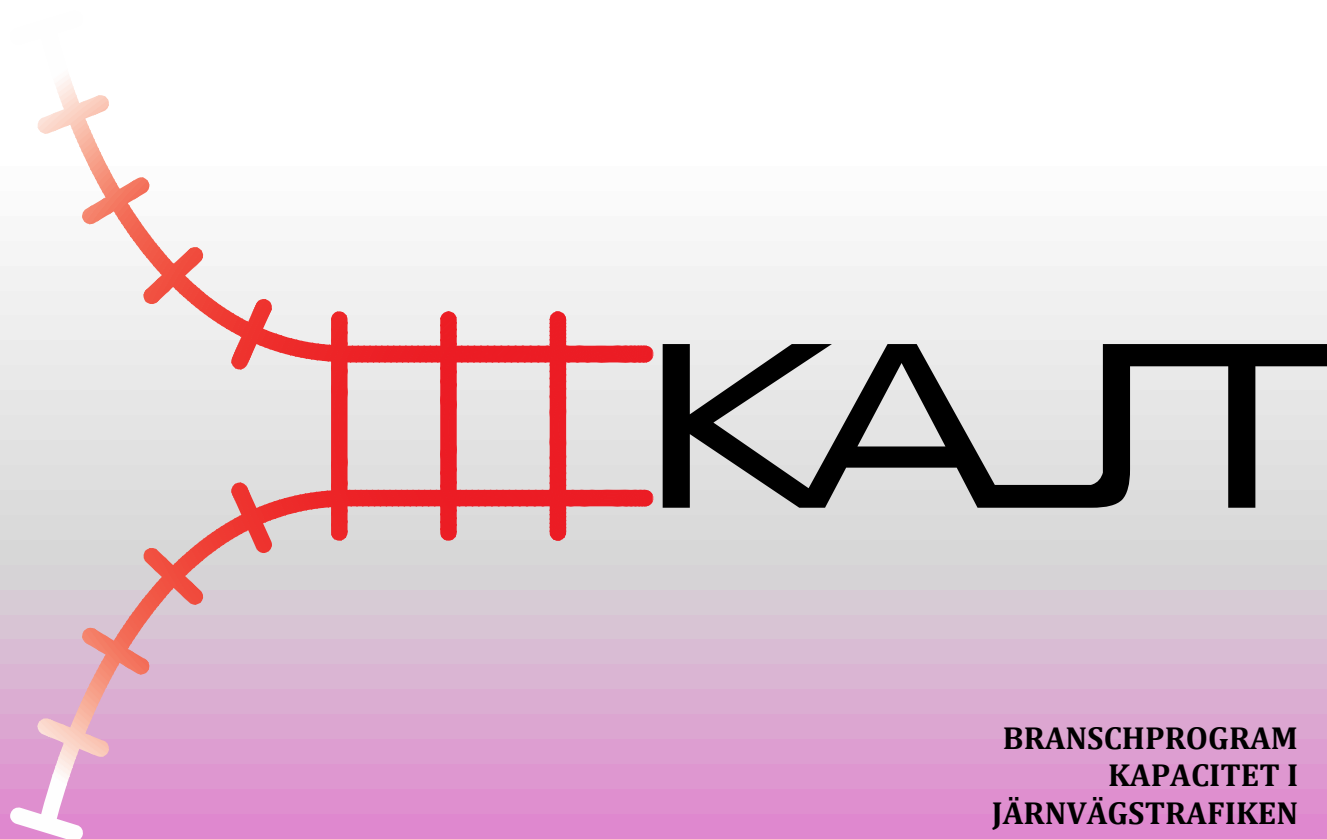


# PROJEKTKATALOG

2023-03-31



BRANSCHPROGRAM  
KAPACITET I  
JÄRNVÄGSTRAFIKEN

# Innehåll

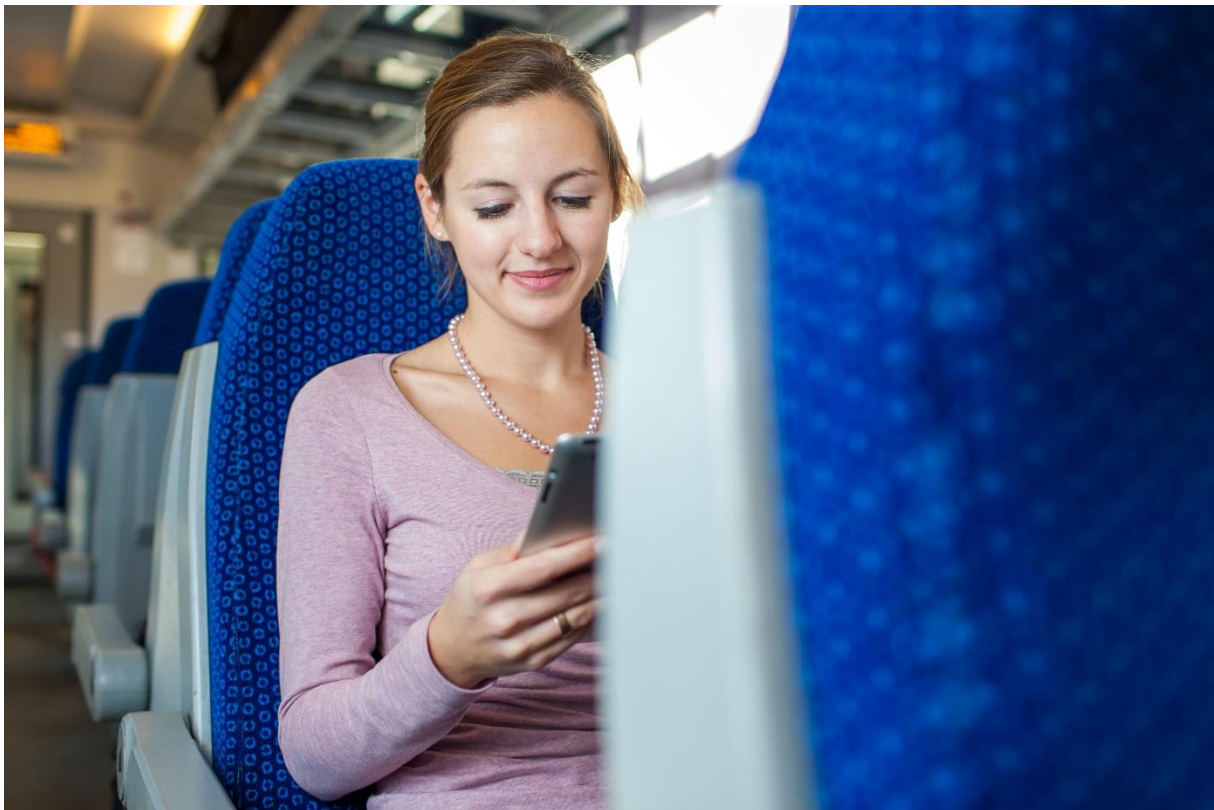
<b>Om KAJT .....</b>	<b>4</b>
<i>Vision och Programförklaring .....</i>	4
<i>Kontakter.....</i>	5
<i>Forskningsprogram.....</i>	5
<i>Strategisk kapacitetsplanering .....</i>	7
<i>Taktisk kapacitetsplanering.....</i>	8
<i>Operativ kapacitetsplanering .....</i>	8
<i>Framtidens transportsystem och trafikefterfrågan .....</i>	9
<i>Järnvägens sidosystem och koppling till järnvägsnätet .....</i>	9
<i>Planering av transportnätverk, fordon och personal .....</i>	9
<i>Underhåll och trafik.....</i>	9
<i>Människan, digitalisering och automation.....</i>	10
<i>Trafikinformation och störningshantering .....</i>	11
<i>Signal- och trafikstyrningssystem.....</i>	11
<i>Uppföljning och återkoppling .....</i>	11
<i>Internationell samverkan, Shift2Rail och Europe's Rail.....</i>	11
<i>KAJT-relaterade projekt .....</i>	12
<b>Excellensområden .....</b>	<b>13</b>
<i>Excellensområde 7 Trafikplanering och trafikstyrning (EO7).....</i>	13
<i>Excellensområde 9 Kapacitet och punktlighet (EO9) .....</i>	16
<b>Uppföljning och implementering av resultat .....</b>	<b>19</b>
<b>Projektöversikt.....</b>	<b>20</b>
<b>PÅGÅENDE PROJEKT .....</b>	<b>23</b>
<i>Arbeta med kvalitetsmått (ARKA) .....</i>	24
<i>Automatiserad analys &amp; klassificering av förseningsorsaker i järnvägssystemet (ANAKIN).....</i>	26
<i>Banarbetsprocess och datatillgång, del 2 (BANDAT2).....</i>	28
<i>Betydelsen av styva tidtabeller för anslutningstrafik (BASTA) .....</i>	30
<i>Capacity Modeling and Shift Optimization for Train Dispatchers (CAPMO-Train) .....</i>	32
<i>Framtida KAJT-Foi kopplat till C-DAS och Digital graf (C-DAS Foi) .....</i>	34
<i>Kapacitet i nätverk 2 (KAIN 2).....</i>	35
<i>KKA-matrisen som stöd vid händelseutredningar och beslutande om åtgärder inom operativ tågtrafikledning (KKA-matrisen).....</i>	37
<i>Kritiska störningar och punktlighet (Tidpunkt).....</i>	38
<i>Maskinlärningsbaserat beslutstöd för tågtrafikledning vid störningar: En experimentell studie (MATRIX) ..</i>	39
<i>Mindre Störningar i Tågtrafiken – Plattformsåtgärder (MiST Plattform) .....</i>	41
<i>Människa-automation i framtida samverkan (HumanAuto).....</i>	43

<i>Mötesanalys och kanalkänslighet för godståg (MAKK)</i> .....	45
<i>PRediktion av AnkomstTider och Avgångar (PRATA)</i> .....	47
<i>Robusta tidtabeller med kombinerad simulering och optimering (FlexÅter 2)</i> .....	49
<i>Samplanering av Trafikpåverkande åtgärder och trafik – trafikflöden (SATT-TF)</i> .....	51
<i>Samplanering av trafikpåverkande åtgärder och trafikflöden - banarbetsplanering (SATT-BP)</i> .....	53
<i>Simulatorbaserad utbildning och träning av tågförare (SITUATE)</i> .....	55
<i>Simulering med Proton och RailSys (SIMPOR)</i> .....	57
<i>SJ – Optimering och Tidtabeller (SJOT)</i> .....	60
<i>Smart, data-based assets and efficient rail freight operation (Fr8Rail III WP2)</i> .....	61
<i>Stora omplaneringar sent (SOS)</i> .....	65
<i>Tjänsteutbud och Transportkapacitetsförsörjning på järnväg (TOT)</i> .....	67
<i>Tågssimulering och ERTMS, del 1 och del 2</i> .....	69
<i>Utformning av underhållsområden på större driftsplatser — förstudie (UFO)</i> .....	71
<b>KAJT-RELATERADE PROJEKT</b> .....	<b>73</b>
<i>Följsam Automation (F-Auto)</i> .....	74
<i>Konstruktionsregler för en robust tågplan (KRUT)</i> .....	75
<i>Sjävlärande neurala nätverk för operativ lokstyrning – förstudie (SOL)</i> .....	77
<i>Värdering av Trafikinformatiönsnyttor i Tågtrafiken (VTT)</i> .....	79
<i>YardCDM DEMO</i> .....	81
<b>AVSLUTADE PROJEKT UNDER 2022</b> .....	<b>82</b>
<i>Banarbetsprocess och datatillgång (BANDAT)</i> .....	83
<i>Beslutstöd för trafikledare: approximativa och exakta optimerande metoder (BLIXTEN II)</i> .....	86
<i>Flexibilitet för ökad kapacitet på Malmbanan (Flexikap)</i> .....	88
<i>Human Factors for Traffic Management Systems-2 (HF4TMS-2)</i> .....	90
<i>Mindre Störningar i Tågtrafiken, del 2 (MIST2)</i> .....	91
<i>Reservkapacitet i tilldelningsprocessen – Huvudstudie (RITH)</i> .....	93
<i>Testplattform med simulatorer för effektiv och trafiksäker driftsättning av ERTMS (TESTER)</i> .....	95
<i>Järnvägens HUS</i> .....	97
<i>Körbarhetsanalyser i tågssimulator (KÖRBAR)</i> .....	98
<b>Tidigare avslutade projekt</b> .....	<b>100</b>

## Om KAJT

Branschprogram Kapacitet i järnvägstrafiken – KAJT – syftar till att förstärka järnvägssystemets förmåga att tillgodose samhällets transportbehov. Målet för forskningen inom programmet är att förbättra nyttjandet av järnvägssystemet och utforma effektiva och pålitliga trafikflöden med tillhörande tjänster. Branschprogrammet bidrar till att utifrån infrastrukturella förutsättningar på strategisk, taktisk och operativ nivå ge järnvägsbranschen bättre koncept, modeller, verktyg och metoder så att svensk järnväg blir världsledande inom effektivitet, kvalitet och flexibilitet.

Branschprogram KAJT har sju akademiska parter: Linköpings universitet (LiU) är värd för programmet och övriga akademiska parter är Blekinge Tekniska Högskola (BTH), Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), RISE Research Institutes of Sweden (RISE), Uppsala universitet (UU), Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) och Lunds universitet (LU). Trafikverket är programmets huvudfinansiär.



## Vision och Programförklaring

KAJT:s vision är ett framtida järnvägssystem med maximal kapacitet och punktlighet. KAJT:s bidrag till visionen är excellent forskning i samverkan.

Verksamheten bedrivs i enlighet med *KAJT Programförklaring*:

KAJT ska:

- Bedriva forskning rörande järnvägskapacitet som håller hög internationell klass och

som syns i de viktigaste tidskrifterna och konferenserna.

- Förse branschen med kompetens genom utbildning av personer med doktors- eller licentiatexamen och medverka till att skapa en attraktiv miljö där dessa personer kan verka.
- Bidra med kunskap, koncept, metoder och verktyg som branschen kan vidareförädla och implementera.
- Vara en efterfrågad part i internationella och nationella projekt och ett nav för KAJT-relaterade frågeställningar i Sveriges järnvägsbransch.
- Vara en mötesplats för problemägare och forskare och ha en aktiv interaktion med FoI-beställare, FoI-utförare och övrig järnvägsbransch.
- Arbeta med frågeställningar som är aktuella, väldefinierade och branschrelevanta med tydlig nytta för intressenterna.

## Kontakter

Martin Joborn  
Programföreståndare  
RISE Research Institutes of Sweden  
Telefon: +46 (0) 70 570 99 92  
E-post: martin.joborn@kajt.org

Magnus Wahlborg  
Trafikverkets kontaktperson  
Trafikverket  
Telefon: +46 (0) 70 569 15 85  
E-post: magnus.wahlborg@trafikverket.se

Mer information om KAJT, projekt och rapporter kan hittas på hemsidan [www.kajt.org](http://www.kajt.org)

## Forskningsprogram

Forskningsprogrammet definierar det område inom vilket KAJT bedriver forskning. Forskningsprogrammet består av tre huvudkomponenter: Internationell samverkan och Shift2Rail, Kärnområden och Breddningsområden, vilket illustreras i Figur 1. Forskning sker ofta i samverkan med flera forskningsutförare, problemägare och intressenter.



Figur 1: KAJT Forskningsprogram

*Kärnområden* definierar branschprogrammets primära forskningsområde. Inom kärnområdet är parterna i KAJT Sveriges primära forskningsutövare. Deltagarna i branschprogrammet har tillsammans ledande kompetens för att bedriva forskning inom området. KAJT:s tre kärnområden är:

- Strategisk kapacitetsplanering
- Taktisk kapacitetsplanering
- Operativ kapacitetsplanering

Inom kärnområdena ska branschprogrammet ta fram ny kunskap samt utveckla metoder och processer, tillämpliga på branschprogrammets intressenter. Forskningen inom kärnområdena beskrivs närmare av KAJT:s forskningsprogram, som fastställs av KAJT:s styrelse.

*Breddningsområden* definierar forskningsområden som KAJT utforskar i tillägg till kärnområdena, som ett komplement. Breddningsområdena förändras mer dynamiskt än kärnområdena, som avses ligga fast. Breddningsområden kan tillkomma och försvinna då behov förändras. Vissa breddningsområden kan ha stor forskningsaktivitet, medan andra har mindre. Forskningsprogrammet innehåller följande breddningsområden:

- Framtidens transportsystem och trafikefterfrågan
- Järnvägens sidosystem och koppling till järnvägsnätet
- Planering av transportnätverk, fordon och personal
- Underhåll och trafik



- Människan, digitalisering och automation
- Trafikinformation och störningshantering
- Signal- och trafikstyrningssystem
- Uppföljning och återkoppling

*Internationell samverkan, Shift2Rail och Europe's Rail* är en övergripande komponent i forskningsprogrammet för att synliggöra att KAJT är internationellt aktiva. Forskningen som bedrivs i de internationella projekten och Shift2Rail/Europe's Rail-projekten ansluter till forskningsprogrammets kärnområden eller breddningsområden.

KAJT:s Kärnområden och Breddningsområden beskrivs närmare nedan. Ett forskningsprojekt kan mycket väl spänna över flera områden inom forskningsprogrammet.



## Strategisk kapacitetsplanering

Det finns ett ömsesidigt beroende mellan infrastrukturens utformning och trafikering som påverkar kapacitet och punktlighet. När man bygger ut infrastrukturen måste man ta hänsyn till framtida marknadsförutsättningar med flexibilitet för olika trafikupplägg och när man utformar tidtabellerna måste man ta hänsyn till en given infrastruktur. Inte bara antalet tåg utan även blandningen av tåg med olika medelhastighet påverkar kapacitetsutnyttjandet och punktligheten. Tidsperspektivet på de studerade frågorna inom kärnområdet är ofta strategiskt, från nästa tidtabell till stora projekt fyrtio år framåt i tiden. I det långsiktiga perspektivet gäller det att ta fram modeller och metoder för att utforma en robust infrastruktur för flexibel tågföring och i det mer kortsiktiga perspektivet metoder för trafikplanering som medger både hög kapacitet och kvalitet. Inom kärnområdet studeras de trafikala aspekterna av infrastrukturen, snarare än de tekniska aspekterna. Viktiga frågeställningar är strategiska investeringsfrågor, drift och underhållsfrågor, analyser och samband, transportefterfrågan för person- och

godstrafik, långsiktig investeringsplanering och trafiksystemet i samhället som helhet. Inom kärnområdet utvecklas metoder för att analysera samband mellan infrastruktur och trafikering och mellan tidtabellsutformning och kapacitet och punktlighet. Härvid används både analytiska metoder och simulering samt en kombination av systematisk simulering och matematisk utvärdering.

## Taktisk kapacitetsplanering

Kärnområdet Taktisk kapacitetsplanering berör främst planering av tåg och banarbeten. Tidsperspektivet är från ungefär 1,5 år innan trafikdag fram till 24 timmar innan trafikering där den ettåriga tågplanen och ad hoc-processen är det primära forskningsområdet. Under den taktiska trafikplaneringen ska operatörernas (ibland motstridiga) önskemål och entreprenörernas önskemål om tågfria tider förenas med de infrastrukturella möjligheterna och utifrån detta ska en lämplig tågplan tas fram. Tågplanen ska underhållas och anpassas och till slut omsättas till en produktionsplan. Viktiga aspekter är att tågplanen bör vara konstruerad så att den är praktiskt lämplig för resenärer, godstransportörer och banarbetsentreprenörer, samtidigt som den ska vara robust. Dessutom ska den gå att genomföra på ett sådant sätt att det är möjligt att köra tåg till och från depåer, och det ska finnas tillräckligt med spår på driftsplatserna. Inom kärnområdet studeras sambanden mellan de komplexa krav som finns på tågplanen. Målet är att utveckla bättre processer och metoder för den taktiska trafikplaneringen, inkluderande metoder för att väga motstridiga krav mot varandra. Inom Taktisk kapacitetsplanering används många olika metoder såsom optimering, simulering, processmodellering och statistisk analys. Optimerings- och simuleringsmetoder, planeringsprocesser för tågplanen, samverkansprocesser, robusthetsaspekter i tågplanen är exempel på områden som studeras.

## Operativ kapacitetsplanering

Kärnområdet Operativ kapacitetsplanering studerar den operativa trafikeringen utifrån en daglig tågplan. Frågor som studeras berör den operativa trafikledningen och metoder och verktyg för att järnvägen ska styras på ett effektivt sätt, både ur ett mänskligt, metodmässigt och algoritmiskt perspektiv. Den operativa trafikledningen ställer stora kognitiva krav på människor som arbetar med den, och deras verktyg måste vara utformade på sätt som stöder arbetet på rätt sätt. I det operativa skedet uppstår många avvikelser från planerna och man måste ha metoder och verktyg som kan hjälpa till att identifiera potentiella konflikter innan de uppstår, hantera de situationer, störningar och konflikter som uppstår och ge stöd för olika slags prioriteringar samt att på rätt sätt kommunicera den plan man planerar att verkställa. Många parter behöver samordnas för att den operativa processen ska vara effektiv: trafikledning, lokförare, järnvägsbolag/trafikoperatörer och entreprenörerna vid banarbeten. Speciellt intressant är lokförarens situation och hur man kan stödja hen för att göra tågkörningen effektiv ur både trafik och miljösynvinkel. Behovet av information går i båda riktningarna, trafikledningen kan effektiviseras om lokförare har möjlighet att återkoppla och rapportera status till trafikledningen. Lokförarnas totala informationsmiljö måste också utformas så att den bildar en användbar integrerad helhet. De måste stödjas effektivt samtidigt som de kan ha fokus på det säkerhetskritiska i sitt arbete. En viktig fråga rör balansen mellan automatiska styrsystem och mänsklig styrning, där man måste hitta ett bra samspel som fungerar i praktiken i olika situationer. Metoder behöver utvecklas för uppföljning och för att analysera utfallet av trafikeringen i syfte att ge lämplig återkoppling. Kärnområdet täcker alla dessa aspekter av den operativa hanteringen av trafikstyrningen, dess organisation, resurser, arbetsplatsutformning, geografiska placering, styrprinciper, informations- och beslutsstöd, MTO-aspekter, etcetera



Inom området används metoder från beteendevetenskap, kunskap om mänsklig styrning och automation, användbarhet, gränssnittsutförning, statistisk analys, optimering och simulering.

## **Framtidens transportsystem och trafikefterfrågan**

I det långsiktiga perspektivet – runt 20 till 40 år framåt i tiden – är grundläggande frågor som efterfrågan av transporter och trafiksystemens övergripande utformning och dimensionering centrala frågor. Trafikverket har etablerade system för långsiktiga analyser av denna typ. I breddningsområde Framtidens transportsystem och trafikefterfrågan studeras och utvecklas bland annat dessa långsiktiga planeringssystem, och inte minst deras koppling till kapacitetsplaneringen. Inom området behandlas även andra långsiktiga frågeställningar, som ny utformning av kapacitetstilldelning och strategisk kapacitetsanalys.

## **Järnvägens sidosystem och koppling till järnvägsnätet**

Järnvägens sidosystem är en viktig komponent för att huvuduppgiften – att utföra transporter – ska fungera. Sidosystemet består exempelvis av depåer, verkstäder, bangårdar, terminaler och uppställningsspår. I sidosystemet behöver olika aktörer samordnas och resursplanering är viktigt. Sidosystemet bör planeras och fungera i harmoni med huvudsystemet, så att de samverkar och samordnas och att den ena inte orsakar resursproblem för den andra eller vice versa. Sidosystemet måste både dimensioneras rätt (strategisk nivå) och nyttjas på bästa möjliga sätt (taktisk/operativ nivå).

## **Planering av transportnätverk, fordon och personal**

Ur operatörernas synvinkel består resursplaneringen vid järnvägen av samordning mellan spårresurs, fordon och personal. I breddningsområdet Planering av transportnätverk, fordon och personal lyfts operatörernas frågeställningar fram, för att speciellt belysa de frågeställningar som är relevanta för operatörernas kapacitetsplanering, men som inte direkt är kopplade till infrastrukturhållarens planering. Metodmässigt kan dessa frågor ofta behandlas med likartade angreppssätt som till exempel tidtabellsläggning, exempelvis är optimering och simulering traditionellt viktiga och relevanta metoder. Exempel på frågeställningar är samordning mellan fordonsplanering och tidtabellplanering, tomvagnsdistribution och personalplanering vid störda situationer.

## **Underhåll och trafik**

Ett åldrande järnvägssystem behöver en ansevärd mängd reinvesteringar och underhåll för att ge god funktion, tillgänglighet, driftsäkerhet och komfort. Dessa banarbeten och underhållsinsatser är både tids- och kostnadskrävande och måste genomföras säkert och i koordination med normal trafik. Detta ställer krav på god planering av banarbeten och effektivare underhåll. Under den senaste tiden har allt mer fokus lagts på underhållets betydelse i järnvägsnätet. Det växande behovet av underhåll kombinerat med ett fortsatt högt nyttjande av infrastrukturen kommer att öka kraven på att underhåll utförs på ett sätt som är effektivt både gällande resursutnyttjande och ur trafikeringssynvinkel. Inom område Underhåll och trafik studeras planering och styrning av underhåll och trafik och den påverkan de har på varandra. Underhållsplaneringen kan vara både strategisk (till exempel vilket år man ska göra spårbyten), taktisk (till exempel när på året underhåll ska utföras) och operativ (till exempel planering och

styrning av snöröjning, reparationer). Underhåll av infrastrukturen har stor inverkan på operatörerna och deras verksamhet. Banförvaltarens och operatörernas prioriteringar står ofta i strid med varandra, och kostnadsbilden för banförvaltare, operatör och samhälle kan vara helt olika. Metoder för att planera underhåll och ändå ha en effektiv trafikering utvecklas. Hantering av operatörernas konsekvenser av underhåll studeras, liksom underhållsplanering ur ett samhällsperspektiv. Tidsperspektivet är huvudsakligen taktiskt och operativt, men kan också gälla de strategiska faserna. Underhållsåtgärder som beaktas kan vara både planerbara och händelsestyrda.

## Människan, digitalisering och automation

Digitalisering och automation blir allt viktigare komponenter i tågplaneprocessen och den operativa driften av järnvägen. Digitaliseringen av historiska data och realtidsdata gör att nya lärandeprocesser behöver utvecklas för att verksamheten inom järnvägen ska utvecklas på ett positivt sätt. Centrala frågeställningar inom detta forskningsområde handlar om interaktionen mellan digitaliserade och automatiserade processer, och människorna som verkar i dessa system och processer. I forskningsområdet är samverkan mellan människa-teknik-organisation (MTO) centralt. Det är viktigt att automatisera/digitalisera på ett sådant sätt att rätt beslut fattas. För att det ska vara möjligt behöver MTO-perspektivet in tidigt i alla processer som ska digitaliseras och man måste också beakta möjligheter till träning, utbildning och att införandeprocesser är väl anpassade. Det är även av betydelse att ha kunskap om hur digitaliseringen inom den svenska järnvägen förhåller sig till motsvarande utveckling i omvärlden. Digitalisering och utveckling av processer kommer att pågå många år framöver, och det behövs både strategiska och långsiktiga satsningar och mer behovsstyrda kortsiktiga satsningar.



## Trafikinformation och störningshantering

Inom trafikinformation och störningshantering behandlas framtagande och hantering av trafikinformation, relationen och kommunikationen med tågoperatörer, samt trafikmässig hantering av större och mindre störningar. Hos Trafikverket pågår ett införande av digital graf, vilket ger möjligheter till utvecklad trafikinformation genom att en gemensam lägesbild för järnvägens aktörer skapas. Det är ett förstadium till ett kommande nationellt tågledningssystem (NTL) som bygger på KAJT forskning och konceptet ”Styra genom att planera”. Svårigheter med trafikinformationens användning ställs på sin spets i samband med störningar, och detta har en mycket stor påverkan på passagerares/godsägarers nöjdhet med systemets funktion. ”Större störningar” är störningar som trafikledningen måste hantera i samråd med andra aktörer, främst tågoperatörer. I samband med större störningar frångås många normala rutiner för trafikinformation och operativ styrning. Mindre störningar är avvikelser som trafikledningen hanterar och beslutar om internt. Inom området studeras metoder för att operativt hantera trafiken i samband med både större och mindre störningar. Området har en stark koppling till kärnområdet Operativ kapacitetsplanering.

## Signal- och trafikstyrningssystem

Signal- och trafikstyrningssystemen har stor inverkan på trafiken och den kapacitet som järnvägen i slutändan ”levererar”. I Sverige planeras stora förändringar inom både signalsystemet och trafikstyrningssystemet, vilka på sikt skall uppträdas till nästa generation. Dessa uppgraderingar kommer att innebära radikala systemförändringar för både signalsystemet (ERTMS) och trafikstyrningen (NTL). Inom forskningsområde Signal- och trafikstyrningssystem studeras dels hur dessa system skall utformas och dels hur de påverkar personal och trafik. Fordonen går mot en ökad automation och införande av ATO studeras. Lokförarrollen ändras och koncept tas fram och demonstreras, både när lokföraren har operatörsrollen (Goa2) och med självkörande tåg (Goa4)<sup>2</sup>.

## Uppföljning och återkoppling

Område Uppföljning och återkoppling hanterar analys av datakällor, identifiering av samband och återkoppling till olika stadier av planeringen. Huvudsyfte med uppföljning i detta perspektiv är just återkoppling för bättre planering. Data som uppföljning baseras på kommer främst från utfall av tåγκörning, och återkoppling för kunskapsuppbyggnad kan ske till både det strategiska, taktiska och operativa planeringsskedet. Inom området samverkar KAJT med Tillsammans för tåg i tid, TTT.

## Internationell samverkan, Shift2Rail och Europe’s Rail

I ett internationellt perspektiv har KAJT som mål att programmet och dess parter ska vara en internationellt erkänd aktör som bjuds in till internationella samarbeten. Programmet ska vara internationellt aktivt, framför allt inom EU, synliggöra sin profil och verksamhet, och verka för hemtagning av både kunskap och finansiering från EU. KAJT ska stödja Trafikverket och delta i det nu avslutade nuvarande Shift2Rail-programmet och under 2022 uppstartade programmet Europe’s Rail som startar hösten 2022. I ett internationellt perspektiv är svensk transportforskning liten, därför är samarbeten med andra internationellt erkända parter och

---

<sup>2</sup> Goa1, Goa2, Goa3 och Goa4 är beteckningar på olika nivåer av automation för självkörande tåg.



hemtagning av kunskap extra viktigt. Samtidigt som programmet agerar enligt internationella kvalitetskrav så är de svenska aspekterna av järnvägstrafiken i fokus. De internationella projekten spänner över många forskningsområden. En viktig del av det internationella arbetet är att ta fram morgondagens processer och att samverka med andra infrastrukturhållare, samt att bli kravställare gentemot järnvägsindustrin.

## KAJT-relaterade projekt

KAJT-relaterade projekt är projekt som bedrivs inom KAJT:s forskningsprogram men där finansiering formellt sett inte sker genom KAJT forskningsmedel. KAJT:s styrelse/programråd är normalt inte berörda i samband med initiering av dessa projekt. Då dessa projekt är av hög relevans för KAJT:s område, har de KAJT-relaterade projekten en speciellt viktig position för samverkan med KAJT-programmet<sup>3</sup>.



---

<sup>3</sup> KAJT-relaterade projekt är inkluderade i denna projektkatalog. Det framgår vid sådana projekt att det är KAJT-relaterat.

# Excellensområden

Trafikverket har i samverkan med dagens ledande forsknings- och utvecklingsmiljöer och Järnvägensbranschens samverkansforum (JBS), tagit fram ett program för Järnvägsforskningen 2021–2030 och skapat tio *Excellensområden*. Syftet med Excellensområdena är att stärka järnvägsforskningen i Sverige med målet att Sverige ska kunna bygga för en järnvägsforskning i världsklass. Excellensområdena ska definiera inriktning och former för den kommande järnvägsforskningen och samverkar med EUs program för järnvägsforskning, *Europe's Rail* 2022–2031. De tio excellensområdena består av sex områden inom teknik, tre områden inom funktion och ett område för systemperspektiv. Excellensområdena som helhet beskrivs i Trafikverkets rapport om Excellensområden<sup>4</sup>.

KAJT ansvarar för två av dessa excellensområden: Område nummer 7, **Trafikplanering och trafikstyrning**, och område nummer 9, **Kapacitet och punktlighet**.

## Excellensområde 7 Trafikplanering och trafikstyrning (E07)

Excellensområde 7 Trafikplanering och styrning behandlar processer och metoder för strategisk och taktisk kapacitetsfördelning och trafikplanering samt för operativ trafikstyrning. Området leds av LiU och har de medverkande parterna KTH, LU, BTH, UU, med Anders Peterson som excellensområdesledare.

Området behandlar följande frågeställningar:

- Metoder och processer för fördelning av tillgänglig kapacitet utifrån strategiskt, taktiskt och operativt tidsperspektiv för nätverk och noder, huvudsystem och sidosystem.
- Samordning, prioritering och värdering av olika aktörers anspråk på järnvägsnätets kapacitet: persontåg, godståg, underhåll.
- Planeringsmetoder, planeringsprocesser och beslutsstöd för tidtabellsplanering.
- Samordning inom nationell kapacitetsfördelning, samt mot utlandet.
- Robusthet i planering och genomförande.
- Planering av transportnät (gods- och persontrafik) med efterfrågeeffekter.
- Operatörernas lok- och vagnsplanering, samt personalscheman.
- Operativ styrning, trafikledning och tågdrift, beslutsstöd, system och operativ samordning mellan aktörer.
- Trafikaspekter av förarstödssystem, ATO och kunskapsuppbyggnad om självkörande tåg.
- Samband mellan trafik, kapacitet och signalsystem (ERTMS).
- MTO-frågor (människa-teknik-organisation) relaterat till området som helhet.

### Mål

Excellensområdet ska bidra till att maximera nyttan av Sveriges (befintliga) järnvägsresurser, dvs. att få ut så mycket som möjligt genom fyrstegsprincipens steg 1 och 2 (Tänk om respektive Optimera). Det finns också ett värde i att, vid behov, kunna påvisa att steg 1 och 2 inte ger önskad effekt. Med stöd av specificerade övergripande krav på trafikupplägg kan skäl istället ges för steg 3 eller 4 (Bygga om respektive Bygga nytt). Att koppla samman planering och

---

<sup>4</sup> Järnvägsforskning 2021 – 2030 – Excellensområden: Beskrivning 2021 maj  
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:trafikverket:diva-5122>

styrning, samt att utveckla den operativa processen bidrar till ökad kapacitet, ökad punktlighet och ökad effektivitet. De senaste årens forskning har huvudsakligen jobbat med mindre åtgärder och korta perspektiv.

Inom trafiken ska många aktörer, med olika prioriteringar och tidsperspektiv, samordnas. Dessutom behövs en internationell samordning, där varje land har sina processer, regler och traditioner. Området är mycket beroende av god samverkan varför MTO-perspektivet är av central betydelse för att nå områdets fulla potential. En annan viktig del är marknadskopplingen, det vill säga att man beaktar efterfrågeeffekternas ekonomiska konsekvenser, vid åtgärder inom trafikplanering och trafikstyrning.

Tillämpningsområdet genomgår stora förändringar genom digitalisering och automation. Potentialen genom digitalisering och automation är mycket stor. Järnvägsbranschen måste hänga med, både gällande hur forskningsfronten ska vidareutvecklas och vikten av att tillämpningar ska anpassas för praktisk användning och de människor som är verksamma i processerna.

Behovsägare är Infrastrukturförvaltare (Trafikverket), regionala kollektivtrafikmyndigheter, järnvägsoperatörer och underhållsentreprenörer. Intressenter är KAJT (samordnande), SJ, Green Cargo, MTR och LKAB, Infrastrukturförvaltare: DB, ProRail (simulering och ERTMS) och Jernbanedirektoratet (på väg in i KAJT), Systemleverantörer (genom Shift2Rail): Bombardier, Hacon, Siemens och Indra. Underhållsentreprenörer: Strukton och InfraNord. Även forskningsutförarna KTH Järnvägsgruppen (utanför KAJT) och JvtC är intressenter i Excellensområdets frågeställningar och bedriver verksamhet i närliggande område, men är formellt ej part i Excellensområdet.

Samverkan mellan lärosäten kan ge influenser till kursinnehåll och delmoment i existerande kurser. Som exempel ges vid LiU en kurs i "Planering av kollektivtrafik och järnväg", vid LU "Kapacitet och punktlighet i järnvägstrafik" och vid KTH masterskurserna "Tågtrafik – marknad och planering" (grund- respektive fortsättningskurs) där frågeställningar inom excellensområdet är centrala. Koncept inom området kan spridas till andra lärosäten.

### **Huvudsakliga aktiviteter**

För Excellensområde 7 delas arbetet in i sex aktivitetsområden. Mer detaljerad beskrivning finns i Excellensområdets verksamhetsplan.

*Ledning och utveckling.* I aktivitetsområdet ingår även utveckling av aktivitetsområdet, översyn av verksamhetsplanen, samt formulering av mål på kort och lång sikt. Aktuella aktiviteter är att ta fram en tioårig verksamhetsplan, samt att förbereda för KAJT-området i Europe's Rail och ordinarie, direktfinansierade projekt. Arbetet pågår med att ta fram ett nytt huvudavtal för KAJT, "KAJT 2.0", samt att utveckla FoI-processen inom KAJT.

*Forskning.* Forskning är viktigt för att bygga upp excellens. Inom detta aktivitetsområde finns aktiviteter som syftar till att bygga upp den seniora kompetensen inom området. Många aktiviteter är av mindre karaktär och kan beskrivas som förstudier, kompletterande studier eller efterstudier. Genom förstudier kan vi få fram bättre underbyggda ansökningar. Kompletterande studier ger en möjlighet att utvidga pågående forskningsprojekt utöver vad finansieringen där ger grund till, särskilt inom Shift2Rail och Europe's Rail finns ett behov av att komplettera EU-finansieringen med möjligheter till vetenskapligt arbete. Med efterstudier menar vi arbete med att akademiskt kvalitetssäkra uppsatser av olika slag efter att forskningsprojekt avslutats. Vissa



av aktiviteterna kan ha karaktären av nyfikenhetsforskning, att förbehållslöst få följa en tanke och se vart den leder.

*Forskningsinfrastruktur.* För att bedriva framgångsrik forskning behövs en väl fungerande forskningsinfrastruktur. I det här aktivitetsområdet finns möjlighet att bygga upp grundmodeller eller databaser som sedan kan användas i flera forskningsprojekt och/eller för utbildningsändamål. Forskningsinfrastrukturen har en tydlig koppling också mot bransch/företag och kan användas för demonstratorer inom EU-projekt mm. En översyn av grundläggande forskningsinfrastruktur har påbörjats. Det finns ett behov av att identifiera vilka grundläggande typer forskningsinfrastruktur som i dagsläget är kritisk men svårtillgänglig för vissa. Det handlar framför allt om tillgänglighet till aktuella data (inkl. tidtabellsdata, resultat från intervjuer och observationer på trafikledningscentraler, etcetera). Att aktivt arbete för att utveckla och tillgängliggöra publika datamängder av relevans för vissa typer av studier, i samråd med Trafikverket, är därför viktigt. Frågor som rör säkerhet, upphovsrätt och förvaltning måste särskilt beaktas.

*Forskarutbildning.* Forskarutbildningen syftar till att bygga upp den juniora kompetensen inom området. Här ryms doktorandprojekt, samt alla andra typer av insatser för att förbättra forskarutbildningen, till exempel kurser och seminarier riktade till doktorander och handledare, liksom deltagande i sommarskolor. Hittills har en doktorandkurs ("Planering av järnvägskapacitet"), liksom en seminarieserie startats. Ett fysiskt internat för nätverkande mellan doktoranderna i forskarskolan planeras till andra halvåret 2022. KTH kommer tillsammans med LiU att utveckla och genomföra en doktorandkurs kallad "Nya koncept och tillämpningar inom transport". Det blir en veckas sommarskola vid KTH i augusti 2022.

*Grundutbildning.* Det här aktivitetsområdet syftar till att stötta utbildningsinsatser som görs för att stärka studenternas attraktivitet för järnvägsbranschen. Under 2021 har en kartläggning gjorts av vilken grundutbildning som finns vid de fem akademiska miljöer som ingår i excellensområdet. Kartläggningen kommer att avslutas under 2022. Utveckling av nya kurser inom området kommer under 2022 att ske vid LU och LiU. Gemensamma satsningar kommer också göras kring examensarbeten. Dels för att mer systematiskt samla in och dela idéer till examensarbeten mellan lärosätena, dels genom att anordna ett gemensamt seminarium under våren för examensarbetare på de olika lärosätena, och dels genom att anordna ett pris för bästa examensarbete, som förslagsvis delas ut i samband med KAJTs höstseminarium. LU leder arbetet. En viktig fråga för alla tio excellensområden är rekryteringen av studenter till de utbildningsprogram som är viktiga för järnvägsområdet.

*Samverkan.* Samverkan sker både med branschen och med andra forskare, både nationellt och internationellt. Omvärldsbevakningen är viktig för den strategiska planen och för taktiska och operativa beslut inom Excellensområdet. Flera miljöer vill utveckla det internationella forskningssamarbetet. Flera idéer är under utveckling. Genom KAJT har Sverige flera starka, samverkande forskningsmiljöer som kan ge synergier genom internationella samarbeten som också kan inkludera gästdoktorander. På KTH och Lunds universitet har JBS tagit initiativ till att organisera så kallade Kompetensgrupper, regionala konstellationer med representanter från näringslivet och järnvägsbranschen som på ett organiserat sätt ska kunna stärka utbildningens förankring i branschens behov, och öka kontakten mellan studenter och näringsliv. Detta arbete kommer fortsätta under 2022. Flera lärosäten kan komma att anslutas till dessa kompetensgrupper, alternativt starta egna.

## Excellensområde 9 Kapacitet och punktlighet (E09)

Område nummer 9, **Kapacitet och punktlighet**, leds av LU, har de medverkande parterna LiU och KTH, med Carl-William Palmqvist som excellensområdesledare.

Excellensområde 9 Kapacitet och punktlighet syftar till att ge ökad kunskap och förståelse för kapacitet och punktlighet, samt att utveckla metoder för att analysera, riskbedöma och förbättra kapacitet och punktlighet. I detta ingår bland annat:

- Kunskap om kapacitet och punktlighet
- Riskbedömning, beredskap och återställningsförmåga ur kapacitets och punktlighetsperspektiv
- Prognos av kapacitet och/eller punktlighet, trafikflöden, ankomsttider och störningar på strategisk, taktisk och operativ nivå

### Mål

Excellensområdets ska bidra till att höja både kapaciteten och punktligheten på svensk järnväg till världsklass. Detta ska ske genom kunskapshöjande aktiviteter inom både forskning och utbildning, så att resurser inom såväl det befintliga som det planerade järnvägssystemet används ändamålsenligt och kostnadseffektivt. Centralt för excellensområdet är att skapa lärande system och processer (såväl organisatoriska som digitala) som drar nytta av de stora datamängder som finns och skapas inom branschen. Forskningen ska ge konkret och relevant kunskap som bidrar till ökad kapacitet och/eller punktlighet, och samarbete såväl nationellt som internationellt är en förutsättning för att nå denna excellens. Målet är en positiv spiral mellan excellens inom forskning, excellens inom utbildning, och excellens inom branschen, där alla tre dimensionerna driver varandra framåt.

### Huvudsakliga aktiviteter

För Excellensområde 9 delas arbetet in i sex aktivitetsområden. Mer detaljerad beskrivning finns i Excellensområdets verksamhetsplan.

*Ledning och utveckling.* Centralt under första halvan av 2022 är att hålla en serie workshops för att ta fram en strategisk utvecklingsplan inom Excellensområdet, med målpunkt 2030. Den strategiska utvecklingsplanen ska tas fram i samverkan med de andra excellensområdena och med Trafikverket. En viktig input till planen är EU Rail-samverkan. En dialog har under 2021 påbörjats mellan parterna, men arbetet med att denna vision och plan kommer fortsätta och växa i omfattning. Denna strategiska plan är även viktig input i arbetet med att ta fram ett nytt KAJT-avtal, för arbetet med EU Rail, och för att ge inriktning för årets runda av direktfinansierade KAJT-projekt.

*Forskning.* Många aktiviteter har varit av mindre karaktär och kan beskrivas som förstudier, kompletterande studier och efterstudier. Några temaområden som kan lyftas fram under 2022 är: A) Ökad kunskap om förutsättningar för punktlighet. Vad som krävs för att punktligheten ska nå en viss nivå, hur detta kan mätas, kvantifieras och systematiseras. B) Utvecklad modellering av störningar, för att bättre kunna skilja på systematiska och slumpmässiga förseningar, både i faktiskt utfall och i simuleringsmodeller. C) Förbättrade metoder för att prognostisera avgångs-, uppehålls-, gång- och ankomsttider, både för planerings-, trafiklednings- och trafikinformationssyften. D) Att på olika sätt kunna förkorta uppehållstider i noder och terminaler, både för person- och godståg.

*Forskningsinfrastruktur.* För att bedriva framgångsrik forskning behövs en väl fungerande forskningsinfrastruktur och god tillgång till data. I det här aktivitetsområdet finns möjlighet att bygga upp och vidare på grundmodeller eller databaser som kan användas i flera forskningsprojekt och/eller för utbildningsändamål. Säkerhetsarbete kring dessa data och modeller ingår även här.

Konkret så kommer den kartläggning av forskningsinfrastruktur som påbörjats under 2021, tillsammans med Excellensområde 7, att fortsätta och gå i mål under 2022. Säkerhetsarbetet kommer att pågå kontinuerligt, med fortsatt dialog mellan akademiska parter och Trafikverket för att förtydliga vad som är skyddsvärt, och hur vi kan arbeta på ett säkert sätt. Arbeta med simuleringsmodeller (främst det makroskopiska verktyget PROTON), optimeringsmodeller (som M2 och TIMO), och databasutveckling kommer att pågå kontinuerligt, liksom arbetet med att gradvis koppla dessa modeller närmare mot varandra.

*Forskarutbildning.* Forskarutbildning är centralt för Excellensområde 9, som ett sätt att förse branschen med mycket kunnig och kompetent personal med forskarutbildning, oavsett om dessa arbetar vidare inom akademien eller går till branschen. Aktiviteter som syftar till att bygga upp den juniora kompetensen inom området, såsom doktorandprojekt (särskilt i en uppstarts- eller slutfas), handledning, rekryteringsarbete, samt alla andra typer av aktiviteter som syftar till att förbättra forskarutbildningen. Konkret så kommer KAJT Forskarskola att starta under 2022, gemensamt för Excellensområde 7 och 9. Denna forskarskola kommer erbjuda ett planerat internat i september, och en orienterande doktorandkurs som ges under året. En digital seminarieriserie för doktorander inom forskarskolan startas och ordnas av Lunds universitet. Excellensmedlen bidrar också till att finansiera doktorander, som brygga mellan andra typer av projektfinansiering. På så sätt är det möjligt att rekrytera doktorander utan att invänta slutgiltigt finansieringsbesked för enskilda projekt, minska ledtiden mellan att projekt beviljas och kan påbörjas och göra det möjligt att anställa doktorander trots att projekttiderna sällan sträcker sig över de fyra-fem år som annars krävs.

*Grundutbildning.* Under 2021 och 2022 sker kursutveckling på både Lunds och Linköpings universitet. På Lunds universitet rör det sig om en vidareutveckling av den under 2021 startade kursen "VTVG05 Kapacitet och punktlighet i järnvägstrafik", och om en fortsatt gradvis utveckling av kursen "VTVF85 Utformning av järnvägar", med ett tydligare fokus på frågeställningar inom kapacitet och punktlighet. På Linköpings universitet handlar det om en nystartad kollektivtrafikkurs med stora inslag av järnväg.

Gemensamma satsningar kommer också göras kring examensarbeten. Linköpings universitet koordinerar även ett branschomspännande och Excellensområdesöverskridande arbete med att marknadsföra järnvägsbranschen för potentiella studenter.

*Samverkan.* På KTH och Lunds universitet har JBS tagit initiativ till att organisera så kallade Kompetensgrupper, regionala konstellationer med representanter från näringslivet och järnvägsbranschen som på ett organiserat sätt ska kunna stärka utbildningens förankring i branschens behov, och öka kontakten mellan studenter och näringsliv. Detta arbete kommer fortsätta under 2022. Excellensområdet kommer också att ordna studiebesök för studenter på olika nivåer ute i näringslivet, och bjuda in näringslivet till respektive campus, för att ytterligare stärka kopplingen mellan lärosäten och bransch. Arbetet med införande av TTR i Sverige kommer också ta större fart under 2022, och forskare i Excellensområde 9 kommer vara delaktiga i diverse workshops och mötesserier för att dela kunskap och bidra till denna stora omorganisation av processerna för kapacitetstilldelning. Gemensamma möten kommer också ske med andra excellensområden, inte minst område 6 och 8, för att öka samverkan mellan lärosäten. Dessa kontakter finns redan, men ska utvecklas under 2022, och även resultera i

fysiska resor och möten. Slutligen är det viktigt med internationell samverkan, och förutsatt att Covid-19 pandemin fortsätter att avta så kommer ett flertal resor och internationella utbyten att ske, i båda riktningarna.





## Uppföljning och implementering av resultat

Uppföljning av projektresultat sker årligen i KAJT Årsrapport.

Resultatspridning och samverkan sker genom publikation av forskningsrapporter, deltagande på konferenser, utveckling av demonstratorer och samverkan. På europeisk nivå sker samverkan i första hand inom Shift2Rail och Europe's Rail och svensk nivå i första hand genom Järnvägens Branschsamverkan (JBS) och genom Tillsammans för tåg i tid (TTT).

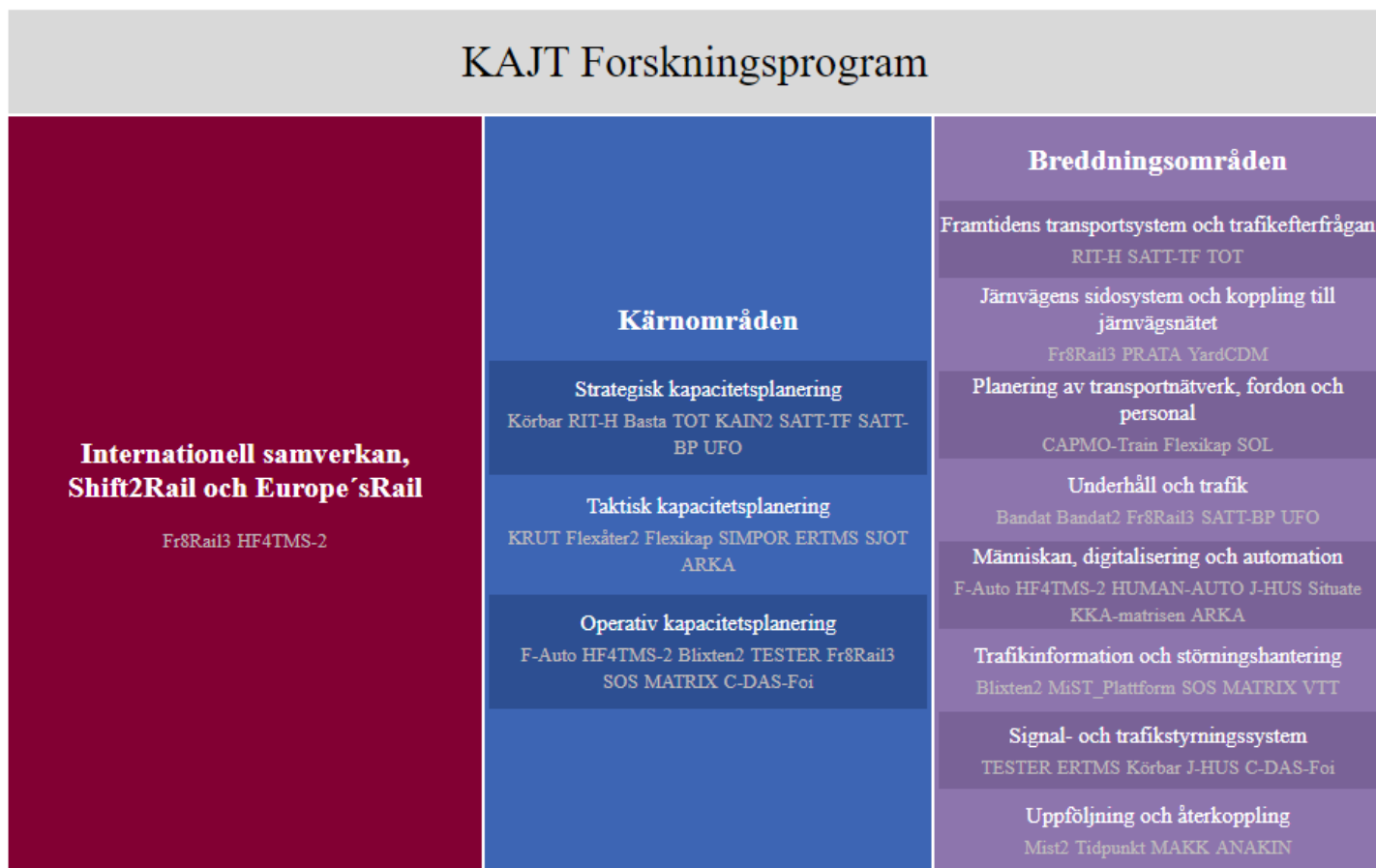
I de olika forskningsområdena utvecklas metodik, beslutsstöd, simulatorer och demonstratorer. Demonstratorernas roll är att tydliggöra och tillgängliggöra forskningsresultat så att koncept och idéer kan studeras och utvärderas av både verksamhetsexperter och järnvägsbransch i allmänhet. Allt större fokus har lagts på att ta fram demonstratorer. Exempelvis tas demonstratorer fram för att samordna bangård och järnvägsnät, för planering av servicefönster, analys av punktlighet samt för optimering av tågplanen. Inom Shift2Rail har KAJT parter tillsammans med DB utvecklat en makrosimulator Proton som håller på att införas i förvaltning hos Trafikverket.

Inom ERTMS sker KAJT forskning med mikrosimulatorens Railsys och VTI tågssimulator. För Railsys håller Trafikverket i en användargrupp i Sverige, samt ett internationellt samarbete med Norge, Danmark och Nederländerna. För VTI tågssimulator finns ett samarbete med ett flertal tågföretag verksamma i Sverige, samarbetet benämns TUFFA gruppen. Dessa nätverk är viktiga för att få en närhet och kunskapsspridning mellan forskare, behovsägare, samt behovsägarnas experter.

Det blir allt viktigare att ta hänsyn till informationssäkerhetsfrågor i samband med forskning, digitalisering och automation. Detta har påverkan på demonstratorer och spridning av information.



# Projektöversikt



Figur 2: Projektkarta med KAJTs pågående och nyligen avslutade forskningsprojekt utplacerade i den eller de delar av forskningsprogrammet som de huvudsakligen berör.



<b>Projekt</b>	<b>Akronym</b>	<b>Område</b>	<b>Utförare</b>
Arbeta med kvalitetsmått <sup>1</sup>	ARKA	Taktisk kapacitetsplanering, Människan, digitalisering och automation	RISE
Automatiserad analys & klassificering av förseningsorsaker i järnvägssystemet	ANAKIN	Uppföljning och återkoppling	BTH
Banarbetsprocess och datatillgång, del 2 <sup>1</sup>	Bandat 2.0	Underhåll och trafik	LU
Betydelsen av styva tidtabeller för anslutningstrafik	BASTA	Strategisk kapacitetsplanering	VTI, LiU
Capacity Modeling and Shift Optimization for Train Dispatchers (CAPMO-Train)	CAPMO-Train	Planering av transportnätverk, fordon och personal	VTI, LiU
Framtida KAJT-Foi kopplat till C-DAS och Digital graf	C-DAS foi	Signal- och trafikstyrningssystem	RISE
Kapacitet i nätverk 2 (KAIN 2)	KAIN2	Strategisk kapacitetsplanering	KTH
Kommunikation-Kompetens-Arbetsbelastning som stöd vid händelseutredningar och beslutande om åtgärder inom operativ tågtrafikledning	KKA-matrisen	Människan, digitalisering och automation	VTI
Kritiska störningar och punktlighet	Tidpunkt	Uppföljning och återkoppling	RISE
Maskininlärningsbaserat beslutsstöd för tågtrafikledning vid störningar: En experimentell studie <sup>1</sup>	Matrix	Operativ kapacitetsplanering, Trafikinformation och störningshantering	BTH
Mindre Störningar i Tågtrafiken - Plattformsåtgärder	MIST Plattform	Trafikinformation och störningshantering	LU
Människa-automation i framtida samverkan	HUMANAUTO	Människan, digitalisering och automation	UU
Mötesanalys och kanalkänslighet för godståg <sup>1</sup>	MAKK	Uppföljning och återkoppling	RISE
Prediktion av Ankomsttider och avgångar	PRATA	Järnvägens sidosystem och koppling till järnvägsnätet	KTH
Robusta tidtabeller med kombinerad simulering och optimering	FlexÅter2	Taktisk kapacitetsplanering	KTH
Samplanering av trafikpåverkande åtgärder och trafikberäkningsmodell för trafikflöden	SATT-TF	Strategisk kapacitetsplanering, Framtidens transportsystem och trafikefterfrågan	RISE
Samplanering av trafikpåverkande åtgärder och trafikflöden - banarbetsplanering	SATT-BP	Strategisk kapacitetsplanering, Underhåll och trafik,	VTI
Simulatorbaserad utbildning och träning av tågförare	SITUATE	Människan, digitalisering och automation	VTI
Simulering med Prism och RailSys (SIMPOR)	SIMPOR	Strategisk kapacitetsplanering	KTH
SJ – Optimering och Tidtabeller	SJOT	Taktisk kapacitetsplanering	RISE
Smart, data-based assets and efficient rail freight operation	Fr8RAIL3	Operativ kapacitetsplanering, Järnvägens sidosystem och koppling till järnvägsnätet, Underhåll och trafik,	RISE, LiU, KTH, VTI
Stora omplaneringar sent	SOS	Operativ trafikplanering, Trafikinformation och störningshantering	LiU
Tjänsteutbud och Transportkapacitetsförsörjning på järnväg	TOT	Strategisk kapacitetsplanering, Framtidens transportsystem och trafikefterfrågan	RISE

Tågsimulering och ERTMS.	ERTMS	Signal- och trafikstyrningssystem	VTI
Utformning av underhållsområden på större driftsplatser - förstudie <sup>1</sup>	UFO	Strategisk kapacitetsplanering, Underhåll och trafik	LiU
Följsam automation *	F-Auto	Operativ kapacitetsplanering, Människan, digitalisering och automation	LiU, UU, Linné-universitetet, Trafikverket
Robust tågplan med hjälp av kritiska punkter *	KRUT	Taktisk kapacitetsplanering	Trafikverket, LiU
Självlärande neurala nätverk för operativ lokstyrning – förstudie *	SOL	Planering av transportnätverk, fordon och personal	RISE
Värdering av trafikinformationsnyttor i tågtrafiken *	VTT	Trafikinformation och störningshantering	LiU
YardCDM Demo *	YardCDM	Järnvägens sidosystem och koppling till järnvägsnätet	RISE

\* KAJT-relaterat projekt. <sup>1</sup>Projekt startar 2023.

## Avslutade projekt 2022

Projekt	Akronym	Område	Utförare
Banarbetsprocesser och datatillgång	Bandat	Underhåll och trafik	LU
Blixten försättningsprojekt	Blixten2	Operativ kapacitetsplanering, Trafikinformation och störningshantering,	Blekinge Tekniska Högskola
Flexibilitet för ökad kapacitet på Malmbanan	Flexikap	Taktisk kapacitetsplanering, Planering av transportsystem, fordon och personal	RISE
Human Factors for TMS-2	HF4A-TMS	Operativ kapacitetsplanering, Människan, digitalisering och automation	VTI
Mindre störningar i tågtrafiken, del 2	Mist2	Uppföljning och återkoppling	LU
Reservkapacitet i tågplaneprocessen - huvudstudie	RIT-H	Strategisk kapacitetsplanering; Framtidens transportsystem och trafikefterfrågan	RISE
Testplattform med simulatorer för effektiv och trafiksäker driftsättning av ERTMS (TESTER)	TESTER	Operativ kapacitetsplanering, Signal- och trafikstyrningssystem	VTI
Järnvägens hus*	J-HUS	Signal- och trafikstyrningssystem	VTI
Körbarhetsanalyser med tågsimulator*	KÖRBAR	Strategisk kapacitetsplanering, Signal- och trafikstyrningssystem	VTI

\* KAJT-relaterat projekt.



## PÅGÅENDE PROJEKT

## Arbeta med kvalitetsmått (ARKA)

Utförare	RISE
Projektledare	Sara Gestrelus, <a href="mailto:sara.gestrelus@ri.se">sara.gestrelus@ri.se</a>
Övriga projektdeltagare	Jonas Andersson, RISE
Beställare	Carl-Magnus Kälvestam, Trafikverket.
Tidsperiod	2023-2025
Omfattning (total)	1 MSEK
Projekttyp	Forskningsprojekt
Forskningsområde	Taktisk kapacitetsplanering, Människan, Digitalisering och Automation.
Hemsida	

### Mål

Projektets syfte är att möjliggöra god och ändamålsenlig användning av kvalitetsmått för olika tidtabellsaspekter vid planering och analys. Projektmålet är att skapa kunskap om vilka kvalitetsmått som är användbara för planerare/analytiker, samt hur dessa kan användas.

### Huvudsakliga aktiviteter

Huvudsakliga aktiviteter i projektet är:

- **Behovsanalys:** möten och workshoppar med relevanta personer och grupper för att förstå verksamheten och planeringsuppgiften. Urval av mått att fokusera på. Listan av möjliga mått kommer från det tidigare forskningsprojektet Tidtabellskvalitet (TTK).
- **Iterativ design av planeringsverktyg:** Framtagande av koncept och visualiseringar med ökande detaljgrad i samarbete med tänkta användare, s.k. ”participatory design”.
- **Utvärdering och analys av designförslag:** Utvärderingen sker parallellt med designen. Utvärderingen kan ske genom heuristik och riktlinjer för god användarvänlighet, men också genom att ta med designförslagen till en bredare grupp användare som får ge input och idéer till nästa steg i processen.
- **Resultatspridning:** Projektet kommer producera en slutrapport, samt om lämpligt en konferensartikel. Projektet kommer också göra presentationer för medverkande och intressenter på Trafikverket.

### Forskningsbidrag

ARKA bidrar till ökad kunskap om hur planerare och analytiker kan använda sig av kvalitetsmått under arbetet med att ta fram en tidtabell. Projektet tar också fram förslag på hur kvalitetsmått kan implementeras i ett beslutsstöd.

### Nytta för beställare

ARKA kommer ta fram bra och, framförallt, användbara kvalitetsmått. Bra och användbara kvalitetsmått ger en ökad förmåga att skapa tidtabeller där olika aspekter beaktas, såsom teoretisk körbarhet, robusthet och återställningsförmåga, konkurrenshantering, reservkapacitet, och ansökningsupplynning. Gemensamma mått gör också tidtabellsplaneringen mer enad.

### Rapporter

Inga publicerade rapporter än.

**Närmast relaterade KAJT-projekt**  
Tidtabellskvalitet (TTK).

## Automatiserad analys & klassificering av förseningsorsaker i järnvägssystemet (ANAKIN)

Utförare	Blekinge Tekniska Högskola
Projektledare	Martin Svensson, martin.svensson@bth.se
Övriga projektdeltagare	Anton Borg, anton.borg@bth.se
Beställare	
Tidsperiod	2022-2024
Omfattning (total)	1,6 MSEK
Projekttyp	Forskningsprojekt
Forskningsområde	Uppföljning och återkoppling
Hemsida	<a href="https://www.bth.se/eng/research/research-areas/industrial-economics-and-management/anakin-about-the-opportunities-and-challenges-of-ai-based-decision-support-for-delay-root-cause-coding/">https://www.bth.se/eng/research/research-areas/industrial-economics-and-management/anakin-about-the-opportunities-and-challenges-of-ai-based-decision-support-for-delay-root-cause-coding/</a>

### Mål

- Att bidra med ett nytt och kompletterande perspektiv i beskrivningen och analysen av nuvarande processer och metoder för orsakkodning samt uppföljning och kvalitetsmätning av denna.
- Att kunna definiera en modell av de initiala bedömningar som görs i ett operativt skede, baserat på en härledning av hur den mänskliga, manuella orsakskodningen görs idag.
- Att göra en bedömning av huruvida det finns förutsättningar i nuläget eller inom överskådlig framtid för att använda AI-baserade metoder för att stödja någon del av processen kring orsakskodningen.

### Huvudsakliga aktiviteter

Under 2022 samt första kvartalet av 2023 arbetar gruppen med en lägesbeskrivning och problematisering av aktuellt kunskapsläge. Detta sker genom en översyn av aktuell forskning, genom insamling av organisatorisk dokumentation såväl som genom intervjuer med domänexperter. Parallellt med lägesbeskrivningen samlas systemdata in och analyseras explorativt med syfte att undersöka möjligheterna, i nuläget och framgent, att använda AI-baserade metoder i orsakskodningsprocessen.

### Forskningsbidrag

Vi avser utforska på vilket sätt delar av den manuella orsakskodningsprocessen kan kompletteras, alternativt ersättas, med automatiska maskininlärningsmetoder och hur den i så fall skulle kunna användas i en beslutstödande roll i verksamheten.

### Nytta för beställare

Det genomförda projektet förväntas generera positiva värden för enskilda anställda såväl som för organisationen. En genomlysning av orsakskodningsprocessen bidrar till identifiering av möjligheter/begränsningar gällande semi-automatiska beslutsstödsystem. Det vill säga, vilka moment i orsakskodningsprocessen kan/bör kompletteras med automatiska maskininlärningsmetoder. Det genomförda projektet förväntas därmed bidra till förbättrade arbetsvillkor genom att förtydligande av orsakskodningsprocessen m.h.a. inslag av standardisering, minska arbetsbelastning i en redan tidskritisk miljö och på sikt förbättra precision i beslut



## **Rapporter**

Inga publicerade rapporter än.

## **Närmast relaterade KAJT-projekt**

UFTB, FelOp, Human-Auto, Pilot C-DAS, STÅNDPUNKT, PUMPS

## Banarbetsprocess och datatillgång, del 2 (BANDAT2)

Utförare	Lunds universitet
Projektledare	Carl-William Palmqvist, <a href="mailto:carl-william.palmqvist@tft.lth.se">carl-william.palmqvist@tft.lth.se</a>
Övriga projektdeltagare	Daria Ivina, Lunds universitet Tomas Lidén, Linköpings universitet
Beställare	Marika Gjerdrum, Trafikverket
Tidsperiod	2022-2024
Omfattning (total)	1 MSEK
Projekttyp	Doktorandprojekt
Forskningsområde	Underhåll och trafik

### Mål

- 1) Fortsätta arbetet som påbörjats i BANDAT med att undersöka data/information som finns att tillgå i olika delar av banarbetsplaneringen, vilka glapp som eventuellt behöver åtgärdas, samt hur dessa glapp kan åtgärdas.
- 2) Analysera besiktningsanmärkningar och samband med uppkomna infrarelaterade fel för att understödja Trafikverkets besiktningsarbete.

### Huvudsakliga aktiviteter

Projektet har två huvudsakliga delar: 1) Daria Ivina skriver disputerar med en avhandling som täcker BANDAT och BANDAT2. 2) En studie där historiska besiktningsdata, infrastrukturfel och åtgärder analyseras tillsammans. Fokus är komponenter (spår, kontaktledning, spårväxlar och signaler) där både inspektioner, fel och förseningar är vanliga. Vi kopplar samman besiktningsanmärkningar, eventuella fel, och eventuell åtgärd, för att se i vilken omfattning underhåll sker (eller inte sker) i tid, innan ett trafikpåverkande fel uppstår, och vad konsekvenserna blir när sådana fel uppstår.

### Forskningsbidrag

Projektet ökar kunskapen om besiktningsverksamheten, som sällan relativt sällan studerats i forskningen. Några frågeställningar är: Upptäcks fel av besiktningar? Uppstår fel trots att det finns/saknas besiktningsanmärkning? En koppling görs till tidigare studier i BANDAT med banarbets- och banunderhållsplanerna och till avvägningen mellan förebyggande och avhjälpande underhåll. En avhandling försvaras, och minst en journalartikel publiceras.

### Nytta för beställare

Projektets resultat ger ny kunskap som bidrar till att effektivisera planering av underhållsåtgärder och besiktningsverksamheten. Resultaten förväntas i sin tur bidra till att effektivisera banarbetsprocesserna i Sverige, inte minst med avseende på underhållsfönster och anpassningar till TTR, men även avseende incitament och avtalsstrukturer gentemot basunderhållskontrakt. Projektet kopplar väl och bidrar direkt med kunskap till Trafikverkets handlingsplan på området, inte minst avseende punkterna: Mätning/uppföljning av tider i spår, Servicefönster, samt Incitament i kontrakten för minskat behov av tid i spår.

### Rapporter

Inga publicerade rapporter än.

**Närmast relaterade KAJT-projekt**  
BANDAT, SATT-BP.

## Betydelsen av styva tidtabeller för anslutningstrafik (BASTA)

Utförare	VTI och Linköpings universitet
Projektledare	Emanuel Broman, emanuel.broman@vti.se
Övriga projektdeltagare	Anders Peterson, Linköpings universitet
Beställare	Lars Stenegard, Trafikverket
Tidsperiod	2021-2023
Omfattning (total)	1,0 MSEK
Projekttyp	Forskningsprojekt
Forskningsområde	Strategisk kapacitetsplanering
Hemsida	-

### Mål

Vid tidtabellkonstruktion för järnvägen måste en avvägning göras mellan å ena sidan regionalstågens behov av taktfasta tidtabeller och de möjligheter som uppstår till fler och bättre tåglägen för övrig tågtrafik vid avsteg från taktfasta tidtabeller. För att göra rätt avvägning krävs att skillnaden i nytta mellan olika tidtabellalternativ kan uppskattas. Uppskattningar går att göra för den långväga (kommersiella) trafiken, då resenärnyttan går att härleda utifrån biljettpriiser med ett jämförelsevis mindre mått av osäkerhet. Viss kunskap finns också om direkta effekter såsom skillnader i väntetid för regionalstågstrafikens egna passagerare, men mindre är känt om de andrahandseffekter som kommer av påverkan på anslutande kollektivtrafik. Argument har framförts för att de senare kan vara betydande.

I regioner som till exempel Östergötland, där regionalstågstrafiken har stor betydelse, anpassas tidtabeller för bland annat innerstadsbussar och spårvagnar för att korta bytestider med tåg. Stora resandemängder med dessa transportslag gör att tidtabellsförändringar, såsom avsteg från styva tidtabeller, potentiellt kan ha stor samhällsekonomisk påverkan. En större förståelse av storleken på sådana effekter är därför nödvändig för att kunna göra rätt avvägning mellan regionalstågen och långdistanstrafikens behov på stambanorna.

*Projektet ska, baserat på samhällsekonomiska beräkningsmetoder, resultera i ett mått på värdet av taktfasta tidtabeller i regionalstågstrafiken, samt en jämförelse med värdet för andra trafiksegment av avsteg från taktfasta tidtabeller genom bland annat kortade restider.*

### Huvudsakliga aktiviteter

En intervjustudie syftar till att samla in kunskap om planeringsförutsättningarna för anslutande kollektivtrafik. I första hand kommer planerare på en deltagande regional kollektivtrafikmyndighet att ingå. Därefter produceras en samhällsekonomisk kalkyl för att värdera nyttan av olika tidtabellalternativ. Ett antal olika exempel formuleras på hur avvägningen mellan olika trafiksegments önskemål kan göras, och vilka resultat dessa får. Utifrån dessa resultat formuleras slutsatser om hur trafikplanerare bör förhålla sig till önskemål om taktfasta tidtabeller.

### Forskningsbidrag

Forskningsbidraget är ett mått på värdet av taktfasta tidtabeller i regionalstågstrafiken.

### Nytta för beställare

Trafikverket får underlag för att göra en samhällsekonomiskt effektiv avvägning mellan fjärr- och regionalstågs behov i fråga om taktfasta tidtabeller. Regionalstågstrafiken får en analys över hur anslutande kollektivtrafik bäst kan anpassas till regionalstågens tidtabeller.

**Resultat**

Resultat ännu ej redovisade.

**Rapporter**

Inga publicerade rapporter ännu.

**Närmast relaterade KAJT-projekt**

SamEff, TTK



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

Utförare	Linköpings universitet (LiU), Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI)
Projektledare	Christiane Schmidt, <a href="mailto:christiane.schmidt@liu.se">christiane.schmidt@liu.se</a>
Övriga projektdeltagare	Rabii Zahir, <a href="mailto:rabii.zahir@liu.se">rabii.zahir@liu.se</a> , LiU Tomas Lidén, <a href="mailto:tomas.liden@liu.se">tomas.liden@liu.se</a> , LiU Jan Andersson, <a href="mailto:jan.andersson@vti.se">jan.andersson@vti.se</a> , VTI Gunilla Björklund, <a href="mailto:gunilla.bjorklund@vti.se">gunilla.bjorklund@vti.se</a> , VTI
Beställare	Magnus C. Johansson, Trafikverket
Tidsperiod	2021-2024
Omfattning (total)	3,4 MSEK
Projekttyp	Doktorandprojekt
Forskningsområde	Planering av transportnätverk, fordon och personal
Hemsida	<a href="https://weber.itn.liu.se/~chrsc91/projects/CAPMO-Train/">https://weber.itn.liu.se/~chrsc91/projects/CAPMO-Train/</a>

### Mål

Övergripande mål med detta projekt är att göra det möjligt för Trafikverket att automatiskt hitta kostnadseffektiva och säkra tågklarerarskift och att operativt kunna omplanera dessa vid förutsebara men stokastiskt varierande händelser.

### Huvudsakliga aktiviteter

Litteraturstudie, hitta mått för arbetsbelastningen för tågklarerare och tröskelvärdena avseende för hög och för låg arbetsbelastning, kartlägga operativa och juridiska restriktioner för tågklarerares arbetsskift och möjliga mål för skiftplanering, design av ett optimeringsramverk som kommer ta hänsyn till alla operativa och juridiska restriktioner, studera effekterna av förutsebara men stokastiskt varierande händelser på tågklarerarens arbetsbelastning och integration av dessa effekter i optimeringsramverket.

### Forskningsbidrag

Ett optimeringsramverk för arbetsskiftet av tågklarerare som tar hänsyn till juridiska och operativa krav och tågklarerarens arbetsbelastning.

### Nytta för beställare

Projektet kommer att ge insikt i både tågklarerares arbetsbelastning och möjligheter till förbättrad skiftplanering jämfört med dagens skiftplaneringsprocess: i övre (och nedre) gränser för önskvärd arbetsbelastning (från BelOpt projektet) och deras användning i planering, i hur arbetsbelastningen automatiskt kan inkluderas i skiftplanering, i möjlig ineffektivitet av den nuvarande skiftplaneringen jämfört med den optimerade skiftplaneringen, i hur skiftplaner bör ändras med hänsyn till förutsebara men stokastiskt varierande händelser som t.ex. dåligt väder och i hur planeringen kan automatiseras.

### Resultat

Vi har integrerat operativa och juridiska restriktioner för schemalaggnings av tågklarerare som vi tog fram både från affärsverksavtalet och två intervjuer med tre operativa experter från Trafikverket i vår optimeringsmodell. Vi har kört experiment med anonymiserade data om

geografiska områden och tagit fram initiala resultat för skiftplaneringen för en dag. Vi har beskrivit vår modell och experimenten på artificiella indata för ett konferensbidrag – där vi förenklar och approximerar arbetsbelastningen genom antal tågrörelse. Vi har även kört experiment med data från Trafikverket.

### **Rapporter**

Tomas Lidén, Christiane Schmidt, and Rabii Zahir: Shift Scheduling for Train Dispatchers, Abstract, *Swedish Transportation Research Conference 2022*.

Tomas Lidén, Christiane Schmidt, and Rabii Zahir: Shift Scheduling for Train Dispatchers, *To appear in RailBelgrade 2023*.

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

FelOp, BelOpt, Decision support for railway crew planning

## Framtida KAJT-Foi kopplat till C-DAS och Digital graf (C-DAS Foi)

<b>Utförare</b>	RISE
<b>Projektledare</b>	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a>
<b>Övriga projektdeltagare</b>	
<b>Beställare</b>	Therese Angel, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2022–2023
<b>Omfattning (total)</b>	0,4 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Förstudie
<b>Forskningsområde</b>	Signal- och trafikstyrningssystem

### Mål

Projektet är en förstudie för att utreda behov av framtida forskning, innovation och demonstration som behövs kopplat införande av C-DAS inklusive dess samverkan med Digital graf. Av speciellt intresse är hur C-DAS-foi och demonstration kan kopplas till Europe's Rail. Förstudien ska resultera i en förankrad beskrivning av forskningsbehovet i området med beskrivningar av olika delområden samt hur de kan kopplas mot Europe's Rail.

### Huvudsakliga aktiviteter

I projektets huvudsakliga aktiviteter ingår:

- Nulägesbeskrivning
- Beskrivning och prioritering av relevanta forskningsområden
- Workshop med sakkunniga
- Förberedande arbete inför EU-RAIL

### Forskningsbidrag

Projektet kan ses som en förstudie för att bereda väg för framtida forskning kopplat till C-DAS. Projektets viktigaste frågeställningar är:

- Hur kan forskning stötta pågående utvecklingen i Sverige gällande C-DAS och Digital graf? Vilken forskning ska prioriteras?
- Vilken foi kopplat till C-DAS ska Trafikverket driva inom Europe Rail?
- Vilka möjligheter till demonstratorer finns inom området, speciellt kopplat till Europe Rail?
- Finns möjligheter till relevant datainsamling för framtida analys och forskning?

### Nytta för beställare

På 1-3 års sikt kan projektet ge vägledning för inom vilka områden foi-verksamhet bör bedrivas, inte minst inom EU-RAIL.

### Närmast relaterade KAJT-projekt

Fr8Rail II WP4, PUMPS, Motional

## Kapacitet i nätverk 2 (KAIN 2)

<b>Utförare</b>	KTH
<b>Projektledare</b>	Ingrid Johansson, injohans@kth.se
<b>Beställare</b>	Magnus Backman, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2021–2024
<b>Omfattning (total)</b>	2,2 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Forskningsprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Strategisk kapacitetsplanering

### Mål

KAIN 2 syftar till att förbättra metoderna som utvecklades i KAIN för beräkning av kapacitetsutnyttjande för stationer, linjer och kombinationen av dem. Genom att utveckla en gradering av resultatet, och i en fallstudie beräkna kapacitetsutnyttjandet för hela järnvägsnätet, så ökar kunskapen om såväl kapacitetsutnyttjandet i aktuell tidtabell som den underliggande infrastrukturens kapacitetsbegränsningar. I slutändan leder detta till att infrastrukturen kan utnyttjas bättre.

### Huvudsakliga aktiviteter

Metoden från KAIN kommer att vidareutvecklas och förbättras genom implementering av alternativa spårval på stationer, koppling av vändande tåg och hantering av enkelspår. Metoden valideras därefter och en analys av befintligt kapacitetsutnyttjande av stationer och linjer utförs. Ett sätt att gradera det beräknade kapacitetsutnyttjandet ska tas fram och en visualisering av resultatet ska utföras. Arbetet kommer fortsättningsvis huvudsakligen att utföras av en doktorand och planeras leda till två vetenskapliga publikationer och licentiatexamen för doktoranden.

### Forskningsbidrag

Projektet syftar direkt till att förbättra kapacitetsberäkningarna. Metoden kan användas för att analysera såväl den befintliga infrastrukturens kapacitetsutnyttjande – tidtabellsberoende eller för den specifika tidtabellen – som för att undersöka vad en förändrad infrastruktur och/eller tidtabell skulle ge för effekt på kapacitetsutnyttjandet. Därmed kan metoden ge underlag till diskussioner om infrastrukturplanering och till planering av större förändringar av trafikeringen.

### Nytta för beställare

Förbättrade kapacitetsberäkningar kan ge positiva effekter som bättre punktlighet och förutsägbarhet för Trafikverket, järnvägsföretagen och kunder (resenärer och godstransportköpare).

Mer konkret kan Trafikverket genom projektet få 1) mer exakta uppskattningar av kapacitetsutnyttjandet, 2) ett fortsatt engagemang i metoder för kapacitetsberäkningar, samt 3) koppling till utbildning vid KTH inom järnvägsanalys.

### Resultat

Projektet startade i september 2021 men redan före formell projektstart utfördes arbete 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 var 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 samt på Transportforum 2022.

Under 2022 har samarbete inletts med Atieh Kianinejadoshah, doktorand vid Sapienza University of Rome, i samband med att hon gästade Linköpings universitet april-september 2022. Atieh arbetar också med kapacitetsanalys av järnvägsstationer och linjeavsnitt. Arbetet pågår med en gemensam vetenskaplig artikel där våra respektive metoder tillämpas på italiensk infrastruktur och resultaten jämförs.

Diskussion och planering för att delta i EU-Rail FA1 WP6 pågår. Specifikt så finns en underuppgift i arbetspaketet som handlar om strategisk stationsplanering inklusive kapacitetsanalys, där metoden från KAIN 2 passar bra att tillämpa.

Under 2022 har projektets planering förändrats i samråd med beställaren. Projekttiden har förlängts med ett år och en doktorand (licentiat) har rekryterats för att vara huvudutförare av projektet med start i januari 2023.

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

## **Rapporter**

### **Konferensartiklar**

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

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

Johansson, I., Strategisk kapacitetsanalys av järnvägsstationer. Transportforum, Linköping, 2022.

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

KAIN, PLASA, PLASA 2.

## KKA-matrisen som stöd vid händelseutredningar och beslutande om åtgärder inom operativ tågtrafikledning (KKA-matrisen)

<b>Utförare</b>	Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI)
<b>Projektledare</b>	Gunilla Björklund, <a href="mailto:gunilla.bjorklund@vti.se">gunilla.bjorklund@vti.se</a>
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Jan Andersson, VTI
<b>Beställare</b>	Pelle Thorén, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2022-2024
<b>Omfattning (total)</b>	1,1 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Forskningsprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Människan, digitalisering och automation

### Mål

Syftet med projektet är att vidareutveckla den KKA-matris (Kommunikation-Kompetens-Arbeitsbelastning) som togs fram i projektet FelOp. I detta projekt kommer även matrisens funktionalitet att testas, dels i kommande utredningar av både allvarliga händelser och övriga händelser i samband med tågtrafikledning, och dels vid analys och åtgärdshantering efter inträffade sådana händelser. Säkerhetskultur och attityd till säkerhetsarbete kommer också att vara i fokus. Med händelser menas här avvikelser, tillbud och olyckor.

Målet är att KKA-matrisen ska ge bättre stöd för identifiering av bakomliggande orsaker och formulerande av åtgärder än de metoder som idag finns inom Trafikverket gällande utrednings- och analysarbete inom tågtrafikledning.

### Huvudsakliga aktiviteter

- Litteraturöversikt.
- Diskussioner och intervjuer kring KKA-matrisen med olika aktörer (främst analysgruppen) som ingår i utredningsprocessen och i övrigt analys- och åtgärdsarbete. Detta för att vidareutveckla matrisen och göra den redo att testas i verkligheten.
- Test och justering av matrisen i samband med händelseutredningar och analysarbete.
- Studera säkerhetsklimatet på en utvald trafikcentral.

### Forskningsbidrag

Metodutveckling kring hur bakomliggande orsaker till oönskade händelser inom operativ tågtrafikledning kan identifieras, klassificeras och åtgärdas.

### Nytta för beställare

En vidareutveckling av KKA-matrisen förväntas ge Trafikverket (utredare, analysgrupp med flera) verktyg att identifiera bakomliggande orsaker så att ändamålsenliga åtgärder kan genomföras. KKA-matrisen kommer testas praktiskt i verksamheten, men vi kommer i detta arbete inte ta ställning till vilken typ av insatser Trafikverket bör göra. Däremot kommer vi leverera en lista med en grov indelning av potentiella åtgärder utifrån KKA-matrisen med syfte att ge operatören så bra förutsättningar som möjligt att utföra sina uppgifter.

### Närmast relaterade KAJT-projekt

FelOp, Traffic Management Services X2R-4, CAPMO-Train



## Kritiska störningar och punktlighet (Tidpunkt)

Utförare	RISE
Projektledare	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a>
Övriga projektdeltagare	Zohreh Ranjbar
Beställare	Soli Liu-Viking, Trafikverket
Tidsperiod	2022–2023
Omfattning (total)	1,4 MSEK
Projekttyp	Forskningsprojekt
Forskningsområde	Uppföljning och återkoppling

### Mål

Projektet bygger vidare på de positiva resultaten från de tidigare KAJT-projekten SPRIDA, UTSPRIDD och STÅNDPUNKT, där de nya mätetalen *Förseningsbidrag* och *Kritiska händelser* har utvecklats och verifierats. Projektets huvudsakliga mål är att komplettera metoderna genom hänsyn till kompletterande information och prediktion; vidareutveckla demonstratorn för att användas i kontinuerlig uppföljning och utvärdering av trafikutfall under aktuella tidsperioder.

### Huvudsakliga aktiviteter

Arbetet i projektet kan delas upp i två huvudområden. Det första är att göra Trafikverksnära uppföljningar av *förseningsbidrag* och *kritiska händelser* för persontåg och göra nödvändig vidareutveckling av demonstratorn för att fånga upp nyckelinformation och trender så att tillämpligheten vid Trafikverket ökar. Det andra området är dels att vidareutveckla metodiken fånga upp samband med till exempel väder och kapacitetsutnyttjande, och dels att ”ta hem kunskap” om vad man kan lära sig av resultaten, vilka faktorer som påverkar och hur man kan dra slutsatser som förbättrar punktligheten.

### Forskningsbidrag

De nya begreppen *Förseningsbidrag* och *Kritiska händelser* ger på ett nytt sätt möjlighet att identifiera samband mellan störningar och punktlighet, specifikt att hitta orsaker till att tåg opunktliga. Detta projekt ska hitta samband mellan påverkande faktorer och de studerade mätetalen och höja TRL-nivåer.

### Nytta för beställare

På 1–3 års sikt kan projektet ge viktig kunskap till TTT:s arbete för att öka punktligheten i järnvägssystemet samt analysverktyg för ökad kunskap om samband mellan störning och punktlighet.

På 5–10 års sikt kan Trafikverket få verktyg för operativ prioritering, återkoppling i tidtabellläggning och prioritering av underhållsåtgärder, allt i syfte att öka punktligheten.

### Resultat

Under 2022 har projektet vidareutvecklat datahanteringsprocesser så att det framtagna analysverktyget på ett enklare sätt kan kompletteras med nya data, t.ex. månadsvis. Verktyget har även vidareutvecklats och använts för månatliga och årliga sammanställningar av punktlighet. Projektet bidrog med allt dataunderlag i TTT:s årsrapport för 2022.

### Närmast relaterade KAJT-projekt

UTSPRIDD, SPRIDA, Ståndpunkt, MIST, MIST 2, Nypunkt, Nypunkt 2.0

## Maskinlärningsbaserat beslutstöd för tågtrafikledning vid störningar: En experimentell studie (MATRIX)

Utförare	Blekinge Tekniska Högskola
Projektledare	Sai Prashanth Josyula <a href="mailto:sai.prashanth.josyula@bth.se">sai.prashanth.josyula@bth.se</a>
Övriga projektdeltagare	-
Beställare	Jörgen Frohm och Magnus Kroon, Trafikverket
Tidsperiod	2023-2024
Omfattning (totalt)	0,78 MSEK
Projekttyp	Förstudie
Forskningsområde	Operativ kapacitetsplanering, Trafikinformation och störningshantering,
Hemsida	<a href="http://www.bth.se/matrix">www.bth.se/matrix</a>

### Mål

Vid järnvägsstörningar är det viktigt att effektivt prioritera tåg, lösa potentiella konflikter i tågtidtabellen och snabbt komma fram till en omlagd tidtabell enligt infrastrukturförvaltarens mål. För närvarande hanteras denna uppgift manuellt av trafikledare. Maskinlärning (ML)-baserade tillvägagångssätt har visat sig fungera bra i många problemområden för att hantera komplexa schemalägningsproblem och har fått anmärkningsvärd uppmärksamhet under de senaste åren. Huvudmålet med detta projekt är:

- att utforska de möjligheter som nya ML-algoritmer kan erbjuda tågtrafikdomänen, och
- att ge värdefulla insikter om att införliva ML vid omläggning av tågtrafik vid störningar.

Huvudmålen är: (i) att modellera konfliktlösningen i en tågtidtabell med hjälp av ML och artificiell träningsdata, och (ii) att ta fram en ML-modell för datadrivet beslutsfattande för att lösa potentiella konflikter i en tågtidtabell under omläggning, och att bedöma modellens genomförbarhet och effektivitet.

### Huvudsakliga aktiviteter

Huvudaktiviteterna som ingår i MATRIX-projektet är följande:

- *formulera* det problem som hanteras i termer av maskinlärning genom att definiera modellens mål och det ideala resultatet, och de mått som indikerar framgång.
- *samla in och förbereda* en träningsdatauppsättning med hjälp av simulerade störningsscenarier.
- *omvandla* rådata och konstruera dem till användbara funktioner.
- *välja* en lämplig inlärningsalgoritm samtidigt som utdatamodellens tolkningsbarheter och dess noggrannhet beaktas.
- *trimma* inlärningsalgoritmen för att komma fram till en lämplig ML-modell och bedöma kvaliteten på de omplanerade tidtabellerna som erhållits genom att följa modellens förslag.
- *undersöka* ML-modellens tolkningsbarhet.

### Forskningsbidrag

Projektets huvudsakliga bidrag består i nya värdefulla insikter om fördelarna och utmaningarna med att utveckla ML-baserade metoder för att omplanera tågtrafiken närhelst potentiella konflikter identifieras. ML-modellen som blir resultatet av projektet kan också användas som en byggsten i framtida ML-forskningsprojekt som handlar om intelligenta beslutstödssystem för effektiv tågomläggning. Två andra förväntade bidrag från projektet är:

- en kurerad utbildningsdatauppsättning och en uppsättning funktioner, som kan återanvändas i framtida ML-projekt (i ett svenskt sammanhang) som hanterar liknande

problem,

- en bedömning av lämpligheten av olika ML-algoritmer i samband med vårt omlägningsproblem.

### **Nytta för beställare**

Detta projekt fokuserar på att bidra till Trafikverkets målområde " Effektivare hantering av störningar " genom att utveckla metoder och komplettera befintlig kunskap om att effektivt hantera järnvägsstörningar genom att utforska de möjligheter som ML erbjuder i detta sammanhang. De insikter som projektet resulterar i förväntas ge Trafikverket en djupare förståelse för prestandan och tolkningsbarheten hos beslutsstödssystem för tågkonfliktlösning som använder ML.

ML-modellen som är resultatet av projektet kommer att ha lärt sig att lösa potentiella konflikter i en tågtidtabell, särskilt på den infrastruktur som används för att träna den (Karlskrona–Malmö), för att få en omlagd tidtabell i linje med IM:s mål. I framtiden kan den här typen av modell göras för att fånga omlägningspreferenserna hos en mänsklig beslutsfattare, t.ex. trafikledaren, när de interagerar med den.

### **Rapporter**

Inga publicerade rapporter än.

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

BLIXTEN II, BLIXTEN, FLOAT

## Mindre Störningar i Tågtrafiken – Plattformsåtgärder (MiST Plattform)

Utförare	Lunds universitet
Projektledare	Johan Rahm, <a href="mailto:johan.rahm@abm.lth.se">johan.rahm@abm.lth.se</a>
Övriga projektdeltagare	Carl-William Palmqvist, Lunds universitet Ruben Kuipers, Lunds universitet
Beställare	Tomas Gustafsson, Trafikverket
Tidsperiod	2022-2024
Omfattning (total)	1,5 MSEK
Projekttyp	Forskningsprojekt
Forskningsområde	Trafikinformation och störningshantering

### Mål

Projektet syftar till att undersöka effekten av åtgärder som sprider ut resenärer jämnare över plattformen, för att därigenom effektivisera resenärsutbyte och minska andelen försenade uppehåll.

### Huvudsakliga aktiviteter

Projektet består av fyra arbetspaket. I AP1 genomförs en litteraturgenomgång avseende tidigare genomförda interventioner. Tillfälliga designinterventioner utformas därefter med input från litteratur, internationell praxis, och workshops med bland annat Trafikverket och Skånetrafiken. Interventionerna kommer att placeras så att personer med funktionshinder inte påverkas negativt, och för att inte öka informationsmängden på plattformen kommer inga skriftliga instruktioner ges och ingen extra skyltning behövas. Projektet beaktar även samverkan med tågförare kring säkerhet och var tåg stannar på plattform.

I AP2 implementeras designinterventionerna och datainsamling sker. En plattform på en station i Skåne studeras under en snöfri del av året, så att inte plattformsunderhåll påverkas. Datainsamling sker genom videofilmning från drönare, för att i efterhand kunna beskriva hur resenärerna placerat sig på plattformarna, och för att utvärdera effekten av interventionerna. AP3 fokuserar på databearbetning, statistisk analys, samt artikelskrivande medan AP4 fokuserar på kunskapsspridning genom publicering av vetenskaplig rapport, samt presentationer och workshops.

### Forskningsbidrag

Plattformsmarkeringar är en konkret typ av trafikinformation som kan användas för att snabba på resenärsutbyten, minska spridningen i uppehållstider, och minska andelen uppehåll som försenas. I förlängningen kan de därmed bidra till en högre punktlighet och utökad kapacitet i systemet. Projektet förväntas bidra till att kvantifiera dessa effekter i en svensk kontext, och bygga kunskap om hur plattformsmarkeringar bör utformas rent praktiskt.

### Nytta för beställare

Efter projektets avslut erhålls en utvärdering av hur plattformsmarkeringar bör utformas och deras potential att bidra till att sprida resenärer jämnare över plattformen, och därigenom effektivisera resenärsutbyte och minska andelen försenade uppehåll. Plattformsmarkeringar är

en enkel och billig lösning med stor potential att kunna implementeras i stor omfattning om de visar sig ha önskad effekt.

### **Resultat**

Projektet startade 2022 och under det gångna året har en litteraturgenomgång genomförts och utformningsförslag av markdekalering tagits fram baserat på litteraturgenomgång, internationell praxis, och en digital workshop med referensgruppen. Vidare har etikprövning gjorts avseende projektets datainsamlingsmetoder och en utvärdering av metoderna påbörjats.

### **Rapporter**

Inga publicerade rapporter än.

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

Mindre Störningar i Tågtrafiken, del 2 (MIST2).

## Människa-automation i framtida samverkan (HumanAuto)

<b>Utförare</b>	Uppsala universitet
<b>Projektledare</b>	Anders Arweström Jansson, anders.arwestrom.jansson@it.uu.se
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Rebecca Cort, Jessica Lindblom & Mikael Laaksoharju, alla Uppsala universitet
<b>Beställare</b>	Jörgen Frohm / Gunnar Bengtsson
<b>Tidsperiod</b>	2021-10-01 – 2024-09-30
<b>Omfattning (total)</b>	2 850 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Forskningsprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Människan, digitalisering och automation

### Mål

Det övergripande målet är att ta fram nytt empiriskt material och med hjälp av det lägga grunden till ett vetenskapligt underlag som Trafikverket kan använda i framtida utvecklingsprojekt där människa-automationssamverkan är en central del. Den exakta formen för detta kan bli alltifrån en bok, flera interna rapporter eller ett informations-material, eller en kombination av dessa. Ett mer specifikt mål är att på plats studera effekterna av nyligen genomförda förändringar för att dokumentera nya arbetssätt som uppstått.

### Huvudsakliga aktiviteter

Fältstudier där kognitiva etnografiska metoder används för att studera arbetspraktikers genomförande, samt litteraturstudier om hur automation som är baserad på maskininlärning bäst kombineras med mänsklig expertis för tillämpning i komplexa tekniska miljöer.

### Forskningsbidrag

Projektet genomförs till största del som ett PostDoc-projekt där Rebecca Cort kommer att fortsätta utveckla sin forskning om de mänskliga bidraget i komplexa tekniska system.

### Nytta för beställare

Syftet är att tydliggöra och framhålla det mänskliga bidragets betydelse i alla former av automationsprojekt som kräver samarbete mellan människa och automation, inkluderat sådan automation som är baserad på maskin- och djupinlärning. Projektet kan närmast beskrivas som en upplysningsresa – det blir alltmer uppenbart att kunskapen om människans bidrag i människa-automationssamverkan är både bristfällig och underskattad.

### Rapporter

Lindblom, J. & Laaksoharju, M. (2022). A roadmap for UX in rail: Changing tracks in train traffic research. In J. Lindblom & C. Österman (Eds.), Conference Proceedings of the 51<sup>st</sup> NES Conference: Work Well – Ergonomics in an unpredictable world. Uppsala: Nordic Ergonomic Society (NES) & Uppsala University, pp. 51-58.

Cort, R. & Lindblom, J. How work gets done in train traffic control: Unravelling the everyday work practices. *Artikeln är omarbetad och inskickad på nytt.*

Cort, R. & Lindblom, J. Sensing the breakdown: Managing complexity at the railway. *Artikeln är omarbetad och inskickad på nytt.*



**Närmast relaterade KAJT-projekt**  
FTTS2, DIALOG samt F-Auto

## Mötesanalys och kanalkänslighet för godståg (MAKK)

<b>Utförare</b>	RISE och Lunds universitet
<b>Projektledare</b>	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a>
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Zohreh Ranjbar, Carl-William Palmqvist
<b>Beställare</b>	Soli Liu-Viking, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2023–2024
<b>Omfattning (total)</b>	0,75 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Förstudie
<b>Forskningsområde</b>	Uppföljning och återkoppling

### Bakgrund

Godståg avviker ofta från sin tidtabellskanal. Det har ofta ansetts att tidiga godståg stör systemet och bidrar till andra tågs opunktlighet. I projekt Ståndpunkt gjordes noggrannare analys ("mötesanalys") av effekter av godståg som avviker från tidtabell och resultat indikerar att operativt nyttjas tidiga tåg för att låta andra tåg få högre prioritet så att de tidiga tågen "smörjer systemet". Däremot gör sena godståg att andra tåg också tappar tid. En slutsats av är att "det är bra för mig om det tåg jag möter är tidigt" (t.o.m. bättre än om det är i rätt tid). Resultaten grundar sig på en fallstudie från "Godsstråket" Mjölby-Luleå under oktober 2019. En naturlig följdfråga är hur tidsavvikande godståg påverkar andra tåg på en bana med annan karakteristik.

Det finns skäl att misstänka att ett tidigt tågs påverkan beror på många andra omständigheter: vilket stråk, vilken tid på dagen och vilka andra tåg som samtidigt trafikerar stråket. Följaktligen kan en "kanalkänslighetsindikator" för varje (gods)tågläge vara till gagn för att avgöra om hur viktigt det är att ett godståg ligger nära sin tidtabellskanal, eller om det t.o.m. är bra för systemet om godståget ligger före kanalen (så att tåget kan nyttjas för att prioritera andra tåg).

### Huvudsakliga aktiviteter

Projektets huvudsakliga aktiviteter är att:

- Generalisera metodiken för mötesanalys så att den kan hantera dubbelspår, förbigångar och att snabba tåg "fastnar" bakom långsammare tåg.
- Genomföra fallstudie med den generaliserade mötesanalysen på bana med dubbelspår och blandad trafik (t.ex. Södra Stambanan).
- Föreslå metodik för beräkning av "kanalkänslighetsindikator" för att kunna identifiera vilka tåg som det är extra viktigt att de ligger i sin tidtabellskanal (och tvärt om).

### Forskningsbidrag

Resultaten från detta projekt förväntas kunna bidra till en *nyanserad bild av tidiga tågs nytta eller när de orsakar problem*. En viktig generaliserbar kunskap i området är de ansatser för kanalkänslighetsindikator som avses studeras i projektet.

### Nytta för beställare

Om de tidiga tågen kan nyttjas rätt kan de vara en stor potential, och tvärt om, om man har bättre kunskaper om när tidiga tåg är olämpliga kan de undvikas vid de tillfällena.

På 1-3 år sikt kan projektet leda till ökande kunskaper om effekter av tidiga tåg.

På 3-5 års sikt kan projektet leda till förändrade och förtydligade hanteringsregler rörande tidiga godståg.

**Närmast relaterade KAJT-projekt**  
Ståndpunkt

## PRediktion av AnkomstTider och Avgångar (PRATA)

Utförare	KTH
Projektledare	Behzad Kordnejad, behzad.kordnejad@abe.kth.se
Övriga projektdeltagare	Niloofer Minbashi, KTH
Beställare	Magnus Wahlborg
Tidsperiod	2021-2023
Omfattning (total)	1,7 MSEK
Projekttyp	Doktorandprojekt
Forskningsområde	Järnvägens sidosystem och koppling till järnvägsnätet

### Mål

Projektet utgör en fortsättning på metodutveckling som startades i forskningsprojektet FR8HUB WP3 och syftar till att förbättra prediktion av ankomst- och avgångstider för godståg med hjälp av maskininlärning och statistiska metoder applicerat på stora datamängder med tillgängliga trafikdata. I projektet ingår också att visa på potentialen för nyttgörande 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.

### Huvudsakliga aktiviteter

I projektet ingår följande aktiviteter:

- Dialog och samverkan med projektets mottagare hos Trafikverket och svensk järnväg.
- KTH har ett eget säkerhetsansvar för frågor kopplat till säkerhet till exempel trafikdata. Trafikverket och KTH säkerställer tillsammans att säkerheten sköts på ett korrekt sätt. Aktiviteten är löpande och pågår under hela projektet.
- Vidareutveckla existerande metod för förseningsprediktion för avgångstider baserad på en analytisk metod.
- Vidareutveckla statistisk metod för prediktion av ankomst- och avgångstider baserat på maskininlärning och korsvalidering för parameteroptimering
- Förbättra metodens tillämpbarhet genom att möjliggöra inläsning från fler dataformat och plattformar.
- Undersöka tillämpbarheten för lös integrering med existerande simulerings- och optimeringsmetoder. Vi syftar främst till att integrera en modell för prognoser för godsbangårdar, baserad på maskininlärning med en makroskopisk nätverkssimuleringsmodell (PROTON). Resultaten från integrationen kommer att göra det möjligt för oss att förutsäga ankomsterna till nästa bangård.

Experimentell utvärdering av metoden genom testning på utvalda trafikdata.

### Forskningsbidrag

Nya metoder för analys och prediktion av avgångs- och ankomsttider för godstrafik baserad på stora datamängder.

## **Nytta för beställare**

Godståg påverkar övrig trafik, och ny kunskap om prediktion av ankomst- och avgångstider för dessa är därmed en grundförutsättning för ökad punktlighet i järnvägstrafiken som helhet. Ny kunskap och metodik för kapacitetsanalys för järnvägsnätet kommer tas fram, och nyttoaspekter innefattar dels en direkt koppling till kapacitetsanalys, dels återutnyttjande av förseningsfördelningar i till exempel mikro- eller makrosimulering. Ytterligare en positiv sidoeffekt är ökad kunskap om kapacitet i noder och bangårdar. En demonstration av utvecklad metodik är tänkt att göras i slutet av projektet. Projektet bidrar också till en automatisering och ökad digitalisering av kapacitetsanalys.

## **Resultat**

Detta projekt föreslår två nya maskininlärningsbaserade koncept för att öka godsbangårdens förutsägbarhet. Den första är en tillämpning av ett ramverk för maskininlärningsstött makrosimuleringsmodell för att öka förutsägbarheten av godsbangårdens avgångar och ankomster, vilket har visat lovande resultat för linjen mellan Malmö- och Hallsberg. Det andra konceptet är en tillämpning av en simuleringsassisterad maskininlärningsmodell för förutsägelse av avgång från godsbangård, som har visat lovande resultat i en benchmarkstudie mellan den europeiska och den nordamerikanska godsbangårdskontexten.

## **Rapporter**

FR8RAIL III Deliverable 2.1, (2021) Specification of Innovations and Scenarios for Enhanced and Integrated Line- and Yard Planning

FR8RAIL III Deliverable 2.2, (2022) Method development for enhanced and integrated line- and yard planning. Deliverable D2.2 from project FR8RAIL III

FR8RAIL III Deliverable 2.3, (2022), Demonstration of enhanced and integrated line- and yard planning and possibilities for implementation

Minbashi, N., Zhao, J., Dick, C. T., Bohlin, M. (2023). Application of simulation-assisted machine learning for yard departure prediction. Accepted for presentation at the 10th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA). RailBelgrade 2023

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.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210970621000159>

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.

<https://www.hindawi.com/journals/jat/2021/3538462/>

Minbashi, N., Sipilä, H., Palmqvist, C. W., Bohlin, M., & Kordnejad, B. (2023). Machine learning-assisted macro simulation for yard arrival prediction. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 25, 100368.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210970622000683>

## **Närmast relaterade KAJT-projekt**

FR8HUB, FR8RAIL III WP2

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

<b>Utförare</b>	KTH
<b>Projektledare</b>	Oskar Fröidh, oskar.froidh@abe.kth.se
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Doktorand Johan Högdahl, KTH Gästprofessor Markus Bohlin, KTH
<b>Beställare</b>	Magnus Wahlborg, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2021–2023
<b>Omfattning (total)</b>	1,7 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Doktorandprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Taktisk kapacitetsplanering
<b>Hemsida</b>	<a href="https://www.byv.kth.se/avd/transportvetenskap/forskning/somraden/forskningsprojekt-tagtrafik-och-logistik-1.876591">https://www.byv.kth.se/avd/transportvetenskap/forskning/somraden/forskningsprojekt-tagtrafik-och-logistik-1.876591</a>

### Mål

Syftet med det här projektet är att undersöka hur simulering och optimering kan användas för att analysera och förbättra en given tidtabells robusthet respektive punktlighet. Projektet bygger på tidigare erfarenheter från KAJT-projektet FlexÅter. Målet med detta projekt är att vidareutveckla metoden från FlexÅter för att förbättra dess tillämpbarhet. I projektet ingår forskarutbildning av en doktorand.

### Huvudsakliga aktiviteter

Modell- och metodutveckling, modellvalidering, utvärdering av metodens effekter med fokus på robusthet och punktlighet, jämförelse med andra (optimeringsbaserade) metoder för att förbättra tidtabellsrobusthet, samt utvärdering av metodens skalbarhet. Projektet fokuserar på tidtabellläggning av dubbelspårssträckor. Under kvartal 1 2023 utvecklas en demonstrator för att demonstrera hur projektets metoder kan användas i praktiken.

### Forskningsbidrag

Modell- och metodutveckling inom områdena robust tidtabellsplanering. Storskalig simuleringsbaserad utvärdering av föreslagna metoder och modeller.

### Nytta för beställare

Beställaren kan genom projektet få 1) bättre kontroll över tidtabellens och infrastrukturens påverkan på trafikens punktlighet och förutsägbarhet, 2) metodutveckling inom området mikrosimulering och RailSys, och 3) en demonstrator för att visa på hur projektets metoder kan användas i praktiken.

### Resultat

I projektet har vi vidareutvecklat metoden från FlexÅter för att förbättra en tidtabells robusthet. Specifikt har vi löst två viktiga begränsningar med den tidigare metoden så att det i FlexÅter 2 även går att ändra tågens planerade ordning, och starttiderna för varje enskild avgång kan ändras. Vidare har vi även förslagit en modell för att prediktera resulterande punktlighet när man modifierar en tidtabell. I kombination med optimeringsmodellen kan modellen användas för att maximera predikterad punktlighet.



De föreslagna metoderna för att maximera robusthet respektive punktlighet har utvärderats med RailSys-simulering. I simulering har vi utvärderat effekter med avseende på restid, robusthet och punktlighet. Vi har även utvärderat de föreslagna metodernas skalbarhet samt jämfört dem med två optimeringsbaserade metoder från den vetenskapliga litteraturen. Simuleringsresultaten tyder på att de föreslagna metoderna förbättrar robusthet och punktlighet till priset av något längre restider. Resultaten tyder även på att de föreslagna metoderna är applicerbara på scenarier med ett stort antal tåg. Slutligen verkar de föreslagna metoderna även vara robusta mot felaktiga antaganden om primärförseningsfördelningarna när den givna tidtabellen simuleras.

## Rapporter

Högdahl, J., & Bohlin, M. (2022). A Combined Simulation-Optimization Approach for Robust Timetabling on Main Railway Lines. *Transportation Science*, ePub ahead of print September 9. <https://doi.org/10.1287/trsc.2022.1158>

Högdahl, J. (2022). *Improving Timetable Robustness and Punctuality of Railway Traffic: A Combined Simulation-Optimization Approach for Nonperiodic Timetabling on Double-Track Lines*. TRITA-ABE-DLT-2239. 83 pp. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology. ISBN 978-91-8040-372-6. Doktorsavhandling. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-320765>

Högdahl, J., & Bohlin, M. (2022). *Maximizing Railway Punctuality by Combined Simulation and Timetable Optimization*. Preprint. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-316474>

Högdahl, J., & Bohlin, M. (2023). *Maximizing Railway Punctuality: A Microsimulation Evaluation of Robust Timetabling Methods*. Accepted for the 10th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis, RailBelgrade2023.

## Närmast relaterade KAJT-projekt

FlexÅter, FR8HUB, FR8RAIL3 WP2

## Samplanering av Trafikpåverkande åtgärder och trafik - trafikflöden (SATT-TF)

<b>Utförare</b>	RISE
<b>Projektledare</b>	Martin Aronsson, <a href="mailto:martin.aronsson@ri.se">martin.aronsson@ri.se</a>
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Martin Kjellin, RISE
<b>Beställare</b>	Jonas Bälter, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2022 – 2024
<b>Omfattning (total)</b>	1,9 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Forskningsprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Strategisk kapacitetsplanering, Framtidens transportsystem och trafikefterfrågan

### Mål

SATT-TF vidareutvecklar trafikflödesmodellen och motsvarande metod från det avslutade projektet SATT, Samplanering av trafikpåverkande åtgärder och trafikflöden på järnväg. Målet är att kunna beräkna trafikvolymerna för ett nät motsvarande Sveriges järnvägsnät för ett typdygn med hjälp av transporttjänsteklasser, ett begrepp framtaget i det tidigare projektet TT-JOB, Transporttillgänglighet för järnvägstransporter och banunderhåll. Ambitionen är att höja TRL-nivån för TTK-resultatet från 4 till 6 samt höja TRL-nivån för SATTs beräkningsmodell från 3 till 5, i bästa fall 6. Projektet är nära knutet till det av RNE och FTE initierade projektet TTR, vars syfte är en moderniserad kapacitetstilldelningsprocess.

### Huvudsakliga aktiviteter

Projektet har följande grova indelning i arbetspaket:

- AP 1 omfattar första versionen av Transporttjänsteklasser för svensk järnvägsinfrastruktur, beräknas klar början 2023
- AP 2 omfattar större delen av utvecklingen av beräkningsmodellen i SATT-TF, start 2023. Denna sker i samverkan med TTR Sverige och MVP 6 samt med systerprojektet SATT-BP.
- AP 3 Konsolidering av resultat samt vid behov vidareutveckling av resultatet från AP 1 (drivs av PLnp's respons på AP 1).

Erfarenheter av arbetet i AP2 är viktigt att ta vidare till TTRs utveckling av kapacitetsmodellplattform ECMT, för att påverka TTRs utvecklingsarbete i svensk riktning. AP3 syftar till en kvalitetssäkrad överlämning av resultaten till TTR, både det svenska projektet och vid behov internationellt. AP3 innehåller även presentation, publikation och spridning av de forskningsresultat som förväntas i projektet.

### Forskningsbidrag

Kärnan i beräkningsmodellen, framtagen i det tidigare FoI-projektet SATT, är ett flervaruflöde (multi commodity network flow). Modellen fokuserar på volymer av tågtrafik över tid snarare än faktisk schemaläggning av individuella tåglägen. Volymer av tåglägen beräknas per tidsenhet och representeras som en mängd tåglägen, med grund i transporttjänsteklasserna från TT-JOB (olika typ i olika segment) över ett järnvägsnät. Behov av sådana modeller finns i de tidigare processstegen i kapacitetstilldelningen där fokus bland annat är önskad segmentering av trafik över nät och över tid.

En viktig del av SATT-TFs forskning och utveckling rör representation av kapacitet, lämplig att användas i kombination med volymer av tåglägen från olika transporttjänsteklasser, för tidsperioder och bandelar / linjer. Vidareutveckling av beräkningsmetoden från tidigare projektet SATT är också nödvändig.

### **Nytta för beställare**

SATT-TF bistår projektet TTR Sverige att ta fram de första kapacitetsmodellerna i den av TTR definierade nya kapacitetstilldelningsprocessen för tåglägen. Ett ytterligare syfte är att i TPÅ-processen kunna mäta trafikpåverkan vid avstängningar, enskilt men kanske framför allt kombinationseffekter. SATT-TF möjliggör även de nyttor som den av PLnp initierade PENG-utvärdering av resultaten från TT-JOB visade på.

Resultatet från SATT-TF förväntas ha påverkan på hur kapacitet kan uttryckas i de tidiga skedena av kapacitetstilldelningsprocessen (X-36 till X-3) samt hur nyttjandegraden beräknas bli. En återkoppling blir då möjlig att göra från de uppföljningar av kapacitetsuttaget som Trafikverket gör idag (de s.k. Kapacitetskartorna) gentemot de volymer som beräknats av metoden i SATT-TF.

### **Resultat**

Projektets intensitet har varit låg under 2022, helt enligt plan. Projektet har bidragit till att publicera en rapport som belyser ett alternativt kapacitetsmått för det som i TTR benämns ”Advance planing”, dvs kapacitetsplanering innan ansökan om kapacitet.

### **Rapporter**

Aronsson, M, En not om att mäta kapacitet. RISE rapport 2022:116. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1722644/FULLTEXT01.pdf>

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

SATT-BP, BASTA, TOT, SATT, TTJOB

## Samplanering av trafikpåverkande åtgärder och trafikflöden - banarbetsplanering (SATT-BP)

<b>Utförare</b>	Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI)
<b>Projektledare</b>	Tomas Lidén, <a href="mailto:tomas.liden@vti.se">tomas.liden@vti.se</a>
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Filip Kristofersson, VTI
<b>Beställare</b>	Johan Engsfelt, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2022-2023
<b>Omfattning (total)</b>	2,0 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Forskningsprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Strategisk kapacitetsplanering, Underhåll och trafik,

### Mål

Projektet är en fortsättning på modellstudien SATT, och har följande tre delmål:

1. Implementera en forskningsprogramvara för schemaläggning av trafikpåverkande åtgärder (TPÅ) över ett specifikt produktionsår, inklusive anpassning av nationella trafikflöden.
2. Genomföra och dokumentera en utvärderingsstudie för ettårig TPÅ-planering, i samarbete med Trafikverket.
3. Utveckla en metod för att kunna lösa även det fleråriga planeringsproblemet.

### Huvudsakliga aktiviteter

Programutveckling, fallstudie och utvärdering, modellstudie flerårig planering, koordinering med SATT-TF, slutförande och rapportering.

Som en option kan projektet utökas med ett arbetspaket för medverkan av forskarresurser i en implementationsstudie (under ledning av Trafikverket).

### Forskningsbidrag

Projektet ger ny kunskap om metoder för långsiktig banarbetsplanering och påverkan på trafikflöden över längre tidsperioder.

Ur forskningssynpunkt är frågeställningen mycket intressant eftersom det i dagsläget inte finns några referenser som löser denna typ av långsiktig och övergripande planering.

### Nytta för beställare

Trafikverket har idag problem att överblicka och samordna alla de TPÅ som ska utföras på järnvägssystemet. Projektresultaten kan därför ge stort värde och möjlighet till förbättrad koordinering både vad gäller projektens genomförbarhet och de trafikala effekterna.

Dessa metoder bör på sikt kunna implementeras och nyttjas inom den ekonomiska åtgärdsplaneringen, men även för kapacitetsplanering och internationell samordning, till exempel via TTR (Timetabling and Capacity Redesign).

### Resultat

Projektet startade i januari 2022. Under 2022 har det första arbetspaketet (A1, programutveckling) genomförts och avslutats. Detta innebär att delmål 1 har uppnåtts. Den utvecklade forskningsprogramvaran klarar av att ta fram och strukturera nödvändigt indata från ett antal olika datakällor, samt använda dessa för att schemalägga TPÅ och anpassa trafikflödena efter dessa banarbeten på ett optimalt sätt.

Under 2022 har även merparten av fallstudien (arbetspaket A2) genomförts i samarbete med Trafikverket. Alla stora banarbeten för tågplan T24 på stamnätstriangeln Göteborg-Hallsberg-Lund, har studerats tillsammans med tillhörande omledningsbanor och detaljerade trafikflöden för tre typveckor. Ett par avslutande analyser ska göras med efterföljande presentation för en större referensgrupp på Trafikverket. Därefter kommer fallstudien, erhållna resultat och lärdomar att dokumenteras så att delmål 2 uppfylls.

Planering för den sista delen med metodutvecklingen för flerårig planering har precis påbörjats och kommer att genomföras under första halvan av 2023. Därutöver sker löpande koordinering med systerprojektet SATT-TF.

## **Rapporter**

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

Lidén, T., A Bi-level Approach for Scheduling Railway Renewal Projects. Swedish Operations Research Conference SOAK 2022, Stockholm 2022-10-24 – 25. URL [https://soafse.files.wordpress.com/2022/10/soak\\_2022\\_program-2.pdf#SPEAKER.12](https://soafse.files.wordpress.com/2022/10/soak_2022_program-2.pdf#SPEAKER.12)

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

SATT, SATT-TF, BANDAT.

## Simulatorbaserad utbildning och träning av tågförare (SITUATE)

<b>Utförare</b>	VTI
<b>Projektledare</b>	Niklas Olsson, niklas.olsson@vti.se
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Björn Lidestam, Birgitta Thorslund, VTI
<b>Beställare</b>	Helena Tilander, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2022-2024
<b>Omfattning (total)</b>	3,4 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Doktorandprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Människan, digitalisering och automation
<b>Hemsida</b>	vti.se

### Mål

Doktorandprojektet syftar till att utreda effekterna av simulatorträning för tågförare med särskild inriktning på ERTMS. Projektet har en pedagogisk inriktning där doktorand Niklas Olsson avser utreda vilken effekt som träning i simulatormiljö har för lokförare med olika erfarenhet och utbildning.

### Huvudsakliga aktiviteter

Projektet syftar till att studera hur, i branschen vanligt förekommande, simulatorer kan användas för att utbilda effektiva och trafiksäkra förare med särskild inriktning på ERTMS. Projektet inrymmer, förutom akademiska studier och avhandlingsarbete, effektstudier av förarutbildning liksom en valideringsstudie av VTI:s tågsimulator.

### Forskningsbidrag

Projektet bidrar med ökad kunskap om hur en tågsimulator kan användas inom forskning och vid utbildning av lokförare.

### Nytta för beställare

- Effektivare och trafiksäkrare driftsättning av ERTMS
- Ökad förståelse för hur planerad ibruktagandestrategi för ERTMS påverkar föraren
- Ökad kunskap om hur tågsimulatorer kan bidra till en punktligare järnväg.

### Resultat

Resultat visar att verklig tågkörning inte erbjuder övningsmöjligheter av olika situationer i den utsträckning som är önskvärd för att utveckla praktisk färdighet. En, i Sverige vitt spridd, tågsimulator bör därför användas vid lokförarutbildning för att ge förare möjlighet att i tillräcklig omfattning träna på olika, vid felaktig hantering potentiellt kostsamma, situationer som kan uppstå vid verklig tågkörning.

ERTMS-praktik i simulatormiljö ger mer effektiva och trafiksäkra förare än praktisk träning i verklighet. En starkt bidragande orsak är möjligheten att, i simulatormiljö, repetera de situationer och särfall i den utsträckning man önskar. Resultatet visar även att förare svårigen själv kan bedöma sin praktiska kunskap varför ett simulatortest med fördel kan användas för kunskapsbedömning, exempelvis i samband med examinationer. För att ge förare möjlighet att, med bästa resultat, repetera potentiellt kostsamma särfall bör simulatorutvecklingen följa verklighetens uppgraderingar av ERTMS.



## **Publikationer**

### **Tidskriftsartiklar**

Olsson, N., Lidestam, B., & Thorslund, B. (2021). The practical part of train driver education: Experience, expectations, and possibilities. *European Transport Research Review*, 13(1), 52. <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00506-1>

Olsson, N., Lidestam, B., & Thorslund, B. (2022). Effect of Train-Driving Simulator Practice in the European Rail Traffic Management System: An Experimental Study. *Transportation Research Record*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/03611981221135802>

### **Rapporter**

Olsson, N. (2022). ERTMS-utbildning i simulatormiljö: framgångsfaktorer för en effektiv utbildning. VTI rapport 1118. <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1646536/FULLTEXT01.pdf>

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

Körbarhetsanalyser i tågssimulator, Tågssimulering och ERTMS, TESTER, KAKA

## Simulering med Proton och RailSys (SIMPOR)

Utförare	KTH
Projektledare	Hans Sipilä, mute@kth.se
Övriga projektdeltagare	Mohammad Al-Mousa, Behzad Kordnejad
Beställare	Pär Johansson, Trafikverket
Tidsperiod	2021–2023
Omfattning (total)	1,1 MSEK
Projekttyp	Forskningsprojekt
Forskningsområde	Strategisk kapacitetsplanering
Hemsida	

### Mål

Syftet med projektet är att undersöka hur och för vilka frågeställningar det makroskopiska simuleringsverktyget Proton 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. Proton har utvecklats av DB Analytics inom forskningsprojekten PLASA och PLASA-2.

Ett mer övergripande mål är att metodiken och kunskapen kring Proton ska uppnå en sådan nivå att verktyget i framtiden ska kunna användas av Trafikverket, framför allt i de tillämpningar där simulering på mikronivå med exempelvis RailSys skulle vara tidskrävande, praktiskt komplicerat och/eller orealistiskt att genomföra.

### Huvudsakliga aktiviteter

Till en början består arbetet i att ta fram metoder för att generera nödvändiga indata till simuleringar. Exempelvis tidtabeller, tekniska (minsta) körtider, stokastiska och/eller systematiska störningar. Dessa har inriktats mot befintlig installerad version av Proton hos Trafikverket och kan behöva anpassas till en nyare version som beräknas vara på plats under första kvartalet 2023.

Olika fallstudier simuleras i Proton. Några av dessa är även kopplade till andra projekt. Dessa fallstudier innefattar områden med olika inslag av banor med dubbelspår, enkelspår, varierande storlek och komplexitet på stationer med mera. Effekten av banarbeten som innebär sänkt linjehastighet och/eller att det ena av två linjespår är avstängt på en eller flera linjesträckor kan simuleras. RailSys kan användas som komplement i de fall där det är lämpligt att kunna jämföra resultat från simuleringar för att bedöma hur den relativt kraftigt förenklade beskrivningen av spårinfrastrukturen inom exempelvis större stationer/driftplatser påverkar utfallet och vilka modelleringsåtgärder i form av indatafördelningar och/eller parameterinställningar som eventuellt krävs för att, sett i ett större perspektiv, ändå få ett realistiskt utfall.

DB:s utveckling av Proton har sedan en tid tillbaka skiftat från makroskopisk modellering till mer eller mindre mikroskopisk modellering av tågens rörelser. Från slutet av år 2022 pågår därför arbete i SIMPOR med att ta fram metod för konvertering av mikroskopisk infrastrukturdata i RailSys-format till ett format som Proton kan läsa.

## **Forskningsbidrag**

Projektet förväntas bidra till utveckling när det gäller kapacitetsanalyser på nätnivå och framför allt att vissa typer av analyser bör kunna göras effektivare i framtiden. Projektet förväntas ge insikt om för vilka frågeställningar Proton är lämpligt, vilka för- och nackdelar som finns samt utveckla arbetssätt (metodik) kring användningen av Proton i Sverige.

## **Nytta för beställare**

Simuleringar kan användas i framtida hantering av kapacitetstilldelning, exempelvis för att bedöma effekten av banarbeten eller andra restriktioner i infrastruktur.

## **Resultat**

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 2023. Den nya versionen ska användas till huvuddelen av arbetet inom projektet.

Det arbete som hittills gjorts inom projektet är framtagning av olika skript för att generera nödvändiga indata till Proton och ta fram strukturer för de tillämpningsfall som initierats i andra forskningsprojekt. Tidtabeller kan konverteras från RailSys eller exporter från Trafikverkets, numera, gamla tidtabellsplaneringsverktyg TrainPlan. Tidtabellsdata behöver kompletteras med tekniska körtider, dessa tas fram antingen via en metod i kombination med RailSys eller från gångtidskörningar i Tigris. Huvudsakligen har historiska data använts till stokastiska störningsfördelningar av olika typer. I vissa fall appliceras systematiska störningar. I Sverige har simuleringar i Proton hittills genomförts i Shift2Rail-projekten:

- PLASA-2: Simulera och jämföra punktlighet av att tillåta eller inte tillåta godståg att avgå före tidtabellstid på sträckan Malmö–Hallsberg. Simuleringar gjordes även i RailSys med syfte att jämföra makroskopisk och mikroskopisk simulering. Jämförelser gjordes mot verkligt utfall i syfte att bestämma en lämplig skalningsnivå på störningar. Resultaten visade bland annat att olika gruppunktligheter överensstämde i stor utsträckning mellan RailSys och Proton givet samma skalningsnivå på de störningsfördelningar som allokerats.
- FR8RAIL II: Simulera effekten av några olika fall med modellering av banarbeten som medför begränsningar i linjehastighet och/eller antal linjespår samt ett totalavbrott på cirka en timme. Sträckan är Malmö–Hallsberg. Resultaten visade på en relativt bra överensstämmelse i punktlighetsutfall mellan RailSys och Proton.
- FR8RAIL III: Sammankoppling av en modell för att prediktera tidigaste avgångstider för godståg från godsbangårdar (utvecklad inom projekt PRATA) och modell för nätverkssimulering (dvs. Proton). Tillämpning på sträckan Malmö–Hallsberg där flera månaders trafik simulerades.

Inom K2-projektet *Punktlig Tågtrafik i Storstadsregionerna – del 2* har Proton använts för simuleringar på sträckan Göteborg–Hallsberg samt i området som trafikeras av Skånetrafiken i

södra Sverige. I båda fallen har simuleringar körts med olika skalningar på störningsfördelningar som framställts ur historiska data men där fördelningen av primär- och sekundärförseningar är okänd. Simuleringar av Skånetrafikens trafikeringsområde gjordes dels för tidtabell T19, dels för en koncepttidtabell T25 med en tydlig trafikökning. Ett huvudresultat för simuleringarna i södra Sverige var att primärförseningarna behöver halveras för att uppnå 95% totalpunktlighet i T19. På motsvarande sätt behöver primärförseningarna reduceras med 2/3 för att uppnå 95% i koncepttidtabellen T25 (med fler tåg), sett till nivån i T19.

### **Rapporter**

Inga publicerade rapporter än.

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

Prediktion av ankomsttider och avgångar (PRATA), Kapacitet i Nätverk (KAIN), Flexibilitet och återställningsförmåga som tidtabellsmått (FlexÅter).

## SJ – Optimering och Tidtabeller (SJOT)

<b>Utförare</b>	RISE
<b>Projektledare</b>	Martin Aronsson, martin.aronsson@ri.se
<b>Beställare</b>	(Johan Båging, SJ), Johanna Arhall, SJ
<b>Tidsperiod</b>	2019–2023
<b>Omfattning (total)</b>	0,6 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Forskningsprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Taktisk kapacitetsplanering

### Mål

Projektets mål är att undersöka på vilket sätt optimerande programvara för tidtabellläggning kan stötta SJ i processen att ta fram den årliga ansökan om tåglägen. Målet med fas två i SJOT är att fördjupa de resultat som uppnåddes under projektets första fas.

### Huvudsakliga aktiviteter

I det av SJ finansierade KAJT-projektet ”SJ - Optimering och tidtabeller” (SJOT) kommer SJ och RISE samarbeta för att undersöka hur järnvägsföretag kan använda optimering i förberedelsearbete inför kapacitetsansökan. SJ är Sveriges ledande kommersiella järnvägsföretag för resandetåg, och projektet kommer fokusera på att identifiera och utveckla funktionalitet som är viktig ur SJ:s perspektiv. I projektet ingår även att undersöka hur optimering kan passa in i den nuvarande systemstrukturen och att processtiden för tidtabellsanalys kan kortas.

### Forskningsbidrag

De flesta tidtabelllägningsprojekt utgår från infrastrukturhållarens perspektiv. I detta projekt utgår frågeställningen istället från järnvägsföretagets perspektiv och dennes arbete med att ta fram bättre underlag för tåglägesansökan.

### Nytta för beställare

Nytta finns framför allt i två dimensioner, dels kvalitativt bättre ansökningar, dels på längre sikt kortare ledtider i arbetet med tåglägesansökan och därigenom större möjligheter att undersöka fler alternativ.

### Resultat

Under 2019 gjordes olika prov med optimerande tidtabellläggning på ett av SJ valt affärsområde. 2020 var planerat att fördjupa dessa prov, men verksamheten fick skjutas på framtiden beroende på den pågående Coronapandemin. Under 2021 gjordes en studie rörande känsligheten för följdförseningar i ansökan för T22. Beroende på det omfattande arbetet hos SJ med anpassning till Trafikverkets nya systemstöd MPK har projektet skjutits upp ytterligare och nuvarande plan är att återstarta projektet under hösten 2023.

### Närmast relaterade KAJT-projekt

TTK, Impact-2

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

<b>Utförare</b>	RISE, LiU, KTH, VTI
<b>Projektledare</b>	Martin Joborn, RISE, martin.joborn@ri.se
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Sara Gestrelus, Martin Kjellin, RISE; Behzad Kordnejad, Hans Sipilä, Mohammad Al-Mousa, Niloofar Minbashi, KTH; Anders Peterson, Carl-Henrik Häll, Christiane Schmidt, LiU; Tomas Lidén, Abderrahman Ait Ali, VTI; Emma Solinen, Emma Dyrssén, Trafikverket
<b>Beställare</b>	Magnus Wahlborg, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2019–2022
<b>Omfattning (total)</b>	6,7 MSEK
<b>Projekttyp</b>	EU-projekt (Shift2Rail)
<b>Forskningsområde</b>	Operativ kapacitetsplanering, Järnvägens sidosystem och koppling till järnvägsnätet, Underhåll och trafik,
<b>Hemsida</b>	<a href="https://projects.shift2rail.org/s2r_ip5_n.aspx?p=FR8RAIL">https://projects.shift2rail.org/s2r_ip5_n.aspx?p=FR8RAIL</a>

### Mål

Smart, data-based assets and efficient rail freight operation (FR8RAIL III) är ett Shift2Rail-projekt, där fyra av KAJT-parterna är aktiva i WP2 *Real time network management*. Mål för projektet 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.

I projektet samverkar de svenska parterna med systemleverantören Indra från Spanien.

### Huvudsakliga aktiviteter

Specifikation och utveckling av demonstrator för samordnad planering av infartsgrupp/utfartsgrupp vid rangerbangård, specifikt används Malmö godsbangård (MGB) som fallstudie i demonstrator och studier. Utveckling av metoder för värdering av servicefönster. Utveckling av metoder för uppdatering av tidtabeller i ett korttidsperspektiv till följd av uppkomna störningar. Utveckling av metoder för prediktion av avgångstid från rangerbangård och transporttid till ankomst genom kombinerad maskininlärning och simulering.

### Forskningsbidrag

Inom alla de områden som nämns under huvudsakliga aktiviteter ovan görs olika former av forskningsbidrag. För rangerbangårdar identifieras nya behov för samverkan och samplanering, och förslag på samordningsprinciper tas fram. En demonstrator för datadelning och samordnad planering utvecklas. För värdering av servicefönster tas nya metoder fram för att beräkna samhällsekonomisk nytta och kostnader av järnvägsunderhåll vid olika nyttjandegrad av servicefönster. Nya metoder för maskininlärning tas fram för prediktion av avgångstider från rangerbangård, vilket på unikt sätt kombineras med simulering av efterföljande trafik för att skatta ankomsttider till slutstation.

## Nytta för beställare

På 1–3 års sikt erhålls en demonstrator för samordnad planering av infarts/utfartsgrupp vid rangerbangården i Malmö.

På 5–10 års sikt kan projektet exempelvis ge verktyg för bättre samordnad planering på rangerbangårdar, bättre beslutsunderlag för införande av servicefönster och bättre prediktioner av avgångstider och ankomsttider för godståg.

## Resultat

Under 2022 har projektet slutförts. Sammanlagt har 3 projektrapporter (leverabler) framställts och en leverabel i form av en demonstrator. Demonstratorn för samordnad planering av infarts/utfartsgruppen på MGB har utvärderats av relevanta intressenter från Trafikverket, Green Cargo och Mertz. Intressenterna bedömde att ett förverkligande av konceptet kan bidra med stor nytta. Konceptet kommer att utvecklas vidare inom EU-RAIL.

En del av projektet har fokuserat på att vidareutveckla och kombinera tidigare utfört arbete inom ramen av två tidigare Shift2Rail projekt; FR8HUB WP3, avseende maskininlärningsbaserad estimering av bangårdsförseningar och dess samspel med trafiken på järnvägsnätet samt FR8RAIL II WP3, där makrosimuleringsverktyget PROTON för kapacitet- och tidtabellsanalys utvecklades. Metoden i detta projekt bestod av att kombinera dessa verktyg och tillämpa dem på en fallstudie, linjesträckan mellan Malmö och Hallsbergs rangergodsbangård.

Projektet har (genom VTI) bidragit med en samhällsekonomisk analysmetodik för att kunna studera nyttor och kostnader av underhåll som genomförs inom servicefönster med olika nivåer av utnyttjandegrad. Detta ledde till presentationer på tre konferenser samt en publicerad forskningsartikel i den väl ansedda tidskriften *European Journal of Transport and Infrastructure Research* (<https://doi.org/10.18757/ejtir.2022.22.2.6130>). Artikeln kan även nås via följande DiVA-länk.

Projektet har även (genom LiU) bidragit med att utveckla TIMO (Timetable Modification MOdule) som är en metod för att omplanera trafik. TIMO är baserat på en *ruin-and-recreate*-heuristik som använder en ”girig” algoritm (*greedy algorithm*) för att sätta in en tågväg i en existerande tidtabell. Vi har använt den till att lägga till, eller förändra, en eller flera tågvägar i en given tidtabell. Vi har även utvärderat TIMOs beteende i detalj (t.ex. vilka parametrar som påverkar den resulterande tidtabellen på vilka sätt) och visat hur man kan använda TIMO även för omplanering vid ad-hoc underhåll på avgångsbangården. Arbetet har resulterat i två konferenspapper presenterade vid RailBeijing 2021.

## Rapporter

### Tidskriftsartiklar:

Ait-Ali, A., & Lidén T. (2022). Minimal utilization rate for railway maintenance windows: a cost-benefit approach. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 22(2), 108-131. [DOI:10.18757/ejtir.2022.22.2.6130](https://doi.org/10.18757/ejtir.2022.22.2.6130)

### 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.

**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.

Ait Ali, A., Lidén, T., Samhällsekonomisk värdering för olika nyttjandegrad av servicefönster för järnvägsunderhåll, Transportforum, 2022.

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.

Gestrelus, S., Olred, S., Yard Coordination System för MGB, KAJT-dagarna, 2022.

Gestrelus, S. Samplanering vid Malmö godsbangård - koncept för digital datadelning (Shift2Rail), Transportforum, 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.

Peterson, A., et al. (2022). Method development for enhanced and integrated line- and yard planning. Deliverable D2.2 from project FR8RAIL III

Lidén, T. Joborn, M., Gestrelus, S., Häll, C.-H., Peterson, A., Schmidt, C., Minbashi, N., Sipilä, H., Wahlborg, M. (2022). Demonstration of enhanced and integrated line- and yard planning and possibilities for implementation. Deliverable D2.3 from project FR8RAIL III

**Working paper:**

Gestrelus, S., Joborn, M., Sager, A., Lidén, T. (2022a). Yard Coordination System (YCS) – en sammanfattning.

Gestrelus, S., Joborn, M., Sager, A., Lidén, T. (2022b). Demonstrations-workshop för YCS – sammanfattning.

**Närmast relaterade KAJT-projekt**

ARCC, Fr8Hub, Fr8Rail II, Impact-2, Plasa-2

## Stora omplaneringar sent (SOS)

Utförare	Linköpings universitet
Projektledare	Anders Peterson, anders.peterson@liu.se
Övriga projektdeltagare	Carl Henrik Häll, Linköpings universitet Christiane Schmidt, Linköpings universitet NN (doktorand), Linköpings universitet
Beställare	Kristian Persson, Trafikverket
Tidsperiod	2022 – 2025
Omfattning (total)	2,6 MSEK
Projekttyp	Doktorandprojekt
Forskningsområde	Operativ trafikplanering, Trafikinformation och störningshantering

### Mål

Det här projektet handlar om större omplaneringar i en tidtabell med kort varsel. Väsentligen räknas det som taktisk planering, men vi ser att vi är mycket nära operativ drift. Det kan finnas flera anledningar till att sådana behov uppstår, t ex återställning efter ett stort avbrott, behov av akuta underhållsarbeten, ändring av hastighetsprofiler, sena ändringar vid bangård/terminal eller reaktion på någon typ av krisläge inom järnvägen eller något annat trafikslag som påverkar efterfrågan i järnvägssystemet. Inom detta projekt kommer vi att studera en delmängd av dessa frågeställningar, som vi kommer att ta fram i diskussion med Trafikverket och projektets referensgrupp.

### Huvudsakliga aktiviteter

Projektet inleds med en litteraturstudie, där vi kartlägger tidigare forskning och tydliggör var bidraget inom etta projekt kommer att ligga. Därefter kommer vi att precisera de frågeställningar och scenarier vi kommer att arbeta med. Det kommer att bli en delmängd av de problem som nämns ovan.

Huvuddelen av projektet ägnas åt att utforma strategier, samt att utveckla och implementera metoder för valda scenarier.

I slutdelen av projektet kommer vi att göra en resultatanalys, samt avrapportera projektet genom en licentiatavhandling.

Projektet är knutet till Linköpings universitets arbete inom Europe's Rail (FA1).

### Forskningsbidrag

Forskningsbidraget kommer att finnas inom området metoder och modeller för tidtabellläggning, med särskilt fokus på uppdatering av existerande tidtabeller med hänsyn till sent påkomna förändringar. Metodmässigt kommer vi att tillämpa och utveckla verktyg från operationsanalysen.

### Nytta för beställare

Projektet ger en bättre förståelse för hur man i händelse av stora störningar kan använda residualkapaciteten på bästa sätt. Möjligheten för att tillämpa avancerade beräkningsmetoder i omplaneringen ökar med digitaliseringen. På sikt bör relevanta delar kunna arbetas in som moduler i automatiseringen av tidtabellsprocessen hos Trafikverket.

Metoderna kommer också att kunna demonstreras tillsammans med den utveckling Trafikverket med partner utför inom Europe's Rail (FA1, MOTIONAL).

### **Resultat**

(Nystartat projekt.)

### **Rapporter**

Inga publicerade rapporter än.

## Tjänsteutbud och Transportkapacitetsförsörjning på järnväg (TOT)

<b>Utförare</b>	RISE
<b>Projektledare</b>	Martin Aronsson, RISE
<b>Beställare</b>	Per-Åke Wärn, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2021–2023
<b>Omfattning (total)</b>	1,2 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Forskningsprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Strategisk kapacitetsplanering, Framtidens transportsystem och trafikefterfrågan

### Mål

I den av RNE föreslagna nya kapacitetstilldelningsprocessen, framtagna i projektet TTR for Smart Capacity Management, ingår flera för svensk kapacitetstilldelning nya processsteg och objekt före själva ansökan om kapacitet (X-60 – X-8): Segmentering, kapacitetsstrategi, kapacitetsmodell och kapacitetsutbud. För att uppnå en icke diskriminerande och konkurrensneutral kapacitetstilldelning undersöker TOT om nuvarande prioriteringskategorier, eller en variant av dessa, kan användas i den nya processen.

### Huvudsakliga aktiviteter

Projektet bygger vidare på resultat från tidigare forskningsprojektet TT-JOB (transporttillgänglighet – tillgänglighetsnyckeltal för järnvägsnät och banunderhåll) och samverkar nära med det svenska TTR-projektet. TOT är uppdelat i tre etapper som studerar vilka transporttjänster kan förutses ansökas, värdera och segmentera dessa samt skapa kapacitetsmodell och -utbud.

### Forskningsbidrag

Ny kunskap, åtminstone för svenska förhållanden, utgör om ett kapacitetsutbud ("Capacity supply") kan göras på ett sådant sätt att innehållet är icke-diskriminerande och konkurrensneutralt gentemot aktörerna vilket utgör en viktig hörnsten i lagstiftningen för svensk kapacitetstilldelning på järnväg.

### Nytta för beställare

Hitintills har tankar på ett av statlig myndighet definierat utbud inte ansetts kunna genomföras på ett icke-diskriminerande och konkurrensneutralt sätt. Om prioriteringskategorierna (eller en liknande schabloniserad kalkyl) kan användas i den av TTR definierade nya kapacitetstilldelningsprocessen är förutsättningarna goda att ta fram en icke-diskriminerande och konkurrensneutral metod i linje med TTRs föreslagna process. TOT bistår det svenska genomförandeprojektet TTR Sverige med kompetens.

### Resultat

Ett alternativt sätt att mäta kapacitet har tagits fram, samfinansierat med projekten SATT-TF och RITH, rapporterat i nedan angiven rapport. Utöver detta har presentationer i samband med TTR-möten gjorts, nationella likväl som internationella, av de svenska prioriteringskategorierna och deras alternativa användning i TTRs process.

## **Rapporter**

Aronsson M. (2022). En not om att mäta kapacitet på järnväg. RISE Rapport 2022:116.  
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1722644/FULLTEXT01.pdf>

## **Närmast relaterade KAJT-projekt**

TT-JOB, SATT-TF, RITH, BASTA

## Tågsimulering och ERTMS, del 1 och del 2

Utförare	VTI
Projektledare	Tomas Rosberg, tomas.rosberg@vti.se
Övriga projektdeltagare	Birgitta Thorslund, VTI; Oskar Fröjd, KTH; Behzad Kordnejad, KTH (Under 2023-2024 endast Tomas i projektet)
Beställare	Magnus Wahlborg, Trafikverket
Tidsperiod	2019-2024
Omfattning (total)	3,6 MSEK+ 2,8 MSEK
Projekttyp	Doktorandprojekt
Forskningsområde	Signal- och trafikstyrningssystem
Hemsida	www.vti.se

### Mål

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. Projektet är en fortsättning av en förstudie som genomförts under 2018.

### Huvudsakliga aktiviteter

Doktorandprojektet inriktas mot körsimulering och ERTMS och har målet att öka förståelsen för vad som påverkar kapacitet och punktlighet samt på vilket sätt. Effekter av signalsystem på kapacitet och förarbete kommer att undersökas med hjälp av både simulatorer för tåγκörning och för tidtabellsplanering. Utgångspunkter för dessa är VTI:s tågsimulator som modellerar tåg och lokförare, samt RailSys som modellerar tågtrafik.

### Forskningsbidrag

Forskningsbidraget och nyttan på kort sikt 3 – 5 år är utvecklad kunskap inom ERTMS-området samt en mer realistisk tidtabellsplanering, bättre punktlighet och ökad kapacitet i samband med övergången till ERTMS. Resultaten kommer kunna användas som input vid projektering, körbarhetsanalyser och signaloptimering. Forskningsbidraget och nyttan på längre sikt 6 – 10 år är förutom att de på kort sikt fortlöper, även bättre projekteringsunderlag till nybyggda banor för ytterligare optimering av punktlighet och kapacitet samt bättre underlag inför ytterligare utveckling mot automatiserad tågtrafik. Bättre insikt kommer att finnas om hur framtidens signalsystem för ERTMS bör utformas.

### Nytta för beställare

Nytta för Trafikverket är:

- Ökad kunskap om verklig tågföring inkl lokförare utifrån ERTMS och pågående teknikutveckling
- Ökad kunskap om gångtider och tågföring
- Ökad kunskap om framtida tågplanering och trafikledning utifrån ERTMS
- Ökad kunskap om signalsystem – RailSys – lokförarsimulator
- Åtgärder kring projektering och teknikutveckling med koppling till ERTMS
- En plattform för dialog med järnvägsföretag och systemleverantörer och konsulter om ERTMS och teknikutveckling



## Resultat

Resultat från den första studien om förarbeteende 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 tågsimulator-studie hos operatörer med ERTMS trafik. Resultaten pekar på nödvändiga förbättringar i kapacitetsberäkningar vid införandet av E2.

En Licentiat-avhandling har presenterats under våren 2021.

Under hösten 2021 genomfördes en datainsamling med tågförarsimulator i Norrland med licensierade ETCS förare. Syftet har varit att titta på effekterna av hastighetsfiltrering på ETCS banor. Resultaten visar på signifikanta skillnader när det gäller energiförbrukning och små skillnader när det gäller gångtid. En publicering pågår kring denna studie.

I december presenterades en sammanläggningsavhandling med titeln *Going from Lineside to In-cab Railway Signaling: Driveability Issues and Solutions*.

## Rapporter

Rosberg, T., Thorslund, B. (2018). Förstudie Tågsimulering och ERTSM. Projektrapport.  
Thorslund, B., Rosberg, T., & Lindström, A. (2019). User-centered development of a train driving simulator for education and training. Paper presented at Rail Norrköping, Norrköping.

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.

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.

Rosberg, T., Thorslund, B., 2022. Radio communication-based method for analysis of train driving in an ERTMS signaling environment. *European Transport Research Review*, 14, Article 18.

## Närmast relaterade KAJT-projekt

Förstudie Tågsimulering och ERTMS, TESTER, Körbarhetsanalyser med hjälp av Tågsimulator, Simulatorbaserad utbildning för Tågförare, KAKA.

## Utformning av underhållsområden på större driftsplatser — förstudie (UFO)

Utförare	Linköpings universitet
Projektledare	Tomas Lidén, tomas.liden@liu.se
Övriga projektdeltagare	Carl Henrik Häll, Linköpings universitet
Beställare	Marika Gjerdrum, Trafikverket
Tidsperiod	2023
Omfattning (total)	0,6 MSEK
Projekttyp	Förstudie
Forskningsområde	Strategisk kapacitetsplanering, Underhåll och trafik,
Hemsida	(ingen)

### Mål

För kapacitetstilldelningen och planering av basunderhåll på större driftsplatser och knutpunkter behöver arbetsområden utformas som medger både ett effektivt underhåll och en rimlig trafikpåverkan. Det saknas systematiska metoder för hur sådana underhållsområden bör utformas och forskningsläget för sådana metoder är inte kartlagt.

Projektet är en förstudie som ska adressera denna kunskapsbrist, och har följande delmål:

1. Genomföra en verksamhetsstudie där behovs- och kravbilden klargörs för de primära aktörerna (underhåll, kapacitetsplanering, entreprenörer).
2. Genomföra en litteraturstudie över forskningsläget och publicerade metoder för denna typ av uppdelnings- eller partitioneringsproblem.
3. Undersöka olika lösnings- och arbetsmetoder som kan användas för att utforma underhållsområden på större stationer.

Projektet ska leverera en forskningsrapport som sammanfattar genomfört arbete och erhållna resultat av verksamhetsstudie, forskningsläge, och metodförslag, samt ger förslag till fortsatt hantering.

### Huvudsakliga aktiviteter

Verksamhetsstudien genomförs i form av informations- och dokumentinsamling samt semistrukturerade intervjuer med sakkunniga, främst representanter för underhåll och kapacitetsplanering.

Litteraturstudien genomförs som en bred nyckelordssökning med efterföljande gallring, läsning och analys.

För metodstudien kommer fokus att ligga på kvantitativa modeller, såsom optimering och simulering. Om möjligt kommer prototypförsök att göras i lämplig verktygsmiljö.

Utvärdering görs i samarbete med Trafikverket för att bedöma användbarhet, möjliga effekter och potentialer.

### Forskningsbidrag

Projektets syfte är att skapa en kunskapsgrund om utformning av underhållsområden på större driftsplatser, vilken kan ligga till grund för framtida forskning och utveckling.

### Nytta för beställare

Den kunskapsgrund som tas fram av projektet ger ett värde som underlag för framtida forskning och utveckling kopplat till effektivare anläggningsförvaltning och bättre koordination mellan trafik och underhåll. Resultaten bedöms inte kunna omsättas i praktisk användning inom den närmaste 5-årsperioden, men kanske därefter.

**Resultat** (behövs ej för nystartade projekt)

Inga resultat än (projektet startar 2023)

**Rapporter**

Inga publicerade rapporter än (projektet startar 2023)

**Närmast relaterade KAJT-projekt**

SATT, SATT-BP, Bandat, och Bandat-2



## KAJT-RELATERADE PROJEKT

## Följsam Automation (F-Auto)

<b>Utförare</b>	Linköpings universitet, Linnéuniversitetet, Uppsala universitet, Luftfartsverket, Trafikverket
<b>Projektledare</b>	Magnus Bång, LiU, magnus.bang@liu.se
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Jonas Lundberg LiU, Magnus Nylin, Lfv, Anders Arweström Jansson, UU, Gesa Praetorius, LnU
<b>Beställare</b>	Tre portföljer hos Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2018 – 2020 etapp I, 2021 – 2022 etapp II
<b>Omfattning (total)</b>	15 261 (etapp I och II)
<b>Projekttyp</b>	Forskningsprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Operativ kapacitetsplanering, Människan, digitalisering och automation

### Mål

Att undersöka hur AI (maskininlärningsalgoritmer) kan användas inom trafikledning och trafikövervakning för att identifiera arbetsituationer med hög kognitiv belastning. Med detta som underlag är målet att låta automationen föreslå förändringar i arbetsbelastningen, genom att automationen anpassar information i operatörsgränssnitten, eller genom att AI påkallar arbetsledningens uppmärksamhet om behov av förändring i bemanning. Att bygga och använda simulatormiljöer (low-fi och hi-fi) som kan användas för att testa sensorer (indata), och simulera hur följsam automation kan utformas (utdata). Att testa detta i alla tre domäner med ett scenario där man lätt missar information som finns i gränssnittet.

### Huvudsakliga aktiviteter

Fältstudier med analyser och tolkning av data, mätning av blickbeteende och fysiologiska variabler som underlag för utveckling av algoritmer, utveckling av olika typer av simulatorer (low-fi och hi-fi) där algoritmer och automation kan testas för att undersöka om automation kan stödja operatörer i deras arbeten.

### Forskningsbidrag

Tre olika portföljer inom Trafikverket (tågtrafik, sjöfart och flygledning) bidrar eftersom det är generella trafikövervakningsuppgifter det handlar om.

### Nytta för beställare

Kunskap om vad som är gemensamt för olika trafikövervakningsarbeten, samt hur automation kan användas för att identifiera situationer där säkerhet och effektivitet kan förbättras.

### Närmast relaterade KAJT-projekt

UFTB II och HumanAuto

### Rapporter

Axelsson, C-A. W. & Jansson, A. A. (2022). Exploring visual maturity: A first look at eye behavior in train traffic control. *Journal of Expertise*, 5 (2-3), p.58-71.

Lundberg, J., Nylin, M., Praetorius, G., Jansson, A. A. & Bång, M. (2023). Human-Automation Interaction Design for process control: A cross-domain comparison between air-, vessel- and train traffic control. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making* (under review).

## Konstruktionsregler för en robust tågplan (KRUT)

<b>Utförare</b>	Trafikverket, Linköpings universitet
<b>Projektledare</b>	Emma Solinen, <a href="mailto:emma.solinen@trafikverket.se">emma.solinen@trafikverket.se</a>
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Anders Peterson, LiU, Jan Lundgren, LiU
<b>Beställare</b>	Åke Lundberg, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2019–2022
<b>Projekttyp</b>	KAJT-relaterat doktorandprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Taktisk kapacitetsplanering

### Mål

Projektet Konstruktionsregler för en Robust Tågplan (KRUT) har som mål att utveckla och utvärdera en metod för att förbättra robustheten i en tågtidtabell för enkelspår. Med en robust tidtabell menas en tidtabell där störningar inte sprider sig lätt mellan tåg och där tåg har en möjlighet till återhämtning efter en störning. Målet är att med hjälp av de teorier som analyseras och den modell som utvecklas i KRUT få en punktligare tågtrafik.

Metoden ska kunna användas i ett tidigt skede, redan i kapacitetstilldelningen när tidtabellen skapas, för att se till att tidtabellen håller en viss kvalitet när det kommer till robusthet. Tidigare forskning visar att konceptet Kritiska Punkter och det tillhörande måttet Robustness in Critical Points, RCP, på ett tillfredsställande sätt kan användas för att öka robustheten i en hel tidtabell för dubbelspårstrafik. Syftet med KRUT är att analysera om och hur måttet kan användas på en enkelspårig bana och om det behöver kompletteras med ytterligare aspekter. I slutänden är målet att utveckla en metod där RCP kombineras med andra styrande aspekter i tidtabellskonstruktionen för att ge ett trovärdigt och realistiskt stöd för konstruktörer.

### Huvudsakliga aktiviteter

De huvudsakliga aktiviteterna i KRUT består bland annat av att analysera förseningsdata på enkelspår för att kunna dra slutsatser om samband mellan tidtabellskonstruktion och punktlighet. En definition av robusthetsmått på enkelspår likt tidigare framtagna RCP-mått ska tas fram. Flera tidtabeller ska konstrueras för en enkelspårsbana utifrån olika strategier och konstruktionsregler samt utvärderas i form av vilka konsekvenser de olika strategierna får för trafikuppläggen. Tidtabellerna ska sedan simuleras i Railsys och utvärderas i form av punktlighet och förseningsutveckling.

### Forskningsbidrag

KRUT bidrar till att öka kunskapen kring hur robusta tidtabeller kan skapas och hur tågen påverkas av olika konstruktioner, både i planeringsskedet och i operativt läge. Det redan befintliga måttet RCP byggs på med en ytterligare aspekt för enkelspår, så att teorierna som tagits fram i tidigare projekt tillsammans med KRUT kan ge en helhetsbild av robusta tidtabeller.

### Nytta för beställare

Projektets huvudsyfte är att minska förseningarna på järnvägen vilket betyder att den främsta nyttan ligger hos resenärerna och transportköparna. Genom att förseningarna minskar kan branschen i stort gynnas och tågoperatörer kan leverera en mer robust tjänst till sina kunder. Nyttan för Trafikverket är kunskap kring samband mellan tågplanekonstruktion och förseningar samt verktyg för hur en tågplan ska kunna göras mer robust. Det stora värdet ligger i att Trafikverket kan leverera en tågplan av högre kvalitet.

**Närmast relaterade KAJT-projekt**  
RTJ



## Sjävlärande neurala nätverk för operativ lokstyrning – förstudie (SOL)

Utförare	RISE
Projektledare	Zohreh Ranjbar, zohreh.ranjbar@ri.se
Övriga projektdeltagare	Sara Gestrelus Jonatan Gjerdrum, Green Cargo
Beställare	TripleF (Fossil Free Freight)
Tidsperiod	2022-2023
Omfattning (total)	0,7 MSEK (0,5 MSEK TripleF och 0,2 MSEK egentid GreenCargo)
Projekttyp	KAJT-relaterat projekt, förstudie
Forskningsområde	Planering av transportnätverk, fordon och personal
Hemsida	<a href="https://triplef.lindholmen.se/projekt/2022422-sjalvlarande-neurala-natverk-operativ-lokstyrning-sol-forstudie">https://triplef.lindholmen.se/projekt/2022422-sjalvlarande-neurala-natverk-operativ-lokstyrning-sol-forstudie</a>

### Mål

Förstudien SOL, finansierad av **TripleF (Fossil Free Freight)**, ska visa på möjligheter och bedöma förutsättningar att använda datadrivna AI-metoder (machine learning, ML) som beslutstöd för operativ omplanering av lok. Syftet med dessa datadrivna metoder är att optimera och effektivisera resursplaneringen, samt att få ett gemensamt faktabaserat verktygsstöd för utbildning och fortbildning av operativ driftledningspersonal.

### Huvudsakliga aktiviteter

De huvudsakliga aktiviteterna i projektet inkluderar insamling och analys av historiska data från lokomlopp, intervjuer med driftledare, design av en träningsmiljö för det självlärande AI-systemet, utveckling av en värdefunktion samt metodval för träning av en agent som planerar om lokomloppen med hjälp av ett djupt neuralt nätverk.

### Forskningsbidrag

Förstudien undersöker möjligheterna för att använda datadrivna AI-metoder för omplanering av resurser som behövs för att framföra ett tåg. Fokus ligger på lok, men vid ett gott resultat borde även stödverktyg för personal- och vagns-omlopp kunna utvecklas på liknande sätt.

### Nytta för beställare

Förstudien bidrar till Triple F utmaningen ”Ett mer transporteffektivt samhälle” samt ”Överflyttning till energieffektiva fordon och farkoster” inom ämnesområdet teknik. Mer specifikt handlar projektet om trafikeffektivitet, resursoptimering och AI-baserat beslutstöd vilket i sin tur kan öka järnvägens konkurrenskraft i förhållande till väg. Projektet knyter även an till logistik då minskade kostnader och bättre kontroll på järnvägen möjliggör nya logistikupplägg.

För tågoperatören kan en god omplanering av lok kan innebära minskade kostnader då man klarar sig med färre stand-by lok och förare, och mer pålitliga transporter genom att förseningar inte sprider sig okontrollerat mellan tåg.

### **Rapporter**

Inga publicerade rapporter än.

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

Decision support for railway crew planning (DSRCP)

## Värdering av Trafikinformationsnyttor i Tågtrafiken (VTT)

Utförare	Linköpings universitet
Projektledare	Anders Peterson, anders.peterson@liu.se
Övriga projektdeltagare	Abderrahman Ait Ali, Linköpings universitet Martin Joborn, Linköpings universitet
Beställare	Ulrica Sörman, Trafikverket
Tidsperiod	2022–2024
Omfattning (total)	1 MSEK
Projekttyp	KAJT-relaterat projekt
Forskningsområde	Trafikinformation och störningshantering

### Mål

Tågförseningar tillsammans med ökande efterfrågan leder till betydande samhällsekonomiska kostnader. Ett sätt att minska dessa kostnader är genom effektiv kommunikation av olika typer av trafikinformation till passagerare.

VTT projekt syftar till att beräkna de samhällsekonomiska nyttor som trafikinformation ger vid störningar i tågtrafiken. Detta åstadkoms genom att utveckla en kvantitativ modell för att kvantifiera värdet av att kommunicera information till resenärerna vid tågförseningar.

Målet är att ge insikter till infrastrukturförvaltaren om samhällsnytta av informationssystem som en del av de stora infrastrukturinvesteringarna. Genom att använda olika störningsscenarier i tågtrafiken kan dessa insikter hjälpa till att utforma effektivare informationsstrategier för att minska störningskostnader.

### Huvudsakliga aktiviteter

Huvudsakliga aktiviteter i VTT projekt är:

- Översikt över befintliga litteratur och sammanställning av relevant tidigare resultat.
- Modellerings av effektsamband och samhällsekonomiska kostnader.
- Utveckling av beräkningsmodellen.
- Insamling och strukturering av relevant data och definiering av testscenarier.
- Testning, sammanfattning av resultat och projektrapportering.

### Forskningsbidrag

VTT projekt bidrar med en litteraturstudie över befintliga studier om informationsinsatser för persontrafik och beteendeanpassningar (vid tågförseningar). Ett annat bidrag är beräkningsmodellen för kvantitativ värdering av samhällsekonomiska nyttor av trafikinformation.

### Nytta för beställare

Resultat från VTT projekt kan vara ett stöd för infrastrukturförvaltare så som Trafikverket för att utforma mer samhällsekonomiskt effektiva strategier för trafikinformation vid olika förseningsscenarier.

### Resultat

Arbetspaket 1 resulterade i en litteraturstudie över befintliga studier om hur resenärer utnyttjar trafikinformation (vid förseningar) och vilka beteendeanpassningar de gör. Studien redovisade tidigare forskningslitteratur om informationsinsatser i allmänhet och i transportsektorn i synnerhet (särskilt persontågtrafik) samt till befintliga studier om informationsinsatser,

resenärer och beteendeanpassningar (vid tågförseningar). Litteraturstudien sammanfattar de befintliga metoder som används i Sverige och utomlands inom järnväg och andra trafikslag samt metoder och värderingar av samhällsekonomiska nyttor och effekter av trafikinformation.

## **Rapporter**

### **Konferensartikel**

Ait-Ali, A., Peterson, A. (2023). Assessing the effects of traffic information to passengers: a literature review. World Conference on Transport Research - WCTR 2023, Montreal, July 17-21, 2023.

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

Ait-Ali, A., Peterson, A. (2023). Assessing the effects of traffic information to passengers: a literature review. The Swedish Transportation Research Conference 2022, Lund, October 18-19, 2022.

## **Närmast relaterade KAJT-projekt**

Trafikinformation lägesbild

Mindre Störningar i Tågtrafiken (Mist)

Mindre Störningar i Tågtrafiken, del 2 (Mist2)

## YardCDM DEMO

<b>Utförare</b>	RISE
<b>Projektledare</b>	Sandra Haraldson, RISE
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Trafikverket, Green Cargo, DB Cargo Scandinavia, Mertz, Hector Rail
<b>Beställare</b>	Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2022-2024
<b>Omfattning (total)</b>	3,52 MSEK
<b>Projekttyp</b>	KAJT-relaterat projekt
<b>Forskningsområde</b>	Järnvägens sidosystem och koppling till järnvägsnätet
<b>Hemsida</b>	<a href="https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/yardcdm">https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/yardcdm</a>

### Mål

Målet med demonstrationsprojektet är att erhålla kunskap och erfarenheter rörande hur ett samskapat koncept för digital samverkan (YardCDM), kan stärka järnvägsdepåer som hållbara noder i transportsystemet. Målet är att genom demonstrationsprojektet ta fram råd och riktlinjer för framtida implementation med utgångspunkt från Malmö Rangerbangård (MGB).

### Huvudsakliga aktiviteter

Demonstrationsprojektet är indelat i 5 större arbetspaket, där (AP1) *aktörsklustret* (Living Lab) samt (AP2) *konceptutveckling* pågår under hela projektperioden (2 år). Aktörsklustret innebär att involverade aktörer samlas regelbundet för att tillsammans arbeta med gemensamma frågeställningar. Det sker en succesiv vidareutveckling av det förslag till koncept som togs fram under förstudien och att konkretisera de use case som är relevanta att demonstrera och utvärdera. Under första projektåret initieras även (AP3) *etablering av organisatoriska och tekniska förutsättningar*. Under år 2 körs (AP4) *demonstration* och (AP5) *utvärdering* parallellt. Demonstrationen planeras att köras i minst två iterationer. Olika komponenter av konceptet kan därmed demonstreras och vidareutvecklas under projektets gång i samverkan med presumtiva användare. Utvärdering görs av såväl teknisk miljö samt konceptuella komponenter för att möjliggöra konceptbeskrivning samt råd och riktlinjer för framtida implementation.

### Forskningsbidrag

Under projektet utvecklas bland annat principer för datadelning och kunskap rörande rangerbangårdars möjligheter och begränsningar som nod i järnvägs- och transportsystemet.

### Nytta för beställare

Nytta för såväl beställare som övriga involverade parter är överenskommelser och principer för digital samverkan i syfte att optimera bangårdens roll i järnvägssystemet. Projektet förväntas resultera i Råd och riktlinjer för framtida implementation av digital samverkan enligt YardCDM, för att öka punktlighet, förbättra planeringsförmåga, öka nyttjandegrad av befintliga resurser och infrastruktur i järnvägssystemet, och därmed bidra till omställningen mot ett hållbart transportsystem.

### Närmast relaterade KAJT-projekt

YardCDM: ett förstudieprojekt som föregick detta demonstrationsprojekt.



**AVSLUTADE PROJEKT UNDER 2022**



## Banarbetsprocess och datatillgång (BANDAT)

<b>Utförare</b>	Lunds universitet
<b>Projektledare</b>	Lena Hiselius, lena.hiselius@tft.lth.se
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Nils Olsson, Daria Ivina, Lunds Universitet; Lars Brunsson, Trafikverket
<b>Beställare</b>	Rose-Marie Renberg, Trafikverket Underhåll
<b>Tidsperiod</b>	2019–2022
<b>Omfattning (total)</b>	4,02 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Doktorandprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Underhåll och trafik

### Mål

En stor del av de underhålls- och utbyggnadsåtgärder som genomförs på järnvägsnätet kräver banarbete – det vill säga något slags avstängning av järnvägen för att lämna plats åt dem som ska arbeta. Planering av banarbetskapacitet sker i banarbetsprocessen – en process som främst är styrd av de krav på framförhållning i publiceringen av avstängningarna som finns för att trafiken ska kunna anpassas till dem, och som i sin tur manifesteras i de deadlines som gäller för ansökan om tåglägeskapacitet.

Projektet syftar till att undersöka processen för planering av banarbeten, från det att behovet uppkommer till det att det genomförs, mot bakgrund av vilken data som finns att tillgå vid vilket tillfälle. Den underliggande frågan är huruvida banarbeten planeras effektivt eller inte och hur banarbeten påverkar trafiken.

### Huvudsakliga aktiviteter

I detta projekt fokuserar vi på tre huvudaspekter relaterade till planering av banarbeten; data, planeringsprocessen och hur banarbeten påverkar tågtrafikens punktlighet. Projektet syftar till att studera varje steg i planeringen för underhållsprocessen i syfte att undersöka möjliga förluster i processen. För att göra detta utför vi dataanalys, dokumentstudier och intervjuer med yrkesverksamma som är involverade i planeringsprocessen.

Projektet inkluderar även identifiering av data som skulle kunna användas, främst i banarbetsprocessen för att förbättra planeringsprocessen samt analyser av orsaksförhållanden, speciellt kombination av trafik/punktlighetsdata och data om utförda banarbeten. Projektet syftar även till att analysera involverades tankar kring potentiella förbättringar av datautbytesprocessen.

### Forskningsbidrag

Projektet ska belysa beslut och information (nuvarande och möjlig) som rör såväl behov, planering och genomförande av åtgärder i anläggningen, som själva kapacitetstilldelningen för åtgärderna och de effekter på tågtrafiken som den har. Allt det ska förstås som en del av banarbetsprocessen.

### Nytta för beställare

En effektiviserad banarbetsplanering är inte bara av stort ekonomiskt värde för Trafikverket, utan också för dess entreprenörer (mindre omplanering kräver färre resurser). Och inte minst för de järnvägsföretag som trafikerar järnvägen (mindre och mer förutsägbar trafikpåverkan). Projektets resultat kommer att kunna användas som underlag för dialog mellan olika aktörer.



På lång sikt är ambitionen att projektet ska leda till en ökad punktlighet och precision i tågtrafiken, en mer robust tågplan, och ett högre kapacitetsutnyttjande.

## **Resultat**

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 fortsätter under 2022.

## **Rapporter**

### **Konferensartikel**

Ivina, D., Olsson, O.E.N. (2020). Lean Construction Principles and Railway Maintenance Planning. In Proceedings of 28<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Berkeley, California, USA, July 6-10<sup>th</sup>, pp. 577–588. <https://doi.org/10.24928/2020/0025>

### **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.

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>

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

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.

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

<b>Utförare</b>	Blekinge Tekniska Högskola
<b>Projektledare</b>	Johanna Törnquist Krasemann, <a href="mailto:johanna.tornquist.krasemann@bth.se">johanna.tornquist.krasemann@bth.se</a>
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Sai Prashanth Josyula, BTH
<b>Beställare</b>	Amelie Propst, Jörgen Frohm & Jerry Onmalm, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2020-2022
<b>Omfattning</b>	2,48 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Doktorandprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Operativ kapacitetsplanering, Trafikinformation och störningshantering
<b>Hemsida</b>	<a href="http://www.bth.se/forskning/forskningsomraden/datalogi-och-datorsystemteknik/blixten-ii/">www.bth.se/forskning/forskningsomraden/datalogi-och-datorsystemteknik/blixten-ii/</a>

### Mål och huvudsakliga aktiviteter

Behoven av och potentialen i att införa en större omfattning av beräkningsfunktionalitet som stöd för proaktiv tågtrafikledning har blivit allt tydligare de senaste åren. Det finns ett fåtal system på marknaden som utlovar beräkningsfunktionalitet för att stödja optimerande, proaktiv styrning och planering i realtid vid olika typer av störningar. En sammanställning av aktuellt kunskapsläge visar dock dels att dessa system är utformade efter specifika kontexter, dels är erfarenheter av hur dessa fungerar i praktiken sällan publicerade. Forskningen visar också att många utmaningar återstår att hantera. Projektet har därför följande delmål:

- Att bevaka forskningsfronten inom angivet område och tillgängliggöra en sammanställning av aktuellt kunskapsläge.
- Att i samverkan med Trafikverket och projektet FR8Rail2 genomföra fallstudier som belyser mer praktiska aspekter kring framtida tillämpning av optimerande beräkningsstöd i den operativa driften av (svensk) tågtrafik.
- Att vidareutveckla de beräkningsmetoder som utvecklats i TRANSFORM-projektet och systematiskt utvärdera dessa experimentellt, som en del av ovan nämnda fallstudier.

### Forskningsbidrag

Fokus är på att vidareutveckla och utvärdera beräkningsmetoderna från TRANSFORM-projektet och fokusera på i huvudsak tre aspekter:

- Kvalitetsmått på föreslagna omplaneringsåtgärder
- Beräkningseffektivitet
- Stabilitet

Med kvalitetsmått avser vi definierade indikatorer som gemensamt illustrerar och kortfattat beskriver en lösningens förutsättningar och förväntade effekter. Med beräkningseffektivitet avser vi algoritmens prestanda över tid och med stabilitet avser vi hur algoritmens prestanda varierar beroende på typ och omfattning av störning.

## Nytta för beställare

Förstudien bidrar till ny kunskap och förbättrade metoder kopplat till Trafikverkets målområde ”Effektivare hantering av störningar” och har tydliga beröringspunkter med Trafikverkets utvecklingsprojekt NTL.

## Resultat

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 algoritmerna 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:

- 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.
- En genomgång av lösningarna från ett par störningsscenarier som studerats i detalj.
- En analys av hur algoritmen fungerar om den används iterativt för att uppdatera aktuell tidtabell när förändringar sker, till exempel med 10 minuters intervall (så kallad closed-loop).

## Rapporter

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., (2021), ”*Parallel algorithms for solving the train timetable rescheduling problem*”, Doktorsavhandling No. 2021:06, Blekinge Tekniska Högskola.

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

## Närmast relaterade KAJT-projekt

FLOAT, TRANSFORM, F-Auto, FTTS2, FelOp, Fr8Rail2.

## Flexibilitet för ökad kapacitet på Malmbanan (Flexikap)

<b>Utförare</b>	RISE
<b>Projektledare</b>	Martin Joborn, martin.joborn@ri.se
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Sara Gestrelius
<b>Beställare</b>	Fredrik Lundström, Trafikverket Magnus Ragneberg, LKAB
<b>Tidsperiod</b>	2021–2022
<b>Omfattning (total)</b>	0,5 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Förstudie
<b>Forskningsområde</b>	Taktisk kapacitetsplanering, Planering av transportsystem, fordon och personal

### Mål

LKAB har behov av att tåg ska kunna avgå mer flödesoptimerat och baserat på de dagliga förutsättningarna snarare än hårt kopplat till de alltför långt i förväg planerade tidtabellskanalerna. Dagens hårda koppling till ett fåtal tidtabellskanaler får till följd att tåg ibland helt måste ställas in – vilket ger tappad transportkapacitet som inte alltid kan hämtas ikapp. 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.

### Huvudsakliga aktiviteter

Huvudsakliga aktiviteter i projektet är:

- Intervjuer med personal på LKAB, Trafikverket och andra relevanta aktörer
- Analys av data gällande trafik på Malmbanan
- Beräkning av nytta med kvantitativa och kvalitativa mått
- Kapacitetsanalys av Malmbanan med hjälp av RISE forskningsplattform för tidtabellsläggning (kallad M2)
- Workshop med inblandade aktörer på Malmbanan

### Forskningsbidrag

Forskningsbidraget är analys av de svenska förutsättningarna för att kombinera trafik som går strikt efter långt i förväg tidtabellsplanerad trafik men trafik som avropas på ett mer flexibelt sätt, samt vidareutveckling av optimerande verktyg (forskningsplattformen M2) för kvantitativa studier kring detta.

### Nytta för beställare

På 1–3 års sikt kan projektet ge viktig kunskap om frågeställningen om flexiblare malmtrafik är värd att fördjupa.

På 5–10 års sikt kan Trafikverket och LKAB få processer för att hantera en kombination av tidtabellagd och behovsstyrd trafik i vissa geografiskt avgränsade områden.

## **Resultat**

Ett antal åtgärder har identifierats som avses förbättra flexibiliteten och anpassningsförmågan. Analys av dagens trafikering visar att trafikledningen redan idag har god förmåga att hantera trafiken flexibelt i avseendet att trafiken ofta avviker från tidtabellen, även om det saknas rutiner och stödsystem för att nyttja flexibiliteten på ett strukturerat sätt. Experiment med ett verktyg för tidtabelloptimering visar att om man ger andra tåg möjlighet att ändra mellanliggande passagetider med 10 minuter så skapas möjlighet att både senarelägga och tidigarelägga avgångar samt möjlighet att addera kvalitativa tåglägen - utan att påverka andra tågs leveransåtaganden. Detta visar att nyttjande av tidtabellens inneboende flexibilitet skapar möjligheter för ytterligare flexibilitet i t.ex. form av ändrade avgångstider eller tillagda tåg.

## **Rapporter**

Gestrelus, S., Joborn, M., Flexibilitet för ökad kapacitet på Malmbanan, RISE Rapport 2022:147, <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-62543>

Gestrelus, S., Joborn, M., Flexible trains in timetabled traffic, To appear in: RailBelgrade 2023, the 10th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA), Belgrade, Serbia, April 24-27, 2023.

## **Närmast relaterade KAJT-projekt**

Tomte, Impact-2, Co2reopt

## Human Factors for Traffic Management Systems-2 (HF4TMS-2)

<b>Utförare</b>	VTI
<b>Projektledare</b>	Jan Andersson
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Gunilla Björklund, Henriette Warner Wallén
<b>Beställare</b>	Anna-Maria Östlund
<b>Tidsperiod</b>	2020-2023
<b>Omfattning (total)</b>	1.9 MSEK
<b>Projekttyp</b>	EU-projekt (Shift2Rail), del av X2Rail-4.
<b>Forskningsområde</b>	Operativ kapacitetsplanering, Människan, digitalisering och automation

### Mål

Utveckla metoder för mätning av arbetsbelastning och situationsmedvetenhet hos tågklarare. Projektet är en del av Shift2Rail-projektet X2Rail-4 WP8.

### Huvudsakliga aktiviteter

Enkätstudie, fältexperiment i operativ miljö, experiment i simulator

### Forskningsbidrag

Validera instrument för att mäta belastning och situationsmedvetenhet

### Nytta för beställare

Vid förändringar (organisatoriska eller tekniska) är det av stor vikt att beakta hur dessa förändringar påverkar operatörens möjlighet att utföra ett effektivt och säkert arbete. Med dessa instrument kan mätningar genomföras innan implementering på bred front för att säkerställa att förändringen ger de positiva effekter som avses utan att skapa mindre önskade effekter.

### Resultat

Pandemin har hittills satt stopp för genomförandet av datainsamlingar.

### Närmast relaterade KAJT-projekt

Avslutande projekt: FelOp

Pågående projekt: Belop, CAPMO-Train



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

<b>Utförare</b>	Lunds universitet
<b>Projektledare</b>	Lena Hiselius, lena.hiselius@tft.lth.se
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Carl-William Palmqvist, Tiong Kah Yong, Ruben Kuipers, Nils Olsson, Kenneth Håkansson, Trafikverket
<b>Beställare</b>	Hans Dahlberg, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2019-2022
<b>Omfattning (total)</b>	3,3 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Doktorandprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Uppföljning och återkoppling

### Mål

Projektet syftar till att: (a) förbättra kunskapen om störningar i tågtrafiken med fokus på uppehållsförseningar 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.

### Huvudsakliga aktiviteter

Empirisk forskning kring uppehåll, tåginteraktioner och förseningar, samt metodutveckling av simulering i Railsys och PROTON. Arbetet för att utvärdera nya konstruktionsregler har påbörjats. Under 2020 har en ny doktorand rekryterats, och arbete pågått parallellt kring fyra artiklar som alla förväntas publiceras 2021.

### Forskningsbidrag

Störningarna är i särklass vanligast vid stationsuppehåll, och varierar beroende på tågtyp, tid och plats, samt en mängd förklaringsfaktorer såsom väder, resenärsmängd, tidtabellsstruktur, infrastrukturkomplexitet, med mera. För att tågtrafikens kapacitet och punktlighet ska öka måste kunskapen om dessa störningar förbättras avsevärt, innan verkligt effektiva åtgärder kan sättas in. En viktig trend är mot mer simulering och modellering av järnvägens kapacitet, både inom verksamheten och forskningen. Detta gör det angeläget att utveckla metoder för att simuleringarna blir både smidigare att genomföra, och mer realistiska. Det föreslagna projektet befinner sig i skärningspunkten mellan detta behov för ökad kunskap om störningarna, och behovet för metodutveckling inom järnvägssimulering.

### Nytta för beställare

Resultaten ska implementeras i både Kapacitetscenters simuleringsarbete och tidtabellplaneringens arbete med konstruktionsregler och årliga tågplaner, till stor del genom en tät dialog och nära samarbeten med berörda delar av Trafikverket.

### Resultat

Resultaten visar att interaktioner mellan tåg har en stor påverkan på förseningar: risken att försenas 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 uppehållsförseningar. Arbetet går vidare med att titta på effekter av headway- och omloppsrelaterade interaktioner, inte minst vad gäller avgångsförseningar. 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.

## **Rapporter**

### **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.

### **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.

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.

### **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>

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

KRUT, MIST, Nypunkt2.0

## Reservkapacitet i tilldelningsprocessen – Huvudstudie (RITH)

<b>Utförare</b>	RISE
<b>Projektledare</b>	Martin Aronsson, martin.aronsson@ri.se
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Martin Kjellin, RISE
<b>Beställare</b>	Stefan Persson, Trafikverket
<b>Tidsperiod</b>	2019–2022
<b>Omfattning (total)</b>	3,9 MSEK
<b>Projekttyp</b>	Forskningsprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Strategisk kapacitetsplanering, Framtidens transportsystem och trafikefterfrågan

### Mål

Projektets mål är att ta fram metoder, format och regler för hur reservkapacitet (reserverad kapacitet) skall formuleras och hanteras genom kapacitetstilldelningsprocessen. Effektmålet är en trafik, inklusive attraktiva adhoc-tåglägen, som är effektiv, har hög kvalitet (punktlig) och även hög volym vilket sammantaget leder till ett högt samhällsekonomiskt värde. Målet innefattar också att bistå Trafikverket med det pågående arbetet i det av RNE initierade projektet TTR for smart capacity management där reservering av kapacitet är en nyckel för framgång.

### Huvudsakliga aktiviteter

Utifrån projektets grundläggande mål delas det upp i ett antal parallella aktiviteter. Grundläggande i RITH är representation av reservkapacitet, värdet av reserveringen (att ställas mot till exempel kapacitet sökt i den ettåriga processen) samt när den reserverade kapaciteten blir tillgänglig att söka. Viktiga aktiviteter i projektet är att undersöka, genom analys av historiskt data, omfattningen av behovet av reserverad kapacitet i nuvarande process men även då TTR implementeras där tilldelad kapacitet kan göras upp till tre år i förväg. Andra aspekter från TTR såsom segmentering, kapacitetsstrategi mm utgör viktiga komponenter i TTR där reservering av kapacitet görs och dessa aspekter adresseras således i RITH.

### Forskningsbidrag

De grundläggande frågeställningarna rör hur reservkapaciteten skall identifieras, kunna representeras i tågplanen samt värderas gentemot de i långtidsprocessen ansökta tåglägena och tjänsterna. Minst lika viktigt är bidraget inom metodutvecklingen för att hantera reservering av kapacitet i kapacitetstilldelningsprocessen, där det idag saknas vetenskapligt underbyggda metoder.

### Nytta för beställare

I Sverige är trafiken heterogen, vilket leder till svårigheter att utnyttja infrastrukturen effektivt. Sverige har även förhållandevis mycket godstrafik som ofta har behov av flexibilitet och ett större behov att med kortare varsel ändra i tågplanen. Detta resulterar i att tågplanen blir fragmenterad och tillkommande/ändrad trafik får nöja sig med restkapaciteten från den årliga processen. Stora kostnader uppstår som en följd av kapacitetsbrist, s.k. skogstid, förseningar och väntan på till exempel rangering på bangården.

Infrastrukturhållare har enligt lag en skyldighet att beakta behovet av s.k. reservkapacitet till ad hoc-processen<sup>5</sup> och Trafikverket har därför en skyldighet att ta hänsyn till detta behov.

## **Resultat**

Projektet har slutlevererats och totalt har fyra rapporter tagits fram samt bidrag till en femte, se nedan. Sammanfattningsvis kan sägas att projektet tagit fram rekommendationer för Trafikverket rörande process, metoder och arbetssätt för reservkapacitet. Grundläggande principer och process är diskuterade med dels Trafikverket, dels extern referensgrupp (operatörer). Ett ärende är öppnat på Trafikverket rörande hur resultatet skall tas vidare.

## **Rapporter**

Aronsson, M. (2019). Reservkapacitet i tågplaneprocessen: Förstudie, Teknisk rapport, <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-38524>

Aronsson, M. (2020). RIT– Reservkapacitet i tilldelningsprocessen: Underlagsrapport 1. RISE rapport 2020:80. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1479238/FULLTEXT01.pdf>

Aronsson, M., Kjellin, M. RIT – Reservkapacitet i tilldelningsprocessen: Underlagsrapport 2. RISE Rapport 2022:63. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1662955/FULLTEXT01.pdf>

Aronsson, M., Kjellin, K. Reservkapacitet i tilldelningsprocessen (RIT) – Slutrapport. RISE Rapport 2022:115. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1711629/FULLTEXT01.pdf>

Aronsson, M, En not om att mäta kapacitet. RISE rapport 2022:116. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1722644/FULLTEXT01.pdf>

Aronsson, M. RIT - Reservkapacitet i tilldelningsprocessen, KAJT vårseminarium 2021  
Aronsson, M. Reservkapacitet i tilldelningsprocessen – RIT, KAJT höstseminarium 2022

## **Närmast relaterade KAJT-projekt**

SamEff, SATT, SATT-TF, SATT-BP, TOT, TT-JOB

---

<sup>5</sup> Bl.a. järnvägslagen 6 kap. 9 § "Infrastrukturförvaltaren skall ta fram ett förslag till tågplan med utgångspunkt från de ansökningar som kommit in och med beaktande av behovet av reservkapacitet..." samt 3 § "En infrastrukturförvaltare ska bedöma behovet av att organisera tåglägen för olika typer av transporter, inklusive behovet av reservkapacitet..."

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

Utförare	VTI
Projektledare	Niklas Olsson, niklas.olsson@vti.se
Övriga projektdeltagare	
Beställare	Helena Tilander, Trafikverket
Tidsperiod	2019-2021
Omfattning (total)	1,6 MSEK
Projekttyp	Doktorandprojekt
Forskningsområde	Operativ kapacitetsplanering, Signal- och trafikstyrningssystem
Hemsida	vti.se

### Mål

Projektet syftar till en effektiv och trafiksäker implementering av kommande driftsättningar av ERTMS via teknisk såväl som pedagogisk utveckling. Projektets studier avser undersöka hur en utbildning i simulatormiljö kan göra förare och tågklarerare effektiva och trafiksäkra vid driftsättning av ERTMS.

### Huvudsakliga aktiviteter

Under inledningen av året har projektet avslutats och resultaten presenterats på konferenser, i slutrapport och artikel. En simulatormiljö för ERTMS har utvecklats och använts för studier med tågklarerare och lokförare.

### Forskningsbidrag

Ökad kunskap om hur simulatorutbildning kan utformas för att bidra till säkra och effektiva förare och tågklarerare på ERTMS.

### Nytta för beställare

- Effektiv och trafiksäker driftsättning av ERTMS
- Medverkar till att hålla tidplanen för driftsättning av ERTMS
- Förbättrad interaktion mellan förare och trafikledning vid driftsättning av ERTMS

### Resultat

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. För att ge förare möjlighet att repetera potentiellt kostsamma sårfall bör simulatorutvecklingen följa verklighetens uppgraderingar av ERTMS. Simulatorutbildning passar särskilt väl för ERTMS då förare framför allt behöver öva på olika förekommande sårfall som svårligen kan framkallas i verklighet.

Tågklarerare fick möjlighet att se simulatorfilmer på lokförare som hanterar sällanhändelser och diskutera dessa händelser med sina kollegor. Resultatet visar att utbildningsverktyget var kostnadseffektivt och ett bra komplement till verklig medåkning där sällanhändelser, av naturliga skäl, sällan uppstår.

## **Rapporter**

### **Tidskriftsartiklar**

Olsson, N., Lidestam, B., & Thorslund, B. (2021). The practical part of train driver education: Experience, expectations, and possibilities. *European Transport Research Review*, 13(1), 52. <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00506-1>

Olsson, N., Lidestam, B., & Thorslund, B. (2022). Effect of Train-Driving Simulator Practice in the European Rail Traffic Management System: An Experimental Study. *Transportation Research Record*, 0(0). <https://doi.org/10.1177/03611981221135802>

### **Rapporter**

Olsson, N., Thorslund, B. (2019) Olsson, N. & Thorslund, B. (2019). Simulatorbaserad medåkningsövning för trafikledarutbildningen: ett kostnadseffektivt och flexibelt utbildningsverktyg. VTI PM

Olsson, N. (2022). ERTMS-utbildning i simulatormiljö: framgångsfaktorer för en effektiv utbildning. VTI rapport 1118. <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1646536/FULLTEXT01.pdf>

### **Konferenspresentationer**

Olsson, N., Tågklararears förståelse för förarens verklighet, Transportforum 2020.

Olsson, N., ERTMS-utbildning i simulatormiljö, Transportforum 2022.

Olsson, N., Tilander, H., Trafikverkets samverkan med branschen för att underlätta övergången till ERTMS, Transportforum, 2022.

### **Närmast relaterade KAJT-projekt**

Projektet har koppling till doktorandprojekten Tågsimulering och ERTMS och Körbarhetsanalyser i tågsimulator (Tomas Rosberg), det KAJT-relaterade projektet Simulatorbaserad utbildning och träning för tågförare (Birgitta Thorslund) liksom det nystartade doktorandprojektet SITUATE som är en fortsättning av TESTER (Niklas Olsson).

## Järnvägens HUS

Utförare	VTI
Projektledare	Birgitta Thorslund, birgitta.thorslund@vti.se
Övriga projektdeltagare	Krister Gällman, VTI
Beställare	Peter Olsson, Trafikverksskolan
Tidsperiod	2020-2021
Omfattning (total)	1,1 MSEK
Projekttyp	KAJT-relaterad förstudie
Forskningsområde	Signal- och trafikstyrningssystem.

### Mål

Målet med den här förstudien är att undersöka förutsättningar, behov och nyttor då olika simulatormiljöer med koppling till järnvägstrafik integreras för att skapa en helhet.

### Huvudsakliga aktiviteter

Fokusgrupper med behovsägare (utvecklade av system, utbildare och forskare) har genomförts för att definiera syfte, mål och avgränsningar. En gemensam simuleringsmiljö för Järnvägssimulatorens och VTI:s tåg simulator har skapats med underlag från Trafikverkets testbangård.

### Forskningsbidrag

Projektet genererar ny kunskap och bidrar till:

- Möjlighet till träning, forskning, testning och demonstration i autentisk miljö.
- Sammankoppling (co-simulering) av olika simuleringsverktyg.
- Samträning av olika yrkesroller, funktioner och system.

### Nytta för beställare

Målet på längre sikt är att autentisk och i alla delar kunna simulera järnvägens komplexa drift. Anläggningen ska kunna användas av både Trafikverket och av entreprenörer enskilt eller tillsammans.

### Resultat

Ett stort behov av både enskild träning och samträning av olika operativa roller har identifierats. Järnvägssimulatorens begränsad möjlighet att direkt kopplas ihop med andra simulatorer, då den har en kommersiell tillverkare. För ett fortsättningsprojekt där den är inblandad behöver ett samarbete initieras med tillverkaren av järnvägssimulatorens.

### Närmast relaterade KAJT-projekt

Projektet har koppling till doktorandprojektet Tåg simulering och ERTMS (Tomas Rosberg), doktorandprojektet Tåg simulator för förarutbildning och träning (Niklas Olsson).



## Körbarhetsanalyser i tågsimulator (KÖRBAR)

<b>Utförare</b>	VTI
<b>Projektledare</b>	Birgitta Thorslund, birgitta.thorslund@vti.se
<b>Övriga projektdeltagare</b>	Tomas Rosberg & Krister Gällman, VTI
<b>Beställare</b>	Infra Sweden, Vinnova & Virtual Vehicle, Österrike
<b>Tidsperiod</b>	2019-2022
<b>Omfattning (total)</b>	3,6 MSEK
<b>Projekttyp</b>	KAJT-relaterat doktorandprojekt
<b>Forskningsområde</b>	Strategisk kapacitetsplanering, Signal- och trafikstyrningssystem
<b>Hemsida</b>	www.vti.se

### Mål

Projektets syfte är att utföra forskning inom området körbarhetsanalyser med hjälp av tågsimulator. VTI är FoI- utförare och arbetet sker på uppdrag av Infra Sweden och i samverkan med Trafikverket. Det finns ett behov hos bland annat projekterare av att kunna genomföra körbarhetsanalyser både på nya och ombyggda banor. Projektet är en fortsättning av en förstudie som genomförts under 2018.

### Huvudsakliga aktiviteter

Projektet inriktas mot körbarhetsanalyser och ERTMS. Syftet är att öka förståelsen för vad som påverkar körbarheten beroende på vilka mål som sätts upp. Det kan till exempel handla om punktlighet, kapacitet, komfort eller energiförbrukning. Utgångspunkter för studierna är VTI:s tågsimulator som modellerar tåg och lokförare. Projektet är också ett samarbete med Österrikiska Virtual Vehicle (VV) och SWECO. VV som har stor erfarenhet inom området körbarhetsanalyser, dock inte för järnväg, samt är också delfinansiär till projektet. SWECO är i behov av metoder för körbarhetsanalyser.

### Forskningsbidrag

Forskningsbidraget och nyttan på kort sikt, 3 – 5 år, är utvecklad kunskap om metoder för körbarhetsanalyser. Resultaten kommer kunna användas som input vid projektering, och signaloptimering. Forskningsbidraget och nyttan på längre sikt, 6 – 10 år, är förutom att de på kort sikt fortlöper, även bättre projekteringsunderlag till nybyggda banor för ytterligare optimering av punktlighet och kapacitet, samt bättre underlag inför ytterligare utveckling mot automatiserad tågtrafik. Bättre insikt kommer att finnas om hur framtidens banor bör utformas.

### Nytta för beställare

Nyttan för Trafikverket är:

- Ökad kunskap om körbarhet
  - faktorer som påverkar
  - metoder för att mäta
- Ökad kunskap om gångtider och tågföring
- Ökad kunskap om framtida tågplanering och trafikledning utifrån ERTMS
- Åtgärder kring projektering och teknikutveckling med koppling till ERTMS
- En plattform för dialog med järnvägsföretag och konsulter om körbarhet

## **Rapporter**

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. Published.

<https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2021.100240>

Slutrapport till Vinnova efter förstudien 2018.

Rosberg, T., Cavalcanti, T., Thorslund, B., Prytz, E., Moertel, P. (2021). Driveability Analysis of the European Rail Transport Management System (ERTMS) - A Systematic Literature Review. *Accepted for publication in JRTPM*

## **Närmast relaterade KAJT-projekt**

Tågsimulering och ERTMS – Tomas Rosberg

TESTER Testplattform med simulatorer för effektiv och trafiksäker driftsättning av ERTMS - Niklas Olsson

KAKA – Birgitta Thorslund

KAJT-relaterade projektet Järnvägens HUS – Birgitta Thorslund

## Tidigare avslutade projekt

PROJEKT	PERIOD	UTFÖRAR E	KONTAKTPERSONER	Se KAJT Projektkatalog
Störningars påverkan och samband med punktligheten (Ståndpunkt)	2020-2021	RISE	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a>	2022-03-31
Nyckeltal för punktlighet på järnväg del 2 (Nypunkt2.0)	2019-2021	VTI	Ida Kristoffersson, <a href="mailto:ida.kristoffersson@vti.se">ida.kristoffersson@vti.se</a>	2022-03-31
Headway och signalpunktsplaceringar i ETCS (HESE)	2021-2022	KTH	Hans Sipilä, <a href="mailto:mute@kth.se">mute@kth.se</a>	2022-03-31
Kapacitet, körbarhet och arbetsbelastning – KAKA	2020-2021	VTI	Birgitta Thorslund, <a href="mailto:birgitta.thorslund@vti.se">birgitta.thorslund@vti.se</a>	2022-03-31
Socioteknisk systemdesign av framtidens tågtrafiksystem (FTTS2)	2019-2021	Uppsala universitet	Anders Arweström Jansson, <a href="mailto:anders.arwestrom.jansson@it.uu.se">anders.arwestrom.jansson@it.uu.se</a>	2022-03-31
Samplanering av trafikpåverkande åtgärder och trafikflöden, modellstudie (SATT)	2020-2021	VTI, RISE	Tomas Lidén, <a href="mailto:tomas.liden@vti.se">tomas.liden@vti.se</a>	2022-03-31
Decision support for railway crew planning (DSRCP)	2020	LiU, SJ, IVU, TU Wien	Elina Rönnberg, <a href="mailto:elina.ronnberg@liu.se">elina.ronnberg@liu.se</a> , Åsa Svensson, <a href="mailto:asa.Svensson@sj.se">asa.Svensson@sj.se</a> , Christian Blome, <a href="mailto:cbl@ivu.de">cbl@ivu.de</a> Günther Raidl, <a href="mailto:raidl@ac.tuwien.ac.at">raidl@ac.tuwien.ac.at</a> Anders Petersson, <a href="mailto:anders.peterson@liu.se">anders.peterson@liu.se</a>	2022-03-31
Nyttjandegrad för anläggningar som bangårdar och terminaler (NYTTA)	2021	KTH	Behzad Kordnejad, <a href="mailto:behzad.kordnejad@abe.kth.se">behzad.kordnejad@abe.kth.se</a>	2022-03-31
Digitalization and Automation of Freight Rail (Fr8Rail II WP3)	2018-2021	RISE, LiU, KTH, BTH, VTI, LU	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a>	2022-03-31
Indicator monitoring for a new railway paradigm in seamlessly integrated cross modal transport chains – Phase 2 (Impact-2, WP7)	2017-2021	RISE	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a>	2022-03-31
Förseningarnas påverkan på efterfrågan av tågresor – en tidserieanalys (DeDe Delay ↔ Demand)	2020-2021	KTH	Per Näsman, <a href="mailto:per.nasman@abe.kth.se">per.nasman@abe.kth.se</a>	2022-03-31
Detaljeringsnivåer i tidtabellsplanering: mikro och makro (MIMA)	2020-2021	RISE	Sara Gestrelus, <a href="mailto:sara.gestrelus@ri.se">sara.gestrelus@ri.se</a>	2022-03-31

Smart Planning and Safety for a safer and more robust European railway sector (PLASA 2)	2018-2020	KTH, Lunds Universitet, DB, Siemens, Hacon	Oskar Fröidh, <a href="mailto:oskar.froidh@abe.kth.se">oskar.froidh@abe.kth.se</a> , Magnus Wahlborg, <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2021-03-31
Flexibilitet och återställningsförmåga som tidtabellsmått (FlexÅter)	2016-2020	KTH	Markus Bohlin, <a href="mailto:markus.bohlin@abe.kth.se">markus.bohlin@abe.kth.se</a> , Magnus Wahlborg, <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2021-03-31
Real time network management and simulation of increasing speed for freight trains (Fr8Hub, WP3)	2017-2020	KTH, Linköpings Universitet	Behzad Kordnejad, <a href="mailto:behzad.kordnejad@abe.kth.se">behzad.kordnejad@abe.kth.se</a> , Magnus Wahlborg, <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2021-03-31
Tidtabellskvalitet (TTK)	2017-2020	RISE, Linköpings Universitet	Anders Peterson, <a href="mailto:anders.peterson@liu.se">anders.peterson@liu.se</a> , Hans Dahlberg, <a href="mailto:hans.dahlberg@trafikverket.se">hans.dahlberg@trafikverket.se</a>	2021-03-31
Digitalization and Automation of Freight Rail (Fr9Rail II WP4)	2018-2020	RISE	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a> , Anders Ekmark	2021-03-31
Bankapacitet och kostnadselasticitet för reinvesteringar (BANKER)	2019-2020	VTI	Kristofer Odolinski, <a href="mailto:kristofer.odolinski@vti.se">kristofer.odolinski@vti.se</a> , Pär-Erik Westin	2021-03-31
Utformning av servicefönster för varierande trafik- och underhållssituationer (UHF)	2019-2020	Linköpings Universitet	Tomas Lidén, <a href="mailto:tomas.liden@liu.se">tomas.liden@liu.se</a> , Lars Brunsson, <a href="mailto:lars.brunsson@trafikverket.se">lars.brunsson@trafikverket.se</a>	2021-03-31
Tider för underhållsåtgärder i spår	2019-2020	VTI	Ragnar Hedström, <a href="mailto:ragnar.hedstrom@vti.se">ragnar.hedstrom@vti.se</a> , Joel Sultan, <a href="mailto:joel.sultan@trafikverket.se">joel.sultan@trafikverket.se</a>	2021-03-31
Grundorsaker till mänskliga felhandlingar vid operativ tågtrafikledning (FelOp)	2018-2020	VTI	Gunilla Björklund, <a href="mailto:gunilla.bjorklund@vti.se">gunilla.bjorklund@vti.se</a> , Anna Maria Östlund, <a href="mailto:annamaria.ostlund@trafikverket.se">annamaria.ostlund@trafikverket.se</a>	2021-03-31
Kapacitet i nätverk (KAIN)	2017-2019	KTH	Jennifer Warg, <a href="mailto:jennifer.warg@abe.kth.se">jennifer.warg@abe.kth.se</a> , Magnus Wahlborg, <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2020-03-31
Strategisk anläggningsplanering för balansering av underhåll och tågtrafik (STAPLA)	2019	Linköpings Universitet	Tomas Lidén, <a href="mailto:tomas.liden@liu.se">tomas.liden@liu.se</a> , Per Köhler, <a href="mailto:per.kohler@trafikverket.se">per.kohler@trafikverket.se</a>	2020-03-31
Grafiska prognostidtabeller (GraPro)	2018-2019	RISE	Sara Gestrelus, <a href="mailto:sara.gestrelus@ri.se">sara.gestrelus@ri.se</a> , Magnus Backman, <a href="mailto:magnus.backman@trafikverket.se">magnus.backman@trafikverket.se</a>	2020-03-31
DIALOG	2018-2019	Uppsala Universitet	Anders Arweström Jansson, <a href="mailto:anders.jansson@it.uu.se">anders.jansson@it.uu.se</a> , Jörgen Frohm, <a href="mailto:jorgen.frohm@trafikverket.se">jorgen.frohm@trafikverket.se</a>	2020-03-31
Transporttillgänglighet –	2017-2019	RISE	Martin Aronsson, <a href="mailto:martin.aronsson@ri.se">martin.aronsson@ri.se</a> , Lars	2020-03-31

tillgänglighetsnyckeltal för järnvägsnät och banunderhåll (TT-JOB)			Brunsson, <a href="mailto:lars.brunsson@trafikverket.se">lars.brunsson@trafikverket.se</a>	
Automatic Rail Cargo Consortium, WP 2-3 Swe (ARCC)	2016–2019	RISE, Linköpings Universitet, KTH	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a> , Magnus Wahlborg, <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2020-03-31
Utvärdering av förändringar i tågtrafikledningens beslutsfattande (UFTB samt UFTB II)	2014–2017 samt 2017-2018	Uppsala Universitet	Anders Arweström Jansson, <a href="mailto:anders.jansson@it.uu.se">anders.jansson@it.uu.se</a> , Jörgen Frohm, <a href="mailto:jorgen.frohm@trafikverket.se">jorgen.frohm@trafikverket.se</a>	2020-03-31
GridRail	2018–2019	Uppsala Universitet	Anders Arweström Jansson, <a href="mailto:anders.jansson@it.uu.se">anders.jansson@it.uu.se</a> , Jörgen Frohm, <a href="mailto:jorgen.frohm@trafikverket.se">jorgen.frohm@trafikverket.se</a>	2020-03-31
Automatiserad tågtrafikledning - förstudie	2018–2019	Uppsala Universitet	Anders Arweström Jansson, <a href="mailto:anders.jansson@it.uu.se">anders.jansson@it.uu.se</a> , Jörgen Frohm, <a href="mailto:jorgen.frohm@trafikverket.se">jorgen.frohm@trafikverket.se</a>	2020-03-31
Förstudie: Beslutsstöd för trafikledare: approximativa och exakta optimerande metoder (BLIXTEN)	2018–2019	Blekinge Tekniska Högskola	Johanna Törnquist Krasemann, <a href="mailto:johanna.tornquist.krasemann@bth.se">johanna.tornquist.krasemann@bth.se</a> , Göran Erskers, <a href="mailto:goran.erskers@trafikverket.se">goran.erskers@trafikverket.se</a>	2020-03-31
TRANS-FORM: Det svenska delprojektet	2016–2019	Blekinge Tekniska Högskola, Linköpings Universitet	Johanna Törnquist Krasemann, <a href="mailto:johanna.tornquist.krasemann@bth.se">johanna.tornquist.krasemann@bth.se</a>	2020-03-31
Mindre Störningar i Tågtrafiken (MIST)	2016–2019	Lunds Universitet	Len Hiselius, <a href="mailto:lena.hiselius@tft.lth.se">lena.hiselius@tft.lth.se</a> , Kenneth Håkansson, <a href="mailto:kenneth.hakansson@trafikverket.se">kenneth.hakansson@trafikverket.se</a>	2020-03-31
Utveckling av spridningsmått för störningar och deras påverkan på punktlighet (UTSPRIDD)	2018–2019	RISE	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a> , Mats Gummesson, <a href="mailto:mats.gummesson@trafikverket.se">mats.gummesson@trafikverket.se</a>	2020-03-31
Nyckeltal för punktlighet på järnväg (Nypunkt)	2018–2019	VTI	Ida Kristoffersson, <a href="mailto:ida.kristoffersson@vti.se">ida.kristoffersson@vti.se</a> , Magnus Wahlborg, <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2020-03-31
Strategisk anläggningsplanering för balansering av underhåll och tågtrafik – förstudie (STAPLA-F)	2018	Linköping Universitet	Tomas Liden, <a href="mailto:tomas.liden@liu.se">tomas.liden@liu.se</a> Pär Köhler, <a href="mailto:par.kohler@trafikverket.se">par.kohler@trafikverket.se</a>	2019-03-31
Samhällsekonomiskt effektiv fördelning av järnvägskapacitet (SamEff)	2015–2018	RISE	Martin Aronsson, <a href="mailto:martin.aronsson@ri.se">martin.aronsson@ri.se</a> Hans Dahlberg, <a href="mailto:hans.dahlberg@trafikverket.se">hans.dahlberg@trafikverket.se</a>	2019-03-31
Smart Planning and Safety for a safer and more robust European railway sector (Plasa)	2016–2018	KTH	Oskar Fröidh, <a href="mailto:oskar.froidh@abe.kth.se">oskar.froidh@abe.kth.se</a> Magnus Wahlborg, <a href="mailto:Magnus.wahlborg@trafikverket.se">Magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2019-03-31

Realiserbara och Ändamålsenliga Tidtabeller (RELÄET)	2016–2018	Linköping Universitet	Johanna Törnquist Krasemann, <a href="mailto:johanna.tornquist.krasemann@bth.se">johanna.tornquist.krasemann@bth.se</a> e Kristina Eriksson, <a href="mailto:kristina.eriksson@trafikverket.se">kristina.eriksson@trafikverket.se</a>	2019-03-31
Bankapacitet och kostnadselasticitet för underhåll	2017–2018	VTI	Kristofer Odolinski, <a href="mailto:kristofer.odolinski@vti.se">kristofer.odolinski@vti.se</a> Pär-Erik Westin, <a href="mailto:par-erik.westin@trafikverket.se">par-erik.westin@trafikverket.se</a>	2019-03-31
Effektiv planering av järnvägsunderhåll – servicefönster (EPLUS)	2013–2018	Linköping Universitet	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@liu.se">martin.joborn@liu.se</a> Lars Brunsson, <a href="mailto:lars.brunsson@trafikverket.se">lars.brunsson@trafikverket.se</a>	2019-03-31
Banarbeten – processer och datatillgång (Badaf)	2018	Lunds Universitet	Lena Hiselius, <a href="mailto:lena.hiselius@tft.lth.se">lena.hiselius@tft.lth.se</a> Rose-Marie Renberg, <a href="mailto:rose-marie.renberg@trafikverket.se">rose-marie.renberg@trafikverket.se</a>	2019-03-31
Avvikande hastighet på godståg	2016–2018	VTI	Ragnar Hedström, <a href="mailto:ragnar.hedstrom@vti.se">ragnar.hedstrom@vti.se</a> Elisabet Spross, <a href="mailto:elisabet.spross@trafikverket.se">elisabet.spross@trafikverket.se</a>	2019-03-31
Coordination of core European supply chains using Optimization (CO2REOPT)	2016–2018	RISE	Markus Bohlin, <a href="mailto:markus.bohlin@ri.se">markus.bohlin@ri.se</a> Fredrik Lundström, <a href="mailto:Fredrik.lundstrom@trafikverket.se">Fredrik.lundstrom@trafikverket.se</a>	2019-03-31
In2Rail, Intelligent Mobility Management (WP7-WP9)	2015–2018	RISE	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a> Magnus Wahlborg, <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2019-03-31
Förstudie tågsimulering och ERTMS	2018	VTI	Birgitta Thorslund, <a href="mailto:birgitta.thorslund@vti.se">birgitta.thorslund@vti.se</a> Magnus Wahlborg, <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2019-03-31
Flexibel omplanering av tåglägen vid driftstörningar (FLOAT)	2013–2017	BTH	Johanna Törnquist Krasemann <a href="mailto:Johanna.tornquist.krasemann@bth.se">Johanna.tornquist.krasemann@bth.se</a> e Peter Hammarberg <a href="mailto:peter.hammarberg@trafikverket.se">peter.hammarberg@trafikverket.se</a>	2018-03-31
Förbättrad tomflödesallokering i Samgods med hänsyn till angiven kapacitet – förstudie (TOMSAM)	2017	Sweco RISE	Henrik Edwards <a href="mailto:Henrik.edwards@sweco.se">Henrik.edwards@sweco.se</a> Petter Wikström, <a href="mailto:Petter.wikstrom@trafikverket.se">Petter.wikstrom@trafikverket.se</a>	2018-03-31
Increasing Capacity 4 Rail networks through enhanced infrastructure and optimized operations (Capacity4Rail)	2013–2017	Linköpings Universitet	Anders Peterson <a href="mailto:Anders-peterson@itn.liu.se">Anders-peterson@itn.liu.se</a> Magnus Wahlborg, <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2018-03-31
Utvärdering av tidtabellsstrategier	2012–2017	KTH	Markus Bohlin <a href="mailto:mbohl@kth.se">mbohl@kth.se</a> Magnus Wahlborg, <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2018-03-31
Förstudie utformning av rangerkonfiguration i prognostiserad vagnslasttrafik 2020–2040 (PRAGGE/PRAGGE2)	2015–2016	RISE	Martin Aronsson <a href="mailto:martin.aronsson@ri.se">martin.aronsson@ri.se</a> Mats Åkerfeldt <a href="mailto:mats.akerfeldt@trafikverket.se">mats.akerfeldt@trafikverket.se</a>	2017-03-31

Robusta Tidtabeller För Järnvägstrafik + (RTJ+)	2013–2016	Linköping Universitet	Anders Peterson <a href="mailto:anders.peterson@itn.liu.se">anders.peterson@itn.liu.se</a> Magdalena Grimm <a href="mailto:magdalena.grimm@trafikverket.se">magdalena.grimm@trafikverket.se</a>	2017-03-31
Framtidens Leveranstågplanprocess (FLTP)	2014–2016	RISE	Martin Aronsson <a href="mailto:martin.aronsson@ri.se">martin.aronsson@ri.se</a> Hans Dahlberg <a href="mailto:hans.dahlberg@trafikverket.se">hans.dahlberg@trafikverket.se</a>	2017-03-31
Optimering och tidtabelläggning	2014–2015	VTI, RISE, BTH	Jan-Eric Nilsson <a href="mailto:jan-eric.nilsson@vti.se">jan-eric.nilsson@vti.se</a> Hans Dahlberg <a href="mailto:hans.dahlberg@trafikverket.se">hans.dahlberg@trafikverket.se</a>	2017-03-31
Beslutsstöd och automation av tågtrafikstyrning (BAOT)	2013–2015	UU	Bengt Sandblad <a href="mailto:bengt.Sandblad@it.uu.se">bengt.Sandblad@it.uu.se</a> Peter Hammarberg <a href="mailto:peter.hammarberg@trafikverket.se">peter.hammarberg@trafikverket.se</a>	2017-03-31
Metoder att mäta och utvärdera stora trafikavbrott i persontrafik på järnväg	2015–2016	KTH	Bo-Lennart Nelldal <a href="mailto:bo-lennart.nelldal@abe.kth.se">bo-lennart.nelldal@abe.kth.se</a> , Elisabet Spross <a href="mailto:elisabet.spross@trafikverket.se">elisabet.spross@trafikverket.se</a>	2017-03-31
Spridningseffekter av störningshändelser i tågtrafiken (SPRIDA)	2016	RISE	Martin Joborn <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a> Elisabet Spross <a href="mailto:elisabet.spross@trafikverket.se">elisabet.spross@trafikverket.se</a>	2017-03-31
Tidtabelläggning med hjälp av simulering	2010–2015	KTH	Bo-Lennart Nelldal <a href="mailto:bo-lennart.nelldal@abe.kth.se">bo-lennart.nelldal@abe.kth.se</a> , Magnus Wahlborg <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Överbelastad infrastruktur - var går gränsen?	2010–2015	KTH	Bo-Lennart Nelldal <a href="mailto:bo-lennart.nelldal@abe.kth.se">bo-lennart.nelldal@abe.kth.se</a> , Magnus Wahlborg <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Kapacitetsanalys i ett nätverksperspektiv	2014–2015	KTH	Oskar Fröidh <a href="mailto:oskar.froidh@abe.kth.se">oskar.froidh@abe.kth.se</a> Kristina Eriksson <a href="mailto:kristina.eriksson@trafikverket.se">kristina.eriksson@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Framtida operativa tågtrafiksystemet - FOT	2013–2015	UU	Bengt Sandblad <a href="mailto:bengt.Sandblad@it.uu.se">bengt.Sandblad@it.uu.se</a> Robin Edlund <a href="mailto:robin.edlund@trafikverket.se">robin.edlund@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Effektsamband för underhåll av järnväg	2015	KTH	Oskar Fröidh <a href="mailto:oskar.froidh@abe.kth.se">oskar.froidh@abe.kth.se</a> Clas-Göran Rydén <a href="mailto:clas-goran.ryden@trafikverket.se">clas-goran.ryden@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Trafikinformation lägesbild	2014–2015	UU	Bengt Sandblad <a href="mailto:bengt.Sandblad@it.uu.se">bengt.Sandblad@it.uu.se</a> Kent Olsson <a href="mailto:kent.olsson@trafikverket.se">kent.olsson@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Uppföljning och prediktion - UoP	2014–2015	BTH, RISE	Johanna Törnquist Krasemann <a href="mailto:johanna.tornquist.krasemann@bth.se">johanna.tornquist.krasemann@bth.se</a> Magnus Wahlborg <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Punktlighet genom målpunktsstyrning - PUMPS	2014	RISE, (Transrail Sweden AB)	Martin Joborn <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a> Tomas Arvidsson <a href="mailto:tomas.arvidsson@trafikverket.se">tomas.arvidsson@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Klimat på spåret - KLIPS	2013–2014	RISE	Martin Aronsson <a href="mailto:martin.aronsson@ri.se">martin.aronsson@ri.se</a> Mats Åkerfeldt	2016-03-31



			<a href="mailto:mats.akerfeldt@trafikverket.se">mats.akerfeldt@trafikverket.se</a>	
Tidtabellsoptimering för malmtrafikens expansion - TOMTE	2014	RISE	Martin Joborn, <a href="mailto:martin.joborn@ri.se">martin.joborn@ri.se</a> Dick Carlsson <a href="mailto:dick.carlsson@lkab.se">dick.carlsson@lkab.se</a>	2016-03-31
Tågplan 2015 Lean Marakasen	2012–2014	RISE	Martin Aronsson <a href="mailto:martin.aronsson@ri.se">martin.aronsson@ri.se</a> Hans Dahlberg <a href="mailto:hans.dahlberg@trafikverket.se">hans.dahlberg@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Optimal networks for train integration management across Europe - ONTIME	2013–2014	UU	Bengt Sandblad <a href="mailto:bengt.Sandblad@it.uu.se">bengt.Sandblad@it.uu.se</a> Magnus Wahlborg <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Förstudie uppföljning, kapacitetsplanering, simulering och trafikstyrning - FUKS	2013–2014	BTH, LiU, RISE, UU, KTH	Johanna Törnquist Krasemann <a href="mailto:johanna.tornquist.krasemann@bth.se">johanna.tornquist.krasemann@bth.se</a> Magnus Wahlborg <a href="mailto:magnus.wahlborg@trafikverket.se">magnus.wahlborg@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Samhällsekonomiska prioriteringskriterier vid tåglägestilldelning - SPIT	2013–2014	RISE	Martin Aronsson <a href="mailto:martin.aronsson@ri.se">martin.aronsson@ri.se</a> Hans Dahlberg <a href="mailto:hans.dahlberg@trafikverket.se">hans.dahlberg@trafikverket.se</a>	2016-03-31
Beräkningsstöd för planering och resursallokering på rangerbangårdar - RANPLAN	2012–2013	RISE	Markus Bohlin <a href="mailto:markus.bohlin@ri.se">markus.bohlin@ri.se</a> Hans Dahlberg <a href="mailto:hans.dahlberg@trafikverket.se">hans.dahlberg@trafikverket.se</a>	2016-03-31



Forskningsprogram Kapacitet i järnvägstrafiken

Ett samarbete mellan:

