

RAPPORT

Excellens järnväg

Årsrapport för år 2024



Trafikverket

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

Konfidentialitetsnivå: publik rapport, ej känslig

Dokumenttitel: Excellens järnväg Årsrapport för år 2024

Redaktör: Magnus Wahlborg, Trafikverket

Dokumentdatum: 2025-04-02

Ärendenummer: TRV2025/11606

Publikationsnummer: 2025:082

ISBN: 978-91-8045-448-3

Innehåll

Excellens järnväg 2024.....	4
1 Excellensområde 1 – spårfordonsteknik och dynamik.....	6
2 Excellensområde 2 – hjulpar och bromssystem.....	9
3 Excellensområde 3 – Banteknik.....	11
4 Excellensområde 4 – Anläggningskonstruktioner.....	13
5 Excellensområde 5 – Elkraft/kraftförsörjning och traktionssystem.....	19
6 Excellensområde 6 – signalsäkerhetssystem.....	21
7 Excellensområde 7 – trafikplanering och styrning.....	24
8 Excellensområde 8 – Drift och underhåll.....	26
9 Excellensområde 9 – kapacitet och punktlighet.....	28
10 Excellensområde 10 – Systemperspektiv på järnvägen..	31

Excellens järnväg 2024

Fungerande transporter är en förutsättning för att ett samhälle ska fungera, för ekonomisk utveckling, jobbskapande och bostadsförsörjning. En attraktiv, konkurrenskraftig järnväg är nödvändig för att möta morgondagens ökade transportbehov. Som det minst klimatbelastande transportslaget är också järnvägen avgörande för att nå klimatmålen och öka folkhälsan. Forskning och innovation har stor potential att bidra till målen och att stimulera svensk innovations- och konkurrenskraft, samt att stärka svensk järnvägsforskning och de svenska universitetsmiljöerna.

Den framtida Järnvägsforskningen utvecklas utifrån existerande järnvägscentra, vilka är:

- Järnvägsgruppen Kungliga tekniska högskolan (KTH)
- Charmec Chalmers tekniska högskolan (CTH)
- Järnvägstekniskt centrum (JVTC), Luleå tekniska universitet (LTU)
- Kapacitet i Järnvägstrafiken (KAJT)

För KAJT är Linköping värduniversitet och övriga parter är Kungliga Tekniska Högskolan, Lunds Universitet, Uppsala Universitet och Blekinge Tekniska Högskola.

Excellens järnväg är uppdelat i följande 10 områden:

1. Fordonsteknik/Fordonsdynamik
2. Hjulpar och bromssystem
3. Banteknik/Banmekanik
4. Konst- och markbyggnad/Anläggningskonstruktioner
5. Elkraft/Kraftförsörjning och traktionssystem
6. Signalsäkerhetssystem
7. Trafikplanering och Trafikstyrning
8. Drift och underhåll
9. Kapacitet och punktlighet
10. Systemperspektiv på järnvägen (Järnvägssystemet, Systemarkitektur, Energi och miljösystem, Godstrafik, Persontrafik, Samhällsperspektiv, MTO, Säkerhet, m.m.)

De tio områdena är samtliga att betrakta som Excellensområden det vill säga områden som är kritiska för järnvägsbranschens fortsatta utveckling och fortlevnad. Områdena grupperas inom följande excellensområden:

- Område 1-6 utgör Excellensområden, teknik
- Område 7-9 utgör Excellensområden funktion
- Område 10 utgörs av Systemperspektiv som tar ett helhetsgrepp (cross cutting) över definierade områden och gränssnitt däremellan. Området omfattar också att identifiera och beskriva kommande forskning- och innovationsbehov.

Organisation och verksamhetsupplägg

Excellensområden järnväg drivs som enskilda projekt per FoI-utförare och excellensområde. Projektfinansiering får år 2024 beslutades av US portfölj/styrgrupp Program europeiskt och svenskt samarbete inom järnvägsområdet och dess projektsponsor Christer Löfving i december 2023 utifrån inskickade verksamhetsplaner.

Trafikverket inre grupp för styrning och organisation är:

Roll

Christer Löfving	Sponsor Excellens Järnväg
Anders Carolin	Programchef Excellens järnväg
Magnus Wahlborg	Sammanhållande Excellens järnväg
Sofia Johansson	Stödjande funktion och kvalitet Excellens järnväg
Linda Franzén	Controller och ekonomi Excellens järnväg

Nedanstående bild visar kontaktpersoner december 2024.

Under året har det varit regelbundna möten med FoI centras kontaktpersoner och Trafikverkets kontaktpersoner.

Verksamheten drivs per excellensområde där Trafikverket kontaktpersoner och foI centras kontaktpersoner har regelbundna möten kring arbetet.

Under år 2024 har en resultatkonferens genomförts hos Luleå Tekniska universitet den 2 och 3 oktober. Dag 1 presenterades forskningen inom Excellens järnväg för de tio olika excellensområdena. Dag 2 innehöll diskussion och arbetsmöten kring utveckling av excellensområden, en workshop om område 8 Drift och Underhåll och en workshop om område 10 Systemperspektiv.

Excellensområde Benämning	Deltagare i EO		Kontaktpersoner Trafikverket	EXCELLENSOMRÅDE						
	Ansvarig Samordnare	Deltagande miljöer		KTH	CTH	LTU	LU (LTH)	UU	BTH	LIU
VO Underhåll EO1 - Spårfordonsteknik och dynamik	KTH		Kontaktperson TRV: Johan Gunnarsson (Möller Pettersson)	Sebastian Stichel						
VO Underhåll EO2 - hjulpar och bromssystem	CTH	LTU	Kontaktperson TRV: Martin Schilke (Möller Pettersson)		Anders Ekberg	Udag Kumar (Veronica Jägare)				
VO Underhåll EO3 - Banteknik	CTH	LTU	Kontaktperson TRV: Jan-Erik Mejer (Möller Pettersson)		Anders Ekberg	Udag Kumar (Veronica Jägare)				
VO Underhåll EO4 - Anläggningskonstruktioner	CTH KTH LTU	JVTC, LKAB, TRV, Vinnova	Kontaktperson TRV: Mario Ploj	Raid Karoumi	Joosef Leppänen	Gabriel Sas				
VO Underhåll EO5 - Elkraft/Kraftförsörjning och traktionsystem	KTH	LTU	Kontaktperson TRV: Anders Bülund	Stefan Östlund (Sebastian Stichel)		Math Bollen				
VO Underhåll EO6 - Signal säkerhetssystem	KTH		Kontaktperson TRV: Per Olsson (Möller Pettersson)	Mats Bengtsson						
VO Planering EO7 - Trafikplanering och styrning	LIU - samt KAJT Gruppen	KAJT	Kontaktperson TRV: Magnus Wahlborg	Oskar Fröidh			Carl-William Palmqvist	Jessica Lindblom	Mattias Dahl	Excellensområdesleda re: Anders Peterson Föreståndare KAJT: Knut Isakov
VO Underhåll EO8 - Drift och Underhåll	LTU	JVTC, KTH, CTH, KAJT	Kontaktperson TRV: P-O Larsson Kråk		Joosef Leppänen	Udag Kumar (Veronica Jägare)				
VO Planering EO9 - Kapacitet och punktlighet	LU samt LIU - KAJT Gruppen	KTH, LU, LIU	Kontaktperson TRV: Magnus Wahlborg	Oskar Fröidh			Excellensområd esledare: Carl-William Palmqvist			Anders Peterson Föreståndare KAJT: Martin Joborn
VO Underhåll EO10 - Järnvägssystemet	KTH - J-vägsgr: Sammanhållande	CTH- CHARMEC VTI (ev KAJT)	Kontaktperson TRV: Josef Malas	Ellen Bergseth	Anders Ekberg	Udag Kumar				

1. **Excellensområde 1 – spårfordonsteknik och dynamik**

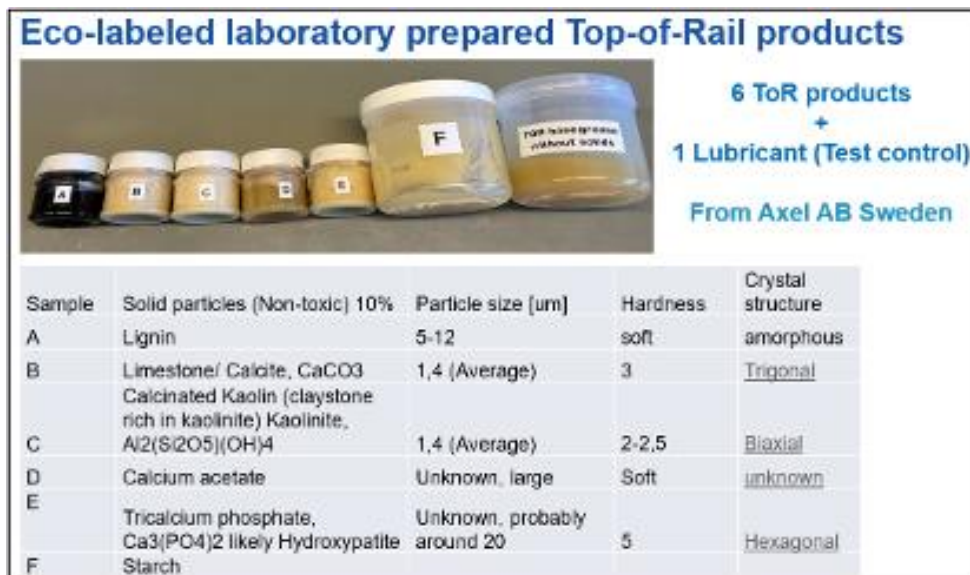
Genomförda aktiviteter, uppnådda resultat och ekonomi

KTH Järnvägsgruppen har fått in doktoranden Dávid Prifer inom området fodonsbaserad tillståndsbaserad underhåll. Hans finansiering kommer från excellensområdet samt EU-Rail projektet IAM4RAIL. Inom projektet kommer han att utveckla metoder som via sensorer på fordonet och maskininlärningsalgoritmer ska kunna upptäcka fel i fordonet (t.ex. instabilitet) eller i spåret (t.ex. spårlägesfel).

I ett annat doktorandprojekt jobbar doktoranden Rahma Boukhris med Top of Rail (ToR) produkter. Hon har genomfört två testserier med hjälp av modellprov. I den första testserien jämförde hon den tribologiska prestandan i hjul-räl-kontakten när den smörjs med ToR jämfört med när hjulmaterialet är lasercladdat. I den andra testserien jämförde hon friktion och partikelemission mellan kommersiella ToR och nyformulerade, miljömärkta alternativ (Figur). Eftersom modelltest inte representerar den verkliga hjul-rälkontakten behövs prov på annan skala, helst med godstågslok med vagnar som kan ha problem med greppet. Idag har alla moderna lok flänssmörjning, där man vill smörja kanten på rälen och flänsen på hjulet, inte toppen på rälshuvudet där man vill applicera ToR-produkter. Flänssmörjning hamnar överallt och olika operatörer smörjer olika mycket, så om man testat i trafikerat spår så vet man inte förutsättningarna om man inte stänger av spår och hyr lok och vagnar och testat kontrollerat, men det är dyrt. Andra alternativ är test i en sk rullrigg som bättre simulerar hjul-rälkontakten. Även om stambanor trafikeras väldigt annorlunda än Stockholms tunnelbana så kommer projektet följa implementeringen av ToR på tio platser i Stockholm tunnelbana. Rahma startade också med livscykelanalys av fordonsburna och spårplacerade ToR system.

Med hjälp av en liten budget inom excellensområdet har konferensen ”Nordic Seminar on Railway Technology organiserats och genomförts på KTH (se nere för mer information).

Den totala budgeten för excellensområde 1 under 2024 var 1190 kkr. Hela beloppet har arbetats upp enligt plan.



Figur 0 Foto (Rahma Boukhris) på labbprodukter A-F som har samma basfett men olika tillsatser/partiklar.

Behov och nytta

Förbättrade fordonskoncept kan leda till avsevärt lägre inköps- och underhållskostnader både för själva fordonet och infrastrukturen (främst spåret). Säkerställande av kontrollerad nedbrytning och förebyggande av haverier har en nyckelroll för att åstadkomma ett robust och punktligt järnvägssystem.

Spårfordon är idag tunga. Tendensen är tyvärr att fordon snarare går mot högre axellaster. Drivsystem på lok och motorvagnar blir också alltmer sofistikerade vilket leder till större långsgående laster på rälerarna. Viktminskning kan uppnås t.ex. med hjälp av korgstrukturer eller boggiramverk i kompositmaterial vilket genererar många frågor kring hållfastheten för dessa material för spårfordons typiska långa livslängder. Viktminskning kan dock även åstadkommas genom en förenklad fordonslayout såsom enkelaxliga löpverk och/eller bara ett fjädringssteg i fordonet. Detta medför dock nya utmaningar som behöver tas om hand med ny teknik som t.ex. aktiv fjädring.

Det är viktigt också att kunna bedöma spårvänligheten av ett fordon. En förutsättning för att kunna göra bedömningar är modeller som kan prediktera nedbrytningen av infrastrukturen. Spårfordons dynamiska egenskaper inklusive spårvänligheten är idag svåra att väsentligt förbättra med konventionella passiva fjäderkomponenter. Det förutspås en ökad användning av aktiva system som i andra fordonslag. Här uppkommer ett antal forskningsfrågor såsom prestanda, tillförlitlighet och säkerhet.

Tillståndsövervakning av den dynamiska samverkan mellan fordon och bana har också stor potential för att minska underhållskostnader och öka systemets tillgänglighet.

Friktionen mellan hjul och räl har en avgörande betydelse på hur utvecklingen av rullutmattningskador, här finns t.ex. olika typer av friktionsmodifierare (eller Top of Railkontakten). Däremot saknas kunskap i när och hur dessa bör appliceras i kontexten fordonsmonterade system samtidigt som potentialen är stor. Stockholms tunnelbana börjar använda en ToR-produkt 2025 och förhoppningsvis så minskar det rälsslitage, till exempel korrugering. Detta är något som kommer följas noggrant av KTH.

Ett annat viktigt fordonsrelaterat forskningsområde är urspårningsrisken vid höga längsgående krafter t.ex. vid bromsning i kurvor. Hur påverkar olika fordonstyper eller t.ex. de tilltänkta nya automatkopplarna?

Disseminering, koppling till Fol centra järnväg och samverkan

Arbetet inom Excellensområde 1 är nära kopplat till KTH Järnvägsgruppens övriga verksamhet och även till forskningen inom EU-Rail "Joint Undertaking". Arbetet inom excellensområdet utförs för närvarande enbart av KTH, via EU-Rail projekten finns dock ett nära samarbete även med järnvägscentrerna på Chalmers och i Luleå. Det pågår också samarbete med LBFoster genom kontakt på NRC i Kanada.

KTH Järnvägsgruppen genomförde konferensen "Nordic Seminar on Railway Technology" på KTH den 18 och 19 juni 2024. Konferensen hade 184 deltagare från 11 länder. Mycket av forskningen som bedrivs via excellenssatsningen och inom EU-Rail på KTH presenterades på konferensen. Forskning relaterad till EO1 presenterades också på TRA konferensen i Dublin, på "International Conference on Rail Transportation" i Shanghai och på Railways 2024 i Prag. Resultaten publiceras också kontinuerligt i internationella tidskrifter. T ex i Machines, Special Issue Wheel–Rail Contact: Mechanics, Wear and Analysis, The Effect of Top-of-Rail Products Incorporating Environmentally Acceptable Solid Particles on Friction, Retentivity, Wear and Airborne Particle Emissions of Wheel–Rail Contact.

Områdets status och utmaningar till nästa år

Vi har pågående aktiviteter i flera av de ovan nämnda områdena som har identifierats som viktiga. Som nämnts är doktorander aktiva inom tillståndsbaserat underhåll och val av friktionsmodifierare. Via EU-Rail projekten Rail4Earth och Future jobbar vi med alternativa drivsystem och cirkularitet, lätta fordon och aktiv fjädring, partikelemissioner och aerodynamik. En utmaning är att införa nya teknologier i kommersiella fordon då de kan vara lite dyrare initialt, men reducera livscykelkostnader. Vad gäller teknologier för spårvänliga fordon ligger idag ofta den högre kostnaden på operatören medan infrastrukturägaren får lägre underhållskostnader. Vi tror att införandet av differentierade spåravgifter med avseende på spårvänlighet av fordonet skulle kunna främja implementeringen av forskningsresultat. Ytterligare en utmaning är test av nya teknologier i trafikerade spår, test i fält.

Personal och kompetensområde

Excellensområdet leds av Sebastian Stichel, professor i Spårfordons dynamik. Andra seniora resurser vid institutionen för Teknisk Mekanik vid KTH är Prof. Mats Berg, lektorerna Carlos Casanueva och Per Wennhage och biträdande lektor Jonathan Leung samt forskare Stefan Wallin (aerodynamik). Vidare jobbar Prof. Ulf Olofsson och lektor Ellen Bergseth inom Maskinteknik med frågeställningar relaterade till partikelemissioner och friktionsmodifierare.

2 Excellensområde 2 – hjulpar och bromssystem

Genomförda aktiviteter, uppnådda resultat och ekonomi

Excellensområdet har haft en budget på 1,25 Mkr. Detta har spridits ut på sex aktiviteter. Finansieringen har kompletterat excellenshöjande aktiviteter där projektfinansiering inte täcker. Bland aktiviteterna kan nämnas delfinansiering av konstruktion och utbyggnad av en bromsrigg med ett rälhjul för att studera inverkan av rätkontakt på hjulets nedbrytning. Tidigare identifierade globala termiska instabiliteter har påvisats även vid riggtest vid Railway Technical Research Institute (RTRI) i Tokyo. En termisk modell som i detalj kan efterlikna de observerade löpbanetemperaturer har etablerats och kan visa hur temperaturhistorien bygger upp spänningarna i hjulringen. Vidare har en förbättrad beräkningsmetod för studier av rullkontaktutmattning utvecklats. Detta arbete utvecklar tidigare materialmodeller utifrån nya experimentella resultat från samarbetet med RTRI och från vår nya bromsrigg.

Under året har CHARMEC medverkat i utredningen av den hjulskada som orsakade en urspårning på Malmbanan 17 december 2023. I arbetet har kunskap, metoder och modeller från ett flertal forskningsprojekt tillämpas. Arbetet kommer utgöra en bilaga till haverirapporten vilken publiceras under våren.



Figur 1 Samverkan hjul och räil. Bild Anders Ekberg.

Behov och nytta

Underhåll av löpverk står för en mycket stor andel av vagnsunderhåll främst på godståg. Oplanerat underhåll tenderar att orsaka stora störningar i trafik. I värsta fall uppkommer haverier där skadorna kan uppgå till miljardbelopp. Med den kunskap och de prediktiva modeller som tagits fram kan hjulskador bättre kontrolleras och material, design och underhållsrutiner förbättras. Exakta vinster av undvikna förseningar och haverier är naturligtvis svåra att uppskatta, men kostnaden för excellensområdet ligger på i storleksordningen 0.25% av Trafikverkets direkta kostnad för reparation av Malmbanan efter urspårningen december 2023. Även forskningen relaterad till design, underhåll och drift ger stora

vinster i förbättrade produkter och handhavanden, men även från t.ex. förbättringar i godkännandeprocedurer och larmgränser som forskningen medverkar till.

Disseminering och samverkan

Projekt relaterade till excellensområdena har presenterats vid excellensområdenas resultatkonferens, vid två av CHARMECs publika seminarier, i vetenskapliga konferenser och i faktagranskade vetenskapliga artiklar. Under året har två doktorsavhandlingar (Erika Steyn och Daniel Gren) försvarats. Erikas studier behandlade effekten på hjulmaterial vid långvarig blockbromsning, samt värmebelastningens inverkan på rälmateriel vid processer som slipning och svetsning. Erikas experimentella resultat har även använts för att förbättra modeller för datorsimuleringar. I Daniels arbete undersöktes experimentellt effekten av deformation av hjul- och rälmateriel på sprickbildning och spricktillväxt.

Forskningssamarbete har skett med operatörer och industri för kontinuerlig implementering i design, drift, underhåll och uppföljning. Vi har även samarbetat med Statens haverikommission, Transportstyrelsen och UIC under året. Representanter från operatörer, industri och förvaltning är ledamöter i CHARMECs styrelse och informerades vid fyra styrelsemöten om excellensområdet.

Inom forskningsområdet samverkar vi naturligtvis med forskningsmiljöer såväl i Sverige som internationellt (t.ex. genom medverkan i EU-projekt), med gästforskare från Uni Brescia och Milano Polimi genom samarbete med Railway Technical Research Institute i Tokyo och Monash University i Melbourne).

Områdets status och utmaningar till nästa år

Järnvägstrafiken fortsätter öka och blir mer aggressiv (tyngre och snabbare, men framför allt med kraftigare inbromsningar och accelerationer). Detta innebär att nedbrytningen av löpverk och bromsar ökar. Samtidigt bör klimatavtrycket minska vilket innebär att livslängden hos löpverk och bromskomponenter bör ökas utan att (drift)säkerhet och materialåtgång påverkas negativt. Forskningen tittar på hur detta kan ske bl.a. genom förbättrad utformning och materialval. Parallellt sker forskning för att identifiera optimal reglering av bromssystemet, I detta är (önskad) spridning i bromseffekt mellan boggier och enstaka hjul en viktig aspekt.

Personal och kompetensområde

En stor del CHARMEC-anknutna forskare relaterar till detta excellensområde. Här kan vi speciellt nämna Tore Vernersson, Eric Voortman Landström, Matheus De Lara Todt och Roger Lundén (bromssystem), Johan Ahlström och Björn Andersson (materialbeteende vid höga temperaturer och rullkontakt), samt Elena Kabo och Anders Ekbergs (hjulkrafter och dess konsekvenser). Se även Excellensområde 3.

3 Excellensområde 3 – Banteknik

Excellensområdet har haft en budget på 2,5 Mkr. Detta har spridits ut på nio aktiviteter och finansierat excellenshöjande aktiviteter där projektbudget inte täcker.



Figur 2 Lokala sprickor (squats) på en räl på väg att bytas ut. Bild: Anders Ekberg

För spårväxlar har metoder för att bedöma förändringar i korsningsgeometri och sättningar från uppmätta sliperaccelerationer har utvecklats av Marko Milosevic som disputerade i maj. Projektet kopplar till Trafikverkets införande av slipermonterade accelerometrar för tillståndsovervakning. Parallellt visade Henrik Vilhelmson i sin licentiatuppsats på vägar för att förbättra den långsiktiga prestandan för korsningar genom att minska dynamiska hjul-rälkontaktkrafter och materialanvändning.

Initiering av rullkontaktsprickor i räker påverkas av kontaktspänningarna mellan hjul och räl vilka påverkas av nötning och plasticering, samt av rälmaterialets egenskaper vilka förändras genom hårdnande och deformation. I sin licentiatavhandling visade Nasrin Talebi hur dessa effekter minskar risken för initiering av rullkontaktsprickor vilket får inverkan på underhållsplaneringen. För att bättre prediktera denna nötning och plastisk deformation av rälen utvecklar Caroline Ansin en digital tvilling där regelbundna rälprofilmätningar används för att kalibrera ett simuleringsverktyg. Hur fort och i vilken riktning initierade sprickor i räl växer är viktigt då nedåtgående sprickor kräver stora underhållsåtgärder och kan orsaka rälsbrott. Mohammad Salah Nezhad försvarade under året en avhandling om detta.

För förbättrade underhållsmetoder ger Björn Anderssons avhandling en metodik utvecklats för att simulera (reparations-)svetsning för vilket han utvecklat mycket avancerade materialmodeller verifierade mot tester. Simuleringsresultaten används för att förbättra svetskvalitet och bedöma nya svetsmetoder

Med syfte att minska buller och vibrationer studerar forskningen bland annat uppkomst av skrik ljud i kurvor och hur minskat buller från fixerade spår.

Behov och nytta

Kvantifiera nytta av forskning är notoriskt svårt, men ett exempel är återställning efter urspårningen på Malmbanan i december 2023 där CHARMECs forskning om rälsbrott och solkurvor understödde Trafikverkets kontrollplan och diskussioner med Transportstyrelsen inför trafikstart vilket uppskattningsvis sparade in en kvarts miljard. Man kan här notera att budgeten för excellensområdet är 0,07% av LKABs uppskattade resultatminskning för första kvartalet 2024 som konsekvens av urspårningen på Malmbanan. Kanske viktigast är dock att forskningen ger förbättrad kunskap, mät- och analysförmåga inom banteknik vilken nödvändig för att klara konsekvenserna av den ökande och mer aggressiva trafik vi ser.

Disseminering och samverkan

Projekt relaterade till excellensområdena har presenterats vid excellensområdenas resultatkonferens, i sju presentationer på CHARMECs publika seminarier, i vetenskapliga konferenser och i faktagranskade vetenskapliga artiklar. Forskningen har även stärkt undervisningen inom området.

Forskningssamarbete sker kontinuerligt med operatörer och industri för förbättrade godkännandeprocédurer, haveriutredningar, konsultationer, utvecklingsprojekt m.m. Representanter från operatörer, industri och förvaltning är ledamöter i CHARMECs styrelse som informerats vid fyra möten om verksamheten i excellensområdet. Vi samverkar kontinuerligt med forskningsmiljöer i Sverige och internationellt inklusive medverka i betygsnämnder som opponent m.m.

Områdets status och utmaningar till nästa år

De mil av järnvägsspår kräver ett underhåll där millimeterstora defekter i material och geometri åtgärdas i tid. Om så inte sker gör den ökade trafiken på spåren konsekvenserna alltmer dyrbara. I princip all forskning inom excellensområdet relaterar till att förbättra tillgångsförvaltning och riskanalyser så att detta kan åstadkommas. Inte minst den prediktiva förmågan blir här allt viktigare då tid för (oplanerat) underhåll i banan blir allt mindre och orsakar förseningar.

Personal och kompetensområde

Flera CHARMEC-forskare relaterar till detta excellensområde. Här kan vi speciellt nämna Astrid Pieringer och Jannik Theyssen (buller), Jens Nielsen (banmekanik), Björn Pålsson (spårväxlar), Karl Norberg (tillståndsövervakning), Kourosh Nasrollahi (övergångszoner), Henrik Vilhelmson (spårväxlar), Magnus Ekh och Nasrin Talebi (materialdeformation), Elena Kabo och Mohammad Salahi Nezhad (sprickpropagering), Fredrik Larsson och Caroline Ansin (digitala tvillingar), samt Anders Ekberg (nedbrytning och haverier). Se även Excellensområde 2.

4 **Excellensområde 4 – Anläggningskonstruktioner**

Genomförda aktiviteter, uppnådda resultat och ekonomi

Excellensområde 4 (EO4): Anläggningskonstruktioner omfattar nybyggnad, förvaltning och återinvesteringar i anläggningskonstruktioner, såsom broar och tunnlar, samt grundläggning och säkerställande av stabilitet för såväl broar och tunnlar som bana. Excellensområdet omfattar teknikområdena geo-, bro- och tunnelteknik för järnväg.

Inom EO4 pågår forskningsaktiviteter vid Chalmers tekniska högskola, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) och Luleå Tekniska Universitet (LTU). Följande 9 aktiviteter (Chalmers: aktivitet 1-3, KTH: 4-5, LTU: 6-9) genomfördes under året inom EO4.

Aktivitet 1 - Koordinering

Beskrivning: Koordinering av excellensområdet.

Resultat: Förbättrad samordning av svensk forskning inom området. Samordnad planering och rapportering.

Aktivitet 2 - Interaktion jord - konstruktion

Beskrivning: Optimering av interaktion mellan jord och konstruktion ur ett systemperspektiv: funktionsbaserad dimensionering och övervakning av anläggningskonstruktioner för järnväg. Kunskapen nyttjas även som underlag för de modeller som behövs för digitala tvillingar i aktivitet 3.

Resultat: Kalkcementpelare har undersökts genom fälttester och cykliska triaxiella tester för att förstärka mjuka jordar under järnvägsbankar och minska deformationer. För att optimera design och långsiktig prestanda har även kostnadseffektiva övervakningslösningar med distribuerad fiberoptisk sensorteknik studerats. Data från genomförda tester kan användas för att validera numeriska modeller.

Aktivitet 3 - Förbättrad förvaltning med digitala tvillingar och övervakning

Beskrivning: Förbättrad förvaltning av järnvägsanläggningar genom prognostisering med digitala tvillingar, övervakning och dataassimilering.

Resultat: Prognostisering med 2D-modeller har genomförts av förstärkning med kalkcementpelare (se aktivitet 2) och resultaten visar att förenklade modeller inte kan användas för att validera beteende. För förbättrad förvaltning av järnvägsanläggningar erfordras komplexa 3D-modeller som beskriver hela systemet.

Aktivitet 4 – Machine learning for deterioration prediction of existing railway bridges based on continuous data streams

Beskrivning: Flera äldre järnvägsbroar i stål har problem med både korrosion och utmattning och det är svårt och kostsamt att hålla dessa broars tillstånd under kontroll genom manuella inspektioner. Maskininlärning (ML) kan användas för att etablera metamodeller för tolkning av uppmätta data och för förutsägelse av nedbrytning, vilket så småningom kommer att leda till ett mått på säkerhet (säkerhetsindex).

Resultat: ML modeller har utvecklats och jämförts med nya typer av sensormätningar från verkliga järnvägsbroar. Modellerna visar potential för att prediktera broars respons och återstående livslängd. Accelerationsmätningar kan omvandlas direkt till deformationsspektrum, vilket möjliggör övervakning av broars nedbrytning och uppskattning av återstående livslängd.

Aktivitet 5 – A framework for acceptable risk of railway bridges: an application for running safety criteria

Beskrivning: I normer används partialkoefficienter för att erhålla säkerhet på en acceptabel nivå. Tidigare studier har visat att en kalibrering av partialkoefficienterna inte har genomförts för dynamisk respons hos järnvägsbroar, särskilt när det gäller partialkoefficienter vid "running safety", som baseras på en ingenjörsmässig bedömning och denna säkerhet är inte nödvändigtvis är tillräcklig. Projektet syftar till att formulera nyttofunktionen för "running safety" genom att uppskatta de associerade riskerna och sedan beräkna målreliabilitetsnivån eller den acceptabla risknivån.

Resultat: En omfattande litteraturgenomgång av olika metoder, föreslagna i standarder och riktlinjer, för att uppskatta värden på målreliabilitet har genomförts. För uppskattning av värden på målreliabilitet som beror på byggnads-, reparations- och felkostnader relaterade till önskat tillstånd, har data samlats in som beror bl. a. på geografiska förhållanden för att användas i kommande analyser. Målreliabilitetsuppskattning är i grunden en optimeringsprocess. Dess iterativa natur kräver att säkerhetsindex uppskattas som en funktion av olika parametrar (såsom broars tvärsnittstyp, tvärsnittets tjocklek, antal spann) och den maximalt tillåtna driftshastigheten hos tåg.

Aktivitet 6 – Full scale laboratory test of trough bridges

Beskrivning: Målsättningen i detta projekt är att förbättra nuvarande standarder och föreskrifter för laster genom att tillhandahålla en mer realistisk utvärdering av kapaciteten hos trågbroar i armerad betong. Metodiken inkluderar provning av broar fullskala i labbet, utveckling och testning av broar i mindre skala, finita elementanalyser och hantering av olika parametrars osäkerheter vid dimensionering (säkerhetsfilosofi). Projektet kommer också att handla om att hitta den faktiska fördelningen av tåglasterna i bron.

Resultat: Arbetet som genomförts inkluderar definition av broars geometri och egenskaper, simuleringar av kapacitet, installation av fiberoptiska sensorer och deformationsmätare, samt gjutning och transport av broar. Testprogram för statiska, dynamiska och utmattningstester med upp till 10 miljoner cykler har slutförts, och upphandling av komponenter och mätutrustning är genomförd. Dataanalys, visuella och fotometriska inspektioner efter varje miljon cykler har också genomförts.

Aktivitet 7 – Climate impact on existing snow galleries on the Iron Ore line

Beskrivning: Syftet är att mäta och bedöma effekterna av förändringar i snöfall på befintliga snögallerior mellan Björkliden och Riksgränsen. Under de senaste åren har det noterats flera partiella kollapser av konstruktioner och orsaken antas vara relaterad till en kombination av faktorer som åldrande infrastruktur och kraftiga kortvariga snöfall. Det senare har skapat koncentrationer av snölaster som överstiger tillåtna gränser enligt befintliga byggregler och kan orsaka därför potentiella skador eller kollaps och troliga trafikstopp.

Resultat: Snögalleriornas kapacitet har utvärderats. Ett snöövervakningssystem har installerats på två olika platser och larmnivåer definierades baserat på korrelationen mellan uppmätta snölaster och galleriornas kapacitet. Vidare, en digital plattform har utvecklats för att visualisera insamlade data, samt har BIM och digital tvillingplattform upprättats.

Aktivitet 8 – Dissemination

Beskrivning: Spridning av ny kunskap inom området (kopplat till aktiviteter på LTU) till intressenter inom branschen, samt vetenskapliga artiklar och konferensartiklar.

Resultat: Se avsnitt ”Disseminering, koppling till foicentra järnväg och samverkan”.

Aktivitet 9 – Evaluation of Residual prestressing forces in bridges using NDTs

Beskrivning: Målsättning med projektet är utvärdera den återstående kapaciteten hos förspända betongbroar med oförstörande provningsmetoder. Utvärdering av initiala förspänningskrafter, förekomsten av korrosion, hålrum, sprickbildning och andra nedbrytningsprocesser studeras som kan avsevärt minska broars bärförmåga.

Resultat: Litteraturstudier av oförstörande provningsmetoder är genomförda, samt analyser av insamlade data från provbelastning av Kalixbron, installation av instrumentering och tester för att mäta återstående kapacitet, samt betongprover från Kalixbron. Vidare, har en numerisk modell skapats för Kalixbron och beräkningar i bruksgränstillstånd är genomförda, där data från modellen är analyserad och kalibrerad efter provbelastningen, samt har utvärdering av den aktuella förspänningskraften (efter lång tid) baserad på tester jämförts med beräkningar enligt EC2 där förluster av förspänningskraften (efter lång tid) har beaktats.

Behov och nytta

För hållbar förvaltning och byggande av anläggningskonstruktioner krävs minskade underhållskostnader samtidigt som befintliga konstruktioner behöver utnyttjas längre. Dessutom behöver nya anläggningskonstruktioner utformas och byggas optimalt med hänsyn till ekonomi och miljöbelastning. Förbättrad förvaltning med ett högre nyttjande av befintliga konstruktioner kan uppnås genom utveckling av förvaltnings- och underhållsmetoder som utnyttjar inspektion och övervakning i kombination med modellering och analys. Ett effektivare byggande kan uppnås genom optimering av konstruktioner, rätt materialval, implementering av innovativa lösningar och förbättrad utvärdering av kostnads- miljö- och samhällsaspekter. Syftet är också att stödja beslutsfattare i valet av åtgärder för underhållsplanering och livslängds-bedömning av befintliga järnvägsbroar.

Det breda området Anläggningskonstruktioner innefattar delområden såsom:

1. Optimal utformning med hänsyn till säkerhet, funktion, tillförlitlighet och beständighet.
2. Effektiv förvaltning, inklusive tillståndsbedömning, underhåll och förbättrings-åtgärder med hänsyn till nedbrytning, förändrade krav och klimatpåverkan.
3. Digitaliseringens möjligheter inom såväl nybyggnad, med förbättrade möjligheter till optimering och breda beslutsunderlag i tidiga skeden, som inom förvaltning, med möjlighet till kontinuerlig övervakning och analys för prediktivt underhåll.
4. Analytisk och numerisk modellering med statiska, cykliska och dynamiska laster för såväl tillståndsbedömning av befintliga strukturer, som för nykonstruktion och förbättringsåtgärder.
5. Laboratorie- och fältförsök, övervaknings- och inspektionsmetoder.
6. Utveckling av konstruktionslösningar, konstruktionsmaterial, och förbättring av regelverk.
7. Klimatneutral infrastruktur.

Disseminering, koppling till Fol centra järnväg och samverkan

Deltagande i: Resultatkonferens Excellensområden för järnvägsforskning 2024, Luleå, oktober 2024.

Koppling till foi centra: CHARMEC (Chalmers Railway Mechanics), Järnvägstekniskt centrum (JVTC), Järnvägsgruppen KTH (KTH Railway Group).

Excellensområdets verksamhet har stark koppling till följande excellensområden: Fordonsteknik / fordonsdynamik; Banteknik; Drift och underhåll. Dessutom finns koppling till: Kapacitet och punktlighet; Järnvägssystemet; Hjulpar och bromssystem

Samverkan med Trafikverket sker via medverkan i kompetenscentrums styrelser, i referensgrupper och via engagemang i operativa projekt. Detaljer ges i respektive forskningsmiljös/projekts rapportering. Samverkan med Trafikverkets organ för branschsamverkan inom FOI, BBT och BIG, sker genom representation i styrelsen för dessa.

Samverkan med andra problemägare och intressenter sker via medverkan i kompetenscentrums styrelser, i referensgrupper och via engagemang i operativa projekt. Detaljer ges i respektive forskningsmiljös/projekts rapportering.

Områdets status och utmaningar till nästa år

Projektet följer tidplan utan avvikelser. Ny postdoc behöver rekryteras på Chalmers och ny doktorand på Luleå.

Personal och kompetensområde

Personal: Inom Excellensområde 4 (EO4) pågår forskningsaktiveter vid Chalmers tekniska högskola, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) och Luleå Tekniska Universitet (LTU). Deltagande forskare på Chalmers: Joosef Leppänen, Jelke Dijkstra och Dawn Wong, på KTH: Raid Karoumi och John Leander, på LTU: Gabriel Sas och Jaime Gonzalez-Libreros.

Kompetensområden inom EO4: Analytisk och numerisk modellering som beskriver verkningssätt för statiska, cykliska och dynamiska laster, samt klimatpåverkan för nybyggnad och befintliga anläggningskonstruktioner.

Metoder och modeller för dynamisk belastning och respons, t.ex. med avseende på nyanserade samband för dämpning, optimala broar, sannolikhetsbaserade metoder, nya tåglastmodeller.

Laboratorie- och fältförsök, övervaknings- och inspektionsmetoder för konstbyggnader, bank och grundläggning.

Metoder som bygger på AI och Big Data för planering av inspektioner och underhållsåtgärder.

Beaktande av livscykelperspektiv tidigt i projekteringskedet och teknisk kommunikation mellan de aktörer som är involverade i och/eller är beroende av markbyggnad, anläggningskonstruktioner och banunderhåll.

5 **Excellensområde 5 – Elkraft/kraftförsörjning och traktionssystem**

Genomförda aktiviteter, uppnådda resultat och ekonomi

Två projekt har bedrivits inom excellensområdet:

Dynamisk samverkan mellan strömavtagare och kontaktledning

Bastian Schick är doktorand inom området sedan våren 2021. Han jobbar i nära samarbete med Trafikverket och SJ för att vidareutveckla simuleringsverktyget CaPaSIM. Därutöver utvecklar han nya tillämpningar av simuleringsverktyget, såsom dynamisk karakterisering av strukturella fel och slitageprediktering. Beräkningsfallen för den internationella benchmarkstudien är definierade. Det svenska SYT 15/15 systemet kommer att ingå.

Vidare håller Bastian på att skriva ett manuskript om prediktering av slitage på kolskenan med hjälp av simuleringar. Bastian har också presenterat resultat på 22nd Nordic Seminar on Railway Technology i Stockholm i juni 2024 och på Third International Conference on Rail Transportation i Shanghai i augusti 2024.

Kompatibilitet och interoperabilitet i 16,7 Hz banmatningssystem – postdoktor

Den 1 april 2024 anställdes Carla Petta som doktorand inom området på ett separat avtal med TrV. Bakgrunden till projektet rapporterades i årsrapporten för 2023.

Excellensområdet beslutade också under våren 2024 att under perioden 2024-09-01 – 24-12-31 anställa en postdoktor, Johnny Holmberg, för att studera lågfrekventa oscillationer i banmatningsnät. Genom rekryteringen som samfinansieras mellan excellensområdet och andra projekt inklusive industrin (Alstom) kommer KTH:s verksamhet inom kompatibilitet mot elkraftnät att bli extremt konkurrenskraftig. Det blir därmed möjligt att bredda och fördjupa kunskapen när det gäller t. ex. banmatningsnäts kompatibilitet som stöd för det påbörjade doktorandprojektet.

Behov och nytta

Behoven av kompetens inom elkraftområdet är stort. Det är nödvändigt att utnyttja den excellens som finns på universiteten i samverkan med branschens parter och detta måste ske långsiktigt. Under året har detta diskuterats ett flertal gånger och t.ex. nyttan av att regelmässigt kunna erbjuda attraktiva examensarbeten har poängterats.

Disseminering, koppling till Fol centra järnväg och samverkan

EO5 har stark koppling till KTH Järnvägsgruppen och JvTC, Järnvägstekniskt centrum vid Luleå Tekniska Universitet. Excellensområdets resurser till KTH budgeteras via KTH Järnvägsgruppen.

Som noterades redan i årsrapporten för 2023 har inte en motsvarande budgetering för verksamheten på LTU via JvTC upprättats. Under året har kontakter tagits mellan LTU institutionen i Skellefteå och JVTC och Elkraft LTU är nu med i JVTC.

Områdets status och utmaningar till nästa år

Elkraftteknik är, inte minst med avseende på den pågående elektrifieringen av transportsystemet, fortsatt ett efterfrågat område. Det har accentuerats under senare år och det är krävande att både rekrytera ingenjörer till branschen men framförallt att rekrytera bra doktorander. Konkurrensen är hård. Vi är glada för den rekrytering som skett under 2024 men inom området behöver fler anställas för att upprätthålla kritisk massa.

Personal och kompetensområde

Excellensområdet är väl bemannat med flera lärare/forskare på vardera medverkande universitet.

KTH:

Stefan Östlund, professor i elkraftteknik, elektrisk traktion

Staffan Norrga, Universitetslektor inom högeffektelektronik

Xiongfei Wang, Professor inom styrning av elkraftsystem

Ilka Jahn, Biträdande universitetslektor, högeffektelektronik

Qinwen Qu, universitetslektor inom elkraftsystem

LTU:

Math Bollen. Professor i elkraftsystem och elkvalitet

Per Westerlund, forskare i elkraftsystem och elkvalitet

6 Excellensområde 6 – signalsäkerhetssystem

Genomförda aktiviteter, uppnådda resultat och ekonomi

Koordinering av pågående verksamhet inom det övergripande området, men även planering av framtida verksamhet, har skett, bl a i möten med Trafikverket relaterade till nästa utlysningssomgång inom Europe's Rail.

I samarbete med Blekinge Tekniska Högskola och Excellensområde 7, har en förstudie "RAIL-SENSE Radar and AI-based Live Surveillance for Enhanced Network Safety" beviljats medel från Trafikverkets FoI-portfölj "Möjliggörande/Vidmakthålla". Detta projekt om radar-baserade lösningar för övervakning av spårområdet kommer att genomföras under 2025-2026, med planerad testaktivitet vid Tillberga-Tortuna.

Inom tågpositionering har studierna fortsatt av hur digital kartinformation kan användas på bästa sätt som ett komplement till GNSS och andra positioneringssensorer. Experimentella utvärderingar har gjorts med öppet tillgängliga mätdata från en tysk mätkampanj, där ett tåg hade utrustats med två olika GNSS-mottagare med olika noggrannhet, kombinerat med mätningar från en Inertial Measurement Unit (IMU) med treaxliga accelerometrar och gyroskop, samt en noggrann digital karta. Resultaten har presenterats vid FUSION-konferensen i juli 2024, samt både muntligt och som poster vid Nordic Railway Seminar, juni 2024. Parallellt, har diskussioner förts med Trafikverket och Svensk Maskinprovning AB om tillgång till mätdata från svenska testtåget med automatkoppel, samt planering för kommande testverksamhet tillsammans med Wabtec. Tyvärr har vi ännu inte fått tillgång till några mätdata, så den planerade analysen har blivit uppskjuten.

Under 2024 har arbete utförts med att utveckla en trafiksimuleringsmodell som kunna användas för att studera system (bl.a. ATO, TMS, C-DAS, Moving Block, Virtuellt kopplade tåg, etc) som är svåra att modellera i de simuleringsverktyg som används av KTH och Trafikverket idag. Utvecklingen har kommit så långt att det finns en grundmodell för körtidsberäkning och deterministisk förseningssimulering (tågen interagerar med varandra via signalsystemet ERTMS L2). Data från Trafikverkets nationella RailSys-modell har använts för att bygga upp en fordonsmodell för X60 och en infrastrukturmodell för pendeltågssystemet mellan Spånga och Ulriksdal i norr, via Citybanan, till Huddinge och Trångsund i söder.

I samband med ett annat projekt finansierat av Trafikverket (KAJT, HESE2), så har modellen använts för att ta fram alternativa körprofiler som ger robustare headway-beräkningar och som kan användas av ATO- eller C-DAS system för att minska energiförbrukningen när tågen är i tid.

KTH har under tidig vår även varit i kontakt med trafikförvaltningen i Stockholm för att be om utdrag från fordonsloggar som kan användas för att analysera förarbeteende och uppehållstider. Det var dock inte möjligt vid tillfället p.g.a. det förestående bytet av operatör (från MTR till SJ), och det hänvisades till data från Trafikverkets elmätare, som inkluderar

positionsangivelser. Denna data är dock GPS baserad, och fungerar av den anledningen inte i Citybanan. KTH avser att ta kontakt med Trafikförvaltningen igen när modellen har kommit längre i utvecklingen.

Modellutvecklingen fortsätter under 2025 med att: validera modellen mot andra verktyg, göra förseningssimuleringen stokastisk och implementera ett enkelt TMS system. Det är tänkt att modellen ska appliceras på Citybanan för att studera om/hur TMS kan användas för att öka kapaciteten och minska energiförbrukningen. Därefter ska resultaten publiceras i en vetenskaplig publikation.

Behov och nytta

Det finns ett stort behov av modernisering, effektivisering och automatisering av signalsäkerhetssystemen i svenska järnvägsnätet. För att detta ska kunna bli en realitet både på huvudbanor och lågtrafikbanor krävs skalbara lösningar som är ekonomiskt genomförbara. Viktiga ingredienser är både underliggande tekniska lösningar såsom radiobaserad kommunikation, sensorer och sensoranalys, cybersäkerhet och formella metoder, men också nya trafikeringslösningar såsom olika nivåer av ATO, Moving block och virtuellt kopplade tåg.

Disseminering, koppling till Fol centra järnväg och samverkan

Arbetet inom EO6 redovisas till branschen främst genom Excellensområdeskonferensen samt seminarier serien organiserad av KTH Järnvägsgruppen. Forskningen redovisas genom nationella och internationella konferenser, samt i kvalitetsgranskade journaler.

Områdets status och utmaningar till nästa år

Mycket utvecklings- och specifikationsarbete sker inom ramen för Europe's Rail. En stor utmaning är att nå fram till skalbara och flexibla lösningar som både är ekonomiskt genomförbara och kan accepteras inom hela Europa. KTH bidrar både med specifik kompetens och i att hjälpa Trafikverket att lyfta användningsfall och krav som är relevanta och väsentliga i svenska förhållanden. Arbete inom excellensområdet är ett viktigt komplement, både för att bedriva forskning inom delområden där vi för tillfället inte deltar i Europe's Rail, men också för att identifiera och utforska mer långsiktiga frågeställningar. Därför kommer vi under året att genomföra en workshop tillsammans med nyckelpersoner från Trafikverket för att identifiera och prioritera intressanta forskningsområden.

Personal och kompetensområde

- Anders Lindfeldt, Emil Jansson och Anders Lindahl: Övergripande kompetens om signalsystem och järnvägssystem. ATO, Moving block, virtuellt kopplade tåg och kapacitetsaspekter av dessa tekniker.
- Mats Bengtsson och György Dán: Trådlösa kommunikationsnät.

- Mats Bengtsson, Wendi Löffler och Chenyang Yan: Dataanalys för sensorbaserade system, speciellt för tågpositionering och för hinderdetektion vid plankorsningar.
- György Dán och Elena Troubitsyna: Formella metoder för säkerhetsanalys av arkitekturer och gränssnitt.

7 **Excellensområde 7 – trafikplanering och styrning**

Genomförda aktiviteter, uppnådda resultat och ekonomi

Inom område 7 har vi delat in aktiviteterna i fem områden:

1. Ledning och utveckling (500 kkr): Inom detta område sker planering och rapportering, koordinering, utveckling av områdena, förberedande arbeten för forskning, bl a inom KAJT (branschprogrammet Kapacitet i järnvägstrafiken). Frågor som rör säkerhet och hur forskningen kan använda data om järnvägssystemet hör också hit.
2. Forskning (2 600 kkr): Inom detta område sker forskning, främst i form av förstudier, kompletterande arbeten, efterstudier mm, knutet till andra projekt. Digitalisering, operativ omplanering, samplanering av trafik och banarbeten, AI/maskininlärning och användning av nya tekniska system har varit viktiga områden under året. Ett tjugotal journalartiklar och konferensbidrag har färdigställts under året. Drift och underhåll av forskningsinfrastruktur hör också hemma under detta aktivitetsområde.
3. Forskarutbildning (1 250 kkr): KAJTs forskarskola drivs tillsammans med Excellensområde 9. Rekrytering av doktorander är en stor fråga. Under 2024 har flera nya doktorandprojekt påbörjats, bl a hos Uppsala universitet och BTH.
4. Grundutbildning (300 kkr): Grundutbildning vid universitet och högskolor sker med separata grundutbildningsanslag. Excellensområdessatsningen har möjliggjort separata insatser för att stärka studenternas attraktivitet för järnvägsbranschen. Vid Linköpings universitet genomförs ett projekt för att stärka kopplingen till järnvägs- och kollektivtrafikbranschen.
5. Samverkan (350 kkr): Samverkan är viktigt och sker både med branschen och andra forskare inom och utom landet. Deltagande i konferenser är en viktig del här.

Behov och nytta

Det finns stora kapacitetsproblem i det svenska järnvägsnätet som kommer att bli ännu större inom de kommande åren. Forskningen kring hur vi bättre kan utnyttja befintlig kapacitet är därför avgörande. Digitalisering och automation går framåt, vilket ger goda förutsättningar. Mycket av arbetet inom EO7 kan nyttiggöras genom MPK, och det är viktigt att gapet mellan EO7 och MPK sluts. När automation ökar, finns behov av forskning inom MTO (Människa–Teknik–Organisation), det gäller att förstå hur teknik och människa samverkar.

Disseminering, koppling till FoI centra järnväg och samverkan

Arbetet inom EO7 redovisas till branschen främst genom KAJT (vår- och höstseminarium), Transportforum, och Excellensområdeskonferensen. Forskningen redovisas genom nationella och internationella konferenser, samt i kvalitetsgranskade journaler. Utbyten med andra universitet sker bl a genom forskarutbyten, främst på doktorandnivå. Vid KTH finns en koppling till FoI-centrum KTH Järnvägsgruppen.

Områdets status och utmaningar till nästa år

Området utvecklas ständigt, några områden som vi ser ett växande intresse för är planeringsstöd med AI, kapacitetsplanering för noder och nätverk, planeringsfrågeställningar hos järnvägsföretagen och MTO-frågor. Digitaliseringen av processen för tidtabelläggning hos Trafikverket ger stora möjligheter att applicera beräkningsmetoder. EO7 kan bli en viktig resurs i Trafikverkets interna utvecklingsprojekt.

Personal och kompetensområde

Blekinge tekniska högskola (Mattias Dahl): Datavetenskap och automatisering.

Kungliga tekniska högskolan (Oskar Fröidh): Tågtrafikplanering och marknad, kopplingar till KTH-järnvägsgruppen och EO9.

Linköpings universitet (Anders Peterson): Operationsanalytiska frågeställningar, särskilt inom tidtabelläggning, underhållsplanering, personalplanering. Dataanalys och samhällsekonomi. Koppling till EO9.

Lunds universitet (Carl-William Palmqvist): Planering och styrning för punktlighet, koppling till EO9.

Uppsala universitet (Anders Arweström Jansson): MTO-frågor.

8 Excellensområde 8 – Drift och underhåll

Genomförda aktiviteter, uppnådda resultat och ekonomi

Excellensområdet har haft en budget på 4 Mkr. Detta har spridits ut på flertalet aktiviteter och finansierat excellenshöjande aktiviteter där projektbudget inte täcker. Hela beloppet har arbetats upp enligt plan.

Förutom ledning av excellensområdet genomfördes följande aktiviteter under 2024:

- Detektion av rälssprickor (doktorand)
- Modellering av hjulskrik (doktorand)
- Klimatanpassning för järnvägsinfrastruktur
- Life cycle management för järnvägsinfrastruktur
- Prognostics and health management (PHM) för järnvägsinfrastruktur (doktorand)
- AI och LLM för förbättrade beslutsfattande processer inom järnvägen (doktorand)
- Systeminnovationsperspektiv för intelligent tillgångshantering av järnvägar

Jaya Kumar disputerade 2024 med en avhandling som utvecklade en holistisk, systemisk och dynamisk metod som använder datadrivna lösningar för förbättrad tillgångshantering av järnvägsfordon. I denna forskning har en taxonomi av problem och utmaningar identifierats. Utvecklade och tillhandahållna artefakter som använder en system-av-system-ansats kan användas för att etablera effektiv och effektiv tillgångshantering av järnvägsfordon med fokus på användning av industriell AI och digitalisering för att förbättra drifts- och underhållsprocesser.

Amit Patwardhan disputerade 2024 med en avhandling som fokuserade att utveckla digitala tvillingar för linjära tillgångar, specifikt kontaktledningar, med fokus på rumslig tillståndsovervakning och hälsostyrning med en system-av-system-ansats. Forskningen syftade till att förbättra underhållet av linjära tillgångar genom utveckling av digitala tvillingar som drivs av AI och digitala teknologier.

Behov och nytta

Driftsäkerhet är en grundläggande nödvändighet för svenska järnvägssystemets hållbarhet, tillförlitlighet, robusthet, punktlighet och kapacitet. Järnvägssystemets driftsäkerhet utgörs av dess funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet. Att uppnå hög grad av driftsäkerhet fordrar optimering av de dessa tre aspekter, under hela järnvägssystemets livscykel. Forskningen inom drift- och underhållsteknik fokuserar på att optimera ett systems driftsäkerhet under dess livslängd med hänsyn till resurseffektivitet, klimatförändringar och cirkularitet. Detta görs via effektivisering av drift- och underhållsprocesserna genom lämpliga underhållsstrategier som förutbestämt, tillståndsbaserat, prediktivt eller avhjälpande underhåll samt faktabaserat beslutsstöd. Nyttan består även i kompetensuppbyggnad inom järnvägssektorn i form av utexaminerade

studenter och doktorer inom drift och underhållsteknik samt i form av uppdragsutbildningar riktade till verksamma i branschen.

Disseminering, koppling till FoI centra järnväg och samverkan

JVTC genomför aktiviteter och bidrar till kunskapsspridning och kompetensförsörjning genom doktorsavhandlingar, vetenskapliga och populärvetenskapliga publikationer, workshops, konferenser, kongresser, webbseminarier etc. inom området drift- och underhållsteknik. Under 2024 arrangerade JVTC tillsammans med Trafikverket resultatkonferensen för excellens i järnvägsforskning. JVTC hade även ett järnvägsseminarie med 60 deltagare samt 9 webinarier. Samverkan mellan akademier, problemägare och järnvägens intressenter sker via medverkan i kompetenscentrums styrelser, i referensgrupper och via engagemang i operativa projekt. Samverkan sker även inom branschforum till exempel JBS, Swedtrain m.fl. samt inom de olika europeiska initiativen. Arbetet inom Excellensområde 8 är nära kopplat till JVTC:s övriga verksamhet och även till forskningen inom Europés Rail Joint Undertaking. Arbete inom excellensområdet utförs för närvarande enbart av LTU. Via projekten i Europés Rail finns dock ett nära samarbete även med FoI center på Chalmers och KTH. Excellensområde 8 har stark koppling till följande excellens-områden: 3, 4, 7, 9 och 10. Dessutom finns koppling till excellensområde: 1, 2, 5 och 6.

Områdets status och utmaningar till nästa år

Forskning bedrivs inom områden såsom automatiserad inspektion, tillståndsbedömning, och säkerhetsövervakning, för att skapa förutsättningar för att öka autonomin inom underhållsprocessen i takt med att järnvägssystemet olika systemdelar blir mer automatiserade. Digitaliseringen ger möjligheter att optimera tidpunkten för och omfattningen av en underhållsinsats, vilket ställer krav på/ger möjlighet till, högre flexibilitet. Forskning pågår för att utveckla ramverk, angreppssätt, processer, organisation, teknologier, arkitekturer och modeller för förstärkt analysförmåga i beslutsprocesser m h a AI-teknologi. Forskning bedrivs för att utveckla metodologier, teknologier, riktlinjer och verktyg avsedda för livslängdsberäkning och livscykelkostnadsnyttoanalys av komponenter inom järnvägssystemet. Ny och framväxande teknik för dynamisk riskbedömning med larm och varningar i realtid kommer att användas. Utmaningar som berör teknik, organisation och människa adresseras.

Personal och kompetensområde

Excellensområdet leds av prof. Uday Kumar, verksamhetsledare för JVTC och ämnesföreträdare i Drift och underhållsteknik, samt Veronica Jägare, bitr. verksamhetsledare för JVTC, vid LTU. Andra seniora resurser är prof. Ramin Karim, prof. Alireza Ahmadi, bitr. prof. Matti Rantatalo, bitr. prof. Amir Garmabaki, och adj. Prof. Ulla Juntti m.fl. också inom Drift och underhållsteknik. Doktorander är Jaya Kumari, Amit Patwardhan, Leevi Toratti, Ajaykrishnan Selucca, Chathuri Madhushika, Alfredo Serafini and Jnanashekar Prakash Reddy.

9 **Excellensområde 9 – kapacitet och punktlighet**

Genomförda aktiviteter, uppnådda resultat och ekonomi

Inom område 9 har vi delat in aktiviteterna i sex områden.

1. Ledning och utveckling (400 tkr): Inom detta område sker planering och rapportering, koordinering, utveckling av områdena, planering och utveckling av KAJT (branschprogrammet Kapacitet i järnvägstrafiken).
2. Forskning (1 500 tkr): Inom detta område sker forskning, främst i form av förstudier, kompletterande arbeten, efterstudier mm, knutet till andra projekt. Nio journalartiklar, tre doktorsavhandlingar, en licentiatavhandling, samt ett flertal konferensbidrag har levererats under året, bl a kopplat till prediktion av förseningar, kapacitetseffekter och förseningar orsakade av infrastrukturfel och banarbeten, uppehållsförseningar, extremväder, med mera. Ett omfattande arbete har genomförts med ansökningar till externa forskningsmedel för projekt inom excellensområdet. Bland annat koordinerade LU en omfattande Europeisk ansökan avseende ett doktorandnätverk med ett drygt tiotal doktorander, fördelade över sju länder och nio lärosäten och ett flertal branschpartners. Det var ett stort arbete, som klart möjliggjordes av finansieringen inom Excellensområde 9. Även om ansökan inte skulle lyckas få finansiering på första försöket, så är det ett stort grundarbete, visar på internationellt ledarskap och bygger nätverk till andra starka forskningsmiljöer och näringslivspartners runtom på kontinenten.
3. Forskningsinfrastruktur (300 tkr): Datainsamling, organisering av data, hantering av dataformat mm, bl a knutet till Europe's Rail. Säkerhet är en viktig fråga, inte minst i samband med rekryteringar. Ett arbete kring detta har pågått vid samtliga tre deltagande lärosäten.
4. Forskarutbildning (1 350 tkr): KAJTs forskarskola drivs tillsammans med Excellensområde 9, i vilken vi haft seminarier och en doktorandkurs i Lund. Ytterligare en doktorandkurs har förberetts, som ges under 2025 i KTHs regi. Rekrytering av doktorander är en stor fråga. En ny doktorand har rekryterats vid LU, Samuel Golobov. Samtidigt har tre doktorander disputerat inom området, också vid Lunds universitet: Ruben Kuipers, Daria Ivina, och Kah Yong Tiong.
5. Grundutbildning (250 tkr): Grundutbildning vid universitet och högskolor sker med separata grundutbildningsanslag. Excellensområdessatsningen har möjliggjort separata insatser för att stärka studenternas attraktivitet för järnvägsbranschen, stärkt kapacitets- och punktlighetsaspekterna i ett flertal kurser, och handlett ett flertal examensarbeten inom området.
6. Samverkan (200 tkr): Samverkan är viktigt och sker både med branschen och andra forskare inom och utom landet. Att anordna och delta i konferenser är en viktig del här. Vi anordnade EWGT i Lund 4–6 september med stora inslag av järnvägsforskning, särskilt inom Excellensområde 7 och 9.

Behov och nytta

Behovet av kapacitets- och punktlighetsarbete är stort och ökande. Trafikmängden är nästan tillbaka på den nivå som rådde innan pandemin, och punktlighetsutvecklingen har tyvärr gått åt fel: sedan toppnoteringen 2020 har nivån sjunkit varje år och under 2024 hamnade den på den samma nivå som 2010, den lägsta uppmätta under milleniet. Det finns därför ett behov av många åtgärder, stora som små, och av en kraftigt ökad skyndsamhet i arbetet. Forskningen kan och behöver bidra med att hitta både inkrementella och radikala lösningar som kan göra stor skillnad, samtidigt som de passar inom ramarna för det nätverk som finns. Det finns också ett behov av att få ut de lärdomar och budskap som vi genererar ut i verksamheten, och att driva på implementeringen, även om detta kan vara svårt att påverka som forskare.

Disseminering, koppling till FOI centra järnväg och samverkan

KAJT är ett viktigt forum för dissemination inom området, liksom för Excellensområde 7. Utöver kontinuerliga kontakter mellan deltagarna så anordnar KAJT ett vårseminarium över två dagar i Borlänge, och ett höstseminarium på en dag i Stockholm. Under 2024 anordnade vi EWGT 2024 i Lund, med stora inslag av forskning inom Excellensområde 9 – där anordnades även en special issue i en vetenskaplig tidskrift, med tema robusthet, resiliens, och pålitlighet i transporter. Arbetet pågår med att stärka banden till övriga FOI-centra inom järnväg, och under 2024 har ett flertal aktiviteter genomförts tillsammans med Charmec och VTI.

Områdets status och utmaningar till nästa år

Området är livskraftigt och produktivt. Under 2024 skedde tre disputationer kopplade till området i Lund. Även om detta är trevligt och ett styrkebesked, är det av vikt att få in nya doktorandprojekt för att fylla på verksamheten. Under har 2024 en ny doktorand anställts i Lund, Samuel Golobov, med anställningsstart i februari 2025. Att säkra finansiering till ytterligare någon doktorand kommer därför vara en viktig utmaning under 2025, liksom det ovan nämnda behovet att kommunicera en ökad skyndsamhet i branschens punktlighetsarbete, inte minst vad gäller att agera utifrån vissa gjorda forskningsresultat. Relaterat till det finns en utmaning i behovet att fokusera på mer radikala lösningar som kan få stora och snabba resultat, samtidigt som införandet av även mer inkrementella åtgärder ofta visar sig svårt och tidskrävande. Här finns en utmaning i att både våga föreslå och finansiera tillräckligt modiga och ambitiösa forskningsprojekt, och att börja agera på råd och synteser över flera års forskning.

Personal och kompetensområde

En grov översikt av disputerad personal och deras huvudsakliga områden följer:

Lunds universitet: Carl-William Palmqvist (kapacitet och punktlighet), Lena Winslott (hållbara transporter och transportekonomi), Ruben Kuipers (uppehållsförseningar och trafiksäkerhet), och Johan Rahm (resenärsbeteende och uppehållsförseningar).

KTH: Oskar Fröidh (marknad), Ingrid Johansson (kapacitet), Hans Sipilä (kapacitet och simulering), Niloofar Minbashi (kapacitet och godstrafik), Anders Lindfeldt (kapacitet och signal) och Zhenliang Ma (kollektivtrafik).

Linköpings universitet: Anders Peterson (trafikplanering), Martin Joborn (punktlighet), och Tomas Lidén (banarbeten).

10 Excellensområde 10 – Systemperspektiv på järnvägen

Genomförda aktiviteter, uppnådda resultat och ekonomi

Förutom ledning av excellensområdet (10.1) genomfördes följande aktiviteter under 2024:

- Järnvägsteknisk systemkompetens (10.2)
- Buller från spårtrafik (10.3)
- Rail Systems Engineering (10.4)
- Godstrafik, transportlogistik och efterfrågan (10.5)
- Efterfrågan i persontrafik på järnväg vid dynamisk utveckling – förstudie (10.6) som senarelades till 2024.
- Vidgat systemperspektiv genom samverkan mellan excellensområdena (10.7)

Inom 10.2 genomfördes den 30 maj 2024 en workshop kring järnvägsteknisk systemkompetens. Nästan 40 personer, från olika organisationer, deltog på Trafikverket i Solna strand. Tema var utbildning med fokus på järnvägstekniskt systemperspektiv, uppföljning kring några presentationer från maj 2023, och några nya exempel på god samverkan och systemperspektiv för järnvägens bästa. Vid EO resultatkonferens 2/10-24 i Luleå summerades workshopen. Under 2024 planerades också nästa workshop den 14 maj 2025 (TRV Solna strand) med tema livscykelperspektivet. Även doktorandkursen planerades (jfr 10.7) med namn ”Rail Systems Perspective” under ledning av Mats Berg. Syftet är att doktorander från de fyra centrumbildningarna (Järnvägsgruppen, Charmec, JVTC och KAJT) ska få en översikt och förståelse för järnvägssystemet under sina tidiga forskarutbildningsår.

Inom 10.3 hölls en hybrid workshop den 22 november 2024 i Göteborg med tema buller, vibrationer och hälsa. I en efterföljande workshop på plats samma dag diskuterades bland annat den utmanande kompetensförsörjningssituationen given svårigheten att finansiera doktorandprojekt med inriktning på spårtrafikens buller- och vibrationsemission.

För 10.4 hölls ett flertal möten och en litteraturstudie slutfördes om Rail Systems Engineering 2024 (Systems engineering applied in rail infrastructure – a literature search). I samband med arbetet finansierat av portfölj Planera hölls ett publikt [webbinarium den 10 september 2024](#), upp till 80 personer deltog. Aktiviteten har också stöttat uppstarten av ett nytt kompetensnätverk inom systems engineering på TRV 2024. Ett annat separat TRV portföljprojekt gav utväxling åt arbetet. Under perioden har samarbetet fortsatt mellan KTH, Chalmers (Dag Bergsjö) och Trafikverket genom en industridoktorand som heter Per Persson, inskriven vid Chalmers. Per presenterade en studie på ISSE i oktober 2024 “Systems Engineering in complex rail projects - a state-of-the-art scoping review” (författare: Per Person, Pia Schönbeck, Ellen Bergseth och Dag Bergsjö).

Inom 10.5 2024 färdigställdes en rapport som ett resultat från arbetet inom aktiviteten under 2022-2023. Denna aktivitet kopplat till projektet ”Excellens på spår (EPS)”, en ansökan som godkändes i juni 2024, pågår mellan september 2024 och mars 2025.

Inom 10.6 genomfördes en studie av efterfrågan (resande) i persontrafik på järnväg när det gäller dynamik i utvecklingen över tid. Förstudien genomfördes under hösten 2024. En slutsats är att det finns lite litteratur om dynamiska effekter för att förbättra efterfrågeprognoser i olika scenarier, mer forskning behövs för att förstå hur dessa effekter påverkar passagerare, särskilt över längre tidsperioder. Detta behövs för att utveckla och förbättra prognosmodeller.

Vid excellensområdessamlingen i Luleå i oktober 2024 genomförde aktivitet 10.7 en mindre workshop om att tillföra nya funktioner till redan existerande system. Doktorandkursen med start februari 2025 kring järnvägens systemperspektiv presenterades (jfr 10.2) av Mats Berg. Ett separat finansierat projekt med namn Excellens På Spår (EPS), se ovan, kan knytas till denna aktiviteten. Där ska man bland annat analysera och kartlägga påvisade brister i järnvägens funktion gentemot samhällets framtida behov av järnvägstransporter. Det ska kopplas till hur effektiva excellensområden är och om det fokuserar på rätt saker, det blir en utvärdering som just denna aktivitet 7 är del av.

Uppnådda resultat för Excellensområde 10 är förutom olika workshopar framför allt dokument enligt nedan (disseminering).

Under 2024 upparbetades 600 tkr inom Excellensområde 10.

Behov och nytta

Alla aktiviteter inom Excellensområde 10 syftar till att betona och verka för ett vidgat systemperspektiv eller systemagerande på järnvägen. Vi som är verksamma inom området är, liksom många andra, övertygade om att olika aktörer (organisationer) inom systemet behöver öka sin samverkan för ett framgångsrikt järnvägssystem. Excellensområde 10 kan även stödja arbete inom forskningsprogrammet Europe´s Rail.

Disseminering, koppling till Fol centra järnväg och samverkan

10.2: Presentationer och Rapport från workshop 2024-05-30. Sammanfattning av workshopen presenterades också vid excellensområdessamlingen i 2-3 oktober 2024.

10.3: Presentationer och Rapport från workshop 2024-11-22.

10.4: Litteraturstudie och [webbinarium](#) klart.

10.5: Godstrafik, transportlogistik och efterfrågan på godstransporter (rapport färdigställd).

10.6: Förstudie klar.

10.7: Rapport från workshop under excellensområdessamlingen i oktober 2024.

Excellensområde 10 är ett övergripande område är kopplingarna och samverkan betydande.

Områdets status och utmaningar till nästa år

Workshopen i 10.2 den 14 maj 2025 ska samla in förslag på hur EO10 bör utvecklas. Tema kommer vara Järnvägsteknisk systemkompetens som tidigare år, men fokus livscykelperspektivet och särskilt djupdyk i hur metoder inom disciplinen systems engineering kan stötta systemagerande. Den gemensamma doktorandkurs med start våren 2025 bör utvärderas. I 10.3 kommer förutsättningar för bredare tvärdisciplinära forskningsfrågeställningar undersökas. Inom 10.4 kommer TRV och Chalmers engagera sig. Ett positivt besked på fortsatt finansiering från 10.5 önskas. Arbetet i 10.6 har bytt titel och heter nu Integrerande flyg- och tågutbud. 10.7 siktar på samlingen i Göteborg/Chalmers i augusti.

Personal och kompetensområde

Förutom deltagande från Trafikverket - inte minst från Pär Karlsson, Havin Nyqvist, Josef Malas och Sofia Lundberg - har följande personer deltagit:

- 10.2: Ellen Bergseth och Mats Berg (KTH), Ellen tar över ledningen från akademins sida.
- 10.3: Peter Torstensson (VTI, på uppdrag från KTH) och Jens Nielsen (Chalmers),
- 10.4: Ellen Bergseth och Mats Berg (båda KTH)
- 10.5: Behzad Kordnejad, Ingrid Nordmark och Boban Djordjevic (alla KTH)
- 10.6: Oskar Fröidh (KTH), nytt namn på aktivitet fr o m 2025: Integrerande flyg- och tågutbud
- 10.7: Mats Berg och Ellen Bergseth (KTH)

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1

Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

trafikverket.se