avslutat. Fortsatt arbete kommer att bedrivas inom projektet *Kritiska störningar och punktlighet – Tidpunkt*.

### Rapporter

Joborn, M., Ranjbar, Z. (2021). Orsaker till opunktlighet: kritiska störningar och småförseningar, RISE Rapport 2021:74, <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-56766>

Joborn, M., Ranjbar, Z. (2021). Effektsamband mellan störningar och punktlighet för resandetåg. RISE rapport 2021:125, <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-58589>

Joborn, M., Ranjbar, Z. (2021). Effekter av tidiga och sena godståg, RISE Rapport 2021:112, <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-58588>

Joborn, M., Ranjbar, Z. (2021). Understanding causes of unpunctual trains: Delay contribution and critical disturbances. Proceedings of 9th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA), RailBeijing 2021, Beijing, China, 3-7th November 2021. Submitted to Journal of Rail Transport Planning and Management.

## ERTMS

## Testplattform med simulatorer för effektiv och trafiksäker driftsättning av ERTMS (TESTER)

Projektledare: Niklas Olsson, VTI  
Projektmedlemmar: Krister Gällman, Mats Lidström, Birgitta Thorslund och Björn Lidestam, VTI. Jonny Eriksson, SJ, Mikael Koivisto, Green Cargo, Erik Rosenqvist, VY.  
Kontaktperson beställare: Helena Tilander, Trafikverket

Projektet syftar till en ökad kunskap om hur praktisk utbildning i simulatormiljö kan utformas tekniskt och pedagogiskt för att skapa förutsättningar för en effektiv och trafiksäker driftsättning av ERTMS. Projektet är ett doktorandprojekt och doktoranden är Niklas Olsson.

Under året har en jämförande effektstudie mellan tågförare som genomfört praktik i simulatormiljö och förare som genomfört praktik i verklighet slutförts. En enkätstudie som syftar till att studera hur förarsimulatorer kan användas för att öka tågklararens förståelse för förarmiljön har också slutförts.

De övergripande resultaten från studierna visar framförallt att ERTMS-praktik i simulatormiljö ger mer effektiva och trafiksäkra förare än praktik i verklighet. Resultatet beror främst på simulatorns möjlighet till upprepade repetitionstillfällen vilket korrelerar starkt med prestation. En slutsats är att simulatorer med fördel kan användas som träningsredskap vid ERTMS-praktik och då bör innehålla ett stort antal repetitionstillfällen i en så autentisk miljö som möjligt.

Projektet har genomförts i nära samarbete med branschen där Green Cargo, VY, SJ och Trafikverket varit direkt medverkande i projektet.

Resultaten, som presenterats för branschen under ett TUFFA-möte December 2021, har potential att påverka ERTMS-utbildningen i en riktning som ger mer effektiva och trafiksäkra tågförare.

Projektet avslutas under inledningen av 2022 i samband med publicering av slutrapport.

### **Konferenspresentation**

Olsson, N. Testplattform med simulatorer för effektiv och trafiksäker driftsättning av ERTMS. KAJT Höstseminarium, Stockholm, 2020

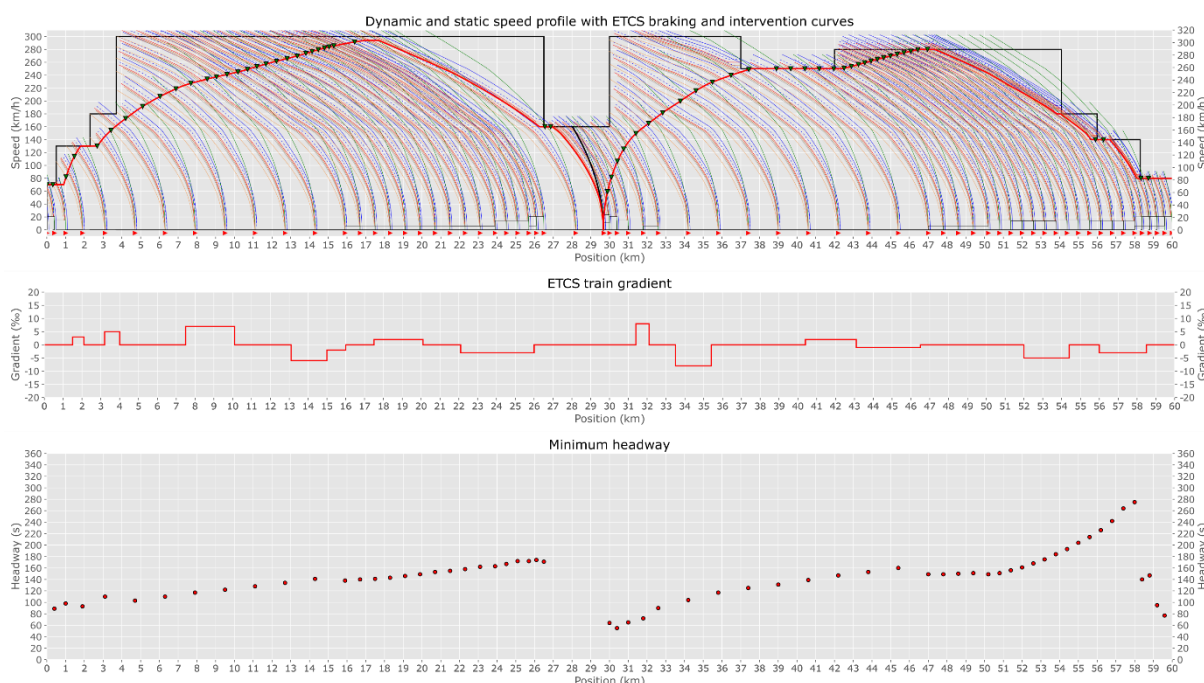
## Headway och signalpunktplaceringar i ETCS (HESE)

Projektledare: Hans Sipilä, KTH  
Kontaktperson beställare: Per Köhler, Trafikverket

Projektet syftar till att utveckla ett verktyg (modell) som ska kunna användas som stöd för att göra kapacitetsbedömningar i form av headwayberäkningar för ETCS L2 (nivå 2). Verktöget är tänkt att på ett så exakt sätt som möjligt enligt ETCS-specifikationer (Baseline 3.6.0) modellera bromskurvor och signalteknisk headway längs en bansträcka. Signalteknisk headway är den minsta tid som kan finnas mellan två på varandra följande tåg vid signalpunkterna. Tiden beror på en kombination av signalsystemsparametrar, lutningar, banhastigheter och fordonsp parametrar.

Idén med verktöget är att parametrar relativt enkelt ska kunna varieras och framför allt att påverkan av signalpunkternas placeringar och täthet ska kunna undersökas systematiskt och för ett större utfallsrum. Detta kan även åstadkommas i verktyg som RailSys men är tidskrävande och kräver en relativt omfattande och tidskrävande manuell hantering beroende på hur många faktorer som ska varieras. Huvudsyftet med verktöget är alltså att relativt enkelt kunna studera hur signalpunkternas placering påverkar minsta headway, exempelvis med tätare eller glesare placering av signalpunkter. Verktöget kan även användas enbart för att göra körtidsberäkningar.

Verktöget kan använda tågtyper med respektive parametrar från RailSys. Ban- och signaldata ges i Excel-format. För att verifiera verktöget har jämförelser gjorts med *ERA Braking curve simulation tool* och dessa visar på god överensstämmelse. Headway har jämförts mot RailSys, även här är överensstämmelsen över lag bra men jämförelserna är inte fullständiga eftersom RailSys använder en annan (tidigare) ETCS baseline än verktöget. Två huvudfall kan hanteras, dels fall där ett tåg följer ett annat längs med en bana, dels fall där en förbigång görs (Figur 1). Beräkningarna av ETCS broms- och ingripandekurvor samt tågens hastigheter görs i Python-skript. Projektet slutförs och redovisas i rapport under första kvartalet 2022.



Figur 1: Exempel med minimum headway vid en förbigångssituation, dvs. framförvarande tåg kör in på avvikande spår och stannar för att släppa förbi bakomvarande tåg.



