



D-RAIL

konsten att inte spåra ur

En sammanfattning av de viktigaste resultaten från
ett europeiskt forskningsprojekt

Anders Ekberg & Björn Paulsson

Chalmers tekniska högskola, Trafikverket/UIC

D-RAIL – konsten att inte spåra ur
En sammanfattning av de viktigaste resultaten från ett europeiskt forskningsprojekt
ANDERS EKBERG and BJÖRN PAULSSON

© ANDERS EKBERG and BJÖRN PAULSSON, 2015

Forskningsrapport 2015:07

ISSN 1652-8549.

Institutionen för Tillämpad mekanik

CHARMEC

Chalmers University of Technology

SE-412 96 Göteborg

SWEDEN

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Cover:

Picture courtesy Trafikverket

Chalmers Reproservice

Gothenburg, Sweden 2015

1 D-RAIL – en kortfattad översikt

D-RAIL – *Development of the future rail freight system to reduce the occurrences and impact of derailment* var ett forskningsprojekt inom EUs sjunde ramprogram. Projektet startade officiellt i oktober 2011 och avslutades i september 2014 med ett avslutande seminarium 12 november 2014 i Stockholm.

I projektet verkade denna rapports författare som projektkoordinator (Björn Paulsson) och teknisk/vetenskaplig koordinator (Anders Ekberg). Här syftade den teknisk/vetenskapliga koordinationen till att få en sammanhållen resultatrapportering med hög teknisk och vetenskaplig kvalitet. Detta innebar bland annat att samtliga rapporter granskades

(med förslag på revideringar) innan de godkändes av projektledningen. Den nivå på arbete med vetenskaplig och teknisk koordinering som gjordes ryms inte inom den normala budgeten, utan möjliggjordes av kompletterande finansiering från VINNOVA och CHARMEC.

Dessa två poster i projektet gav en unik inblick. Syftet med denna rapport är att sprida denna kunskap med fokus på hur resultat kan och bör implementeras i den svenska (och europeiska) järnvägen. Av denna anledning strävar rapporten att vara tydlig och kortfattad. För mer nyanserade och detaljerade presentationer av projektet hänvisas istället till projektrapporterna som listas i Appendix II.

1.1 Omfattning, syfte och mål

Som framgår av projekttiteln var det övergripande syftet med projektet att minimera antalet urspårningar och konsekvenserna av de kvarvarande urspårningarna. Mer konkret var målet att minska mängden urspårningar av godståg i Europa med 8–12%, att minska de relaterade kostnaderna med 10–

20%, samt att öka godstrafikens konkurrenskraft gentemot andra transportslag.

Initiativet till D-RAIL kom från ERA (European Railway Agency). ERA hade i en utredning konstaterat att kostnaderna och de negativa effekterna av urspårningar hade ökat under de

senaste åren. Med tanke på den förväntade ökningen av järnvägstrafiken såg EU det som viktigt att bryta ökningen av antalet urspårningar på ett kostnadseffektivt och miljömässigt sätt. För att förbereda projektet hade ERA beställt en förstudie av Det Norska Veritas (DNV). Denna förstudie utgjorde en viktig informationskälla till D-RAIL.

Projektets huvudfokus var, som framgår av titeln, urspårning av godståg. Detta ger en del konsekvenser då urspårning av godståg har färre *direkta* säkerhetskonskvenser än urspårningar av persontåg. Därmed naturligtvis inte sagt att direkta säkerhetskonskvenser inte existerar, vilket t.ex. godsvagnsurspårningen (p.g.a. ett axelbrott) i Viareggio visade. De flesta godsvagnsurspårningar leder dock inte till personskador,

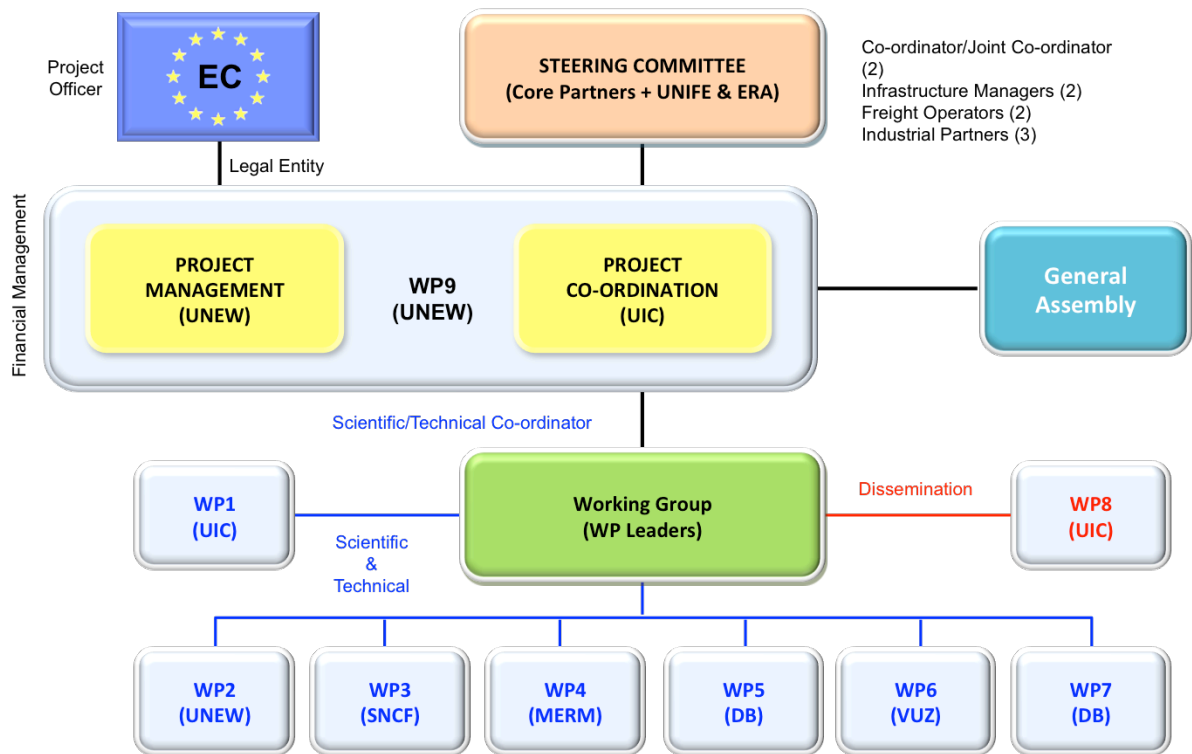
men de kan orsaka stora störningar i trafiken. I Sverige har vi flera exempel på detta som t.ex. urspårningarna vid Södra station (axelbrott), Huddinge (rälsbrott i en växel), Storsund–Koler på Norra stambanan (rälsbrott), Grötingen (varmgång i lager). Utöver ekonomiska kostnader leder störningar i järnvägstrafiken till att stora transportvolymers förs över till väg. Då vägtrafik är i storleksordningen 50–100 gånger mindre säker än tågtrafik [1] får godsurspårningarna därigenom *indirekta* säkerhetskonskvenser.

Projektet avgränsades även till att enbart studera urspårningar på linjen. Anledningen var att de urspårningar som sker på bangårdar sällan är allvarliga även om de numerärt är fler. Normalt finns det inte heller ordentlig statistik eller utredningar att tillgå för dessa urspårningar.

1.2 Organisation

Projektets organisation framgår av Figur 1. Projektet koordinerades av Internationella järnvägsunionen UIC. I styrgruppen satt även Europeiska järnvägsbyrån (ERA) och Europeiska järnvägsindustrins samarbetsorganisation (UNIFE). Detta garanterade en bredd både

vad gäller erfarenhetsinmatning och utvärdering av projektets resultat. Detta, samt den breda kompetensen hos deltagande partner (se Annex I) säkerställde även att koppling fanns till de flesta (avslutade och pågående) forskningsprojekt inom området.



Figur 1 D-RAILs organisationsstruktur med ansvariga företag angivna. Se Annex I för ansvariga parter fulla namn.

Projektets arbete var uppbyggt efter en röd tråd vilken grafiskt sammanfattas i Figur 2. De olika arbetsgruppernas fokus var i korthet

WP1 Nulägesanalys och identifiering av viktigaste urspårningsorsaker

WP2 Framtidsanalys med fokus på konsekvenser för urspårningar

WP3 Teknisk analys av grundorsaker till urspårningar

WP4 Nulägesanalys av inspektions- och övervakningsutrustning

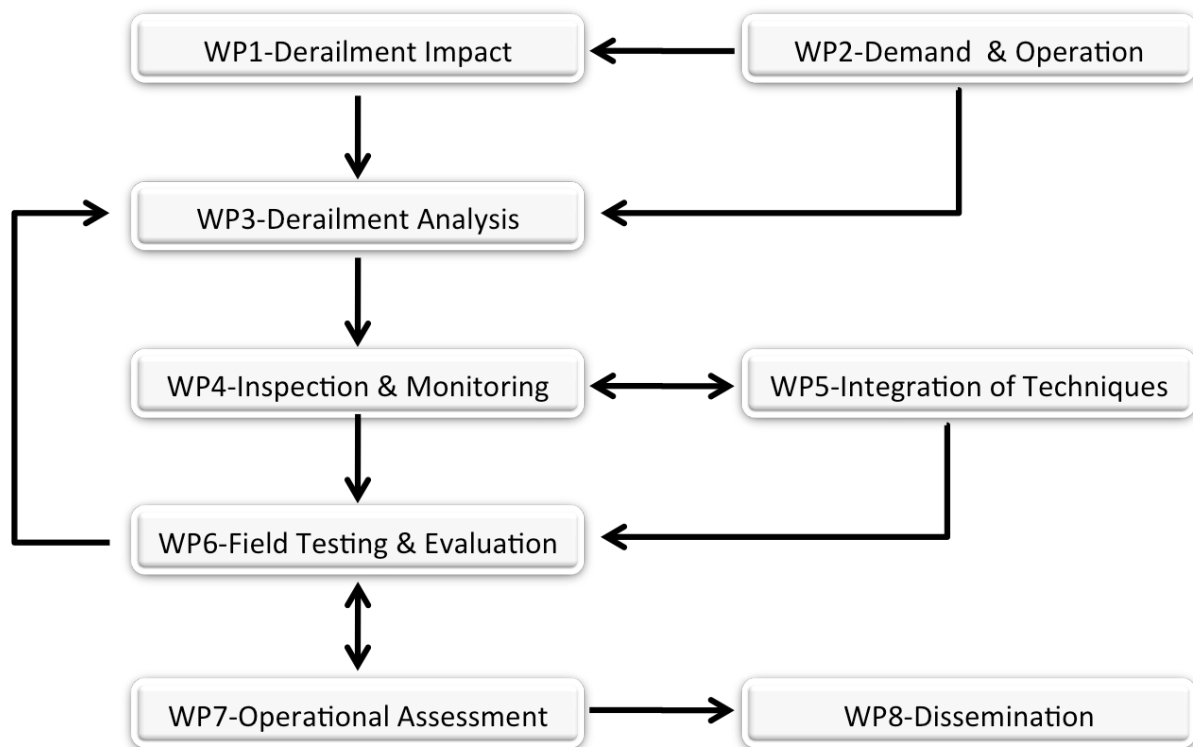
WP5 Inspektions- och övervakningskoncept att utvärdera i D-RAIL

WP6 Kompletterande och utvärderande provning

WP7 Utvärdering och slutsatser

WP8 Resultatspridning

Projektgruppernas arbete och de resultat de kom fram till presenteras i detalj nedan.



Figur 2 D-RAILs projektstruktur och informationsflöde mellan de olika arbetsgrupperna.

1.3 Rapporter och dokumentation

Projektet rapporterades gentemot EU-kommissionen via ett antal skriftliga rapporter, se Annex II. De flesta av dessa är publika och kan laddas ner från projektets

hemsida d-rail-project.eu. Där finns även presentationerna från projektets avslutande seminarium som hölls i Stockholm.

2 Urspårningar av godståg idag och imorgon

2.1 Nulägesanalys

2.1.1 Översikt

D-RAILs första delprojekt (WP1: Nulägesanalys och identifiering av viktigaste urspårningsorsaker)

kompletterade en tidigare studie från DNV¹ med en genomgång av

¹ DNV, Assessment of freight train derailment risk reduction measures: Part A Final Report,

databaser och urspårningsrapporter från ett flertal länder i Europa (inklusive Ryssland), samt från USA. Arbetet rapporterades i rapporterna D1.1 och D1.2, se Annex II. Detta kapitel sammanfattar några av de viktigaste slutsatserna från dessa rapporter.

2.1.2 Prioriterade urspårningsorsaker

Som inspel till D-RAILs djupstudie av grundorsaker till urspårningar levererade delprojektet en lista över de högst prioriterade urspårningsorsakerna. Denna prioritering baserades på hur vanliga de olika urspårningsorsakerna var, samt hur kostsamma konsekvenserna blev. Analysen resulterade i en lista på de åtta mest relevanta urspårningsorsakerna i Europa vilken presenteras i Tabell 1.

1. Axelbrott
2. Felaktig spårvidd
3. Hjulhaveri
4. Skev belastning
5. Skevningfel hos spår
6. Felaktig rälsförhöjning och/eller spårgeometri
7. Rälsbrott
8. Havererat upphängningssystem

Tabell 1 Prioriterade urspårningsorsaker

Denna lista är (med stor sannolikhet) den mest gedigna utvärderingen av orsaker till urspårningar av godståg som gjorts. En mer detaljerad studie visade även att listan är relativt robust: De åtta identifierade urspårningsorsakerna är viktiga i alla undersökta länder. Prioriteringslistan gav därigenom ett bra stöd i det kommande arbetet inom D-RAIL då den hjälpte att fokusera arbetet mot de mest relevanta fenomenen.

Dock finns det flera generella problem i att sammanställa en prioriteringslista för viktigaste urspårningsorsaker. Några av dessa är:

Orsaksindelning

Prioriteringslistan bygger på en viss indelning i orsaker vilken inte är självskriven. Som exempel kan "axelbrott" delas in i haverier på grund av mekanisk utmattning och lagerhaverier. Dessa skulle var för sig troligen hamna längre ned på listan. På samma sätt skulle man kunna se alla spårgeometrifel (spårvidd, skevningfel, spårförhöjning/geometri) som en enda orsak. Denna sammanlagda orsak skulle troligen hamna högst på listan.

Samverkande orsaker

Många (troligen de flesta) urspårningar är en kombination av olika orsaker. Som ett exempel kan man ta urspårningen vid Brétigny-sur-Orge (utanför Paris)

där skruvarna i ett skarvjärn lossade, skarvjärnet roterade och fastnade i en korsning. Det kan man se som en form av rälsbrott, men orsaken till att bultarna lossade hänger med stor sannolikhet ihop med underhållsrutiner, spårgeometrin och eventuellt tillståndet hos passerande fordon. Ett annat exempel är urspårning på grund av flänsklättring. Där räcker det normalt inte med dålig spårgeometri, eller snedbelastat (och/eller skadat) fordon utan flera faktorer måste samverka för att en urspårning skall ske.

Andra orsaker

I listan ovan kan man notera att "mänskliga faktorer" inte är medtagna. Den största anledningen till detta är att denna orsak inte är kompatibel med den indelning som gjorts². Även andra orsaker skulle kunna tas med i listan. Till exempel så kan räl- och hjulbrott (till viss del) vara en konsekvens av orunda hjul (där hjul med hjulplattor är ett extremfall). Detta skulle svara mot att urspårningen relateras till mer grundläggande orsaker. Dock finns det sällan tillräcklig information för att göra den djuplodande

² För att förstå detta kan man förenklat tänka sig att en urspårning beror på att regelverket överträds – ett klart fall av en urspårning orsakad av den mänskliga faktorn. Men om urspårningen sker trots att regelverket följts så är det ju fel på regelverket, vilket sammanställts av människor – alltså även här en urspårning orsakad av den mänskliga faktorn.

analys som skulle krävas för att identifiera dessa.

2.1.3 Variationer över Europa

För att undersöka hur urspårningsstatistiken varierade över Europa så bröts insamlad data ned på nationell nivå. Om man ser till antalet godsvagnsurspårningar (i linjetrafik) så är antalet rapporterade urspårningar mellan 2005–2010

Frankrike.....	30
Österrike.....	69
Storbritannien.	257
Tyskland	84
Schweiz	16

Detta kan jämföras med ERAs uppskattning av omkring 500 urspårningar under 2012 inom EU25³ av vilka ungefär 250 rapporterades [2]. Enligt ERA involverade ungefär 7 % av urspårningarna farligt gods. Urspårningarna orsakar i medeltal omkring 2 dödsfall och 3 allvarligt skadade per år.

Medelkostnaden för en urspårning i de olika länderna uppskattades till

Frankrike.....	690 k€
Österrike.....	615 k€
Storbritannien.	169 k€
Tyskland	730 k€

³ Belgien, Cypern, Danmark, Estland, Finland, Frankrike, Grekland, Irland, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Nederländerna, Polen, Portugal, Rumänien, Slovakien, Slovenien, Spanien, Sverige, Tjeckien, Tyskland, UK, Ungern, Österrike.

Schweiz 667 k€
(mellan 588–833 k€)

Om man istället uttrycker detta i urspårningskostnad per miljard ton-kilometer så får man

Frankrike..... 91 k€
Österrike..... 156 k€
Storbritannien 162 k€
Tyskland 94 k€
Schweiz 168 k€
(mellan 148–210 k€)

Det finns stora osäkerheter i dessa siffror. Med denna reservation kan man dock uppskatta medelkostnaden för en allvarlig urspårning i Europa till 600 k€. Kostnaden för mänskligt lidande,

miljöförstöring m.m. leder till ytterligare kostnader på omkring 25 k€ (i verkligheten är dessa ytterligare kostnader dock relaterade enbart till ett fåtal större urspårningar).

Om man försöker dela upp kostnaderna mellan vilka som orsakas av fordon och infrastruktur så ser man att fordonen orsakar ungefär 38 % av urspårningarna vilka står för över 50 % av kostnaderna. Dessa kostnader fördelar sig så att kostnader på infrastruktur står för ungefär 80 % medan kostnader på fordon står för ungefär 20 %.

2.2 Framtida utveckling – situationen år 2050

I D-RAILs andra delprojekt (WP2: Framtidsanalys med fokus på konsekvenser för urspårningar) kompletterades den nulägesanalys som genomfördes i WP1 med en prediktering av förändringar fram till 2050. I denna analys användes resultat från en mängd tidigare och pågående EU-projekt. Dessa kompletterades med simuleringar baserade på TRANS-TOOLS vilket är ett verktyg för att prediktera transportbehov mellan regioner inom EU27⁴. Detaljer om studien finns i rapporterna D2.1, D2.2 och D2.3, se Annex II.

Analysen baserades på tre scenarier: Referensfallet med

oförändrat system, samt ett lågt (30 % av vägtrafiken flyttas till järnväg) och ett högt (50 % av vägtrafiken flyttas till järnväg) scenario ur EUs vitbok [3].

När det gällde prediktering av transporterade mängder föll studien väl ut. Referensscenariot och det låga vitboksscenarioet förutsåg bägge öknings i godstransportbehov på under 20 % till 2050, medan det höga vitboksscenarioet förutspådde nära nog en fördubbling av behovet. Utöver de bulkvaror som idag är vanliga i järnvägstransporter så förväntades transporten av matvaror att öka (från en relativt låg nivå). I det höga vitboksscenarioet förutsågs även

⁴ Utöver länderna inom EU25 (se ovan) även Bulgarien och Rumänien.

containertrafiken (klassificerat under rubriken "Övrigt") att öka.

Baserat på de ökade trafikvolymerna beräknades att investeringar på drygt en miljard Euro fram till 2050 för att minimera urspårningar kan motiveras. En första grov analys gjordes för att bestämma vilka investeringar som var mest lönsamma. Analysen indikerade varmgångsdetektorer och hjulskadedetektorer som lönsamma investeringar. Denna bild skulle senare under projektet komma att nyanseras.

Den information som kom ut från detta delprojekt av D-RAIL gav en god grund för att utvärdera om olika åtgärder var lönsamma på längre sikt. Studien gav även en viss inblick i hur konsekvenserna av urspårningar kommer att förändras med tiden (mer trafik

vilket ger mera störningar, samt en viss förändring i transporterade varor). Däremot gav studien mycket lite information om huruvida de tekniska förutsättningarna för urspårningar kommer att förändras (t.ex. förändringar i godsvagnars löpverk). Detta hänger ihop med att denna typ av studier förutsätter att förändringar sker (mer eller mindre) kontinuerligt. Därigenom kan inte språngvisa innovationer (tekniska, politiska, ekonomiska, ...) analyseras. Av denna anledning – och på grund av att järnvägen är ett relativt trögrörligt system där en stor andel av såväl infrastruktur som fordon har en hög ålder – så har de följande tekniska analyserna till stor del baserats på de tekniska förutsättningar som gäller i dag.

2.3 Slutsatser och implementerbara resultat

Den kanske viktigaste slutsatsen från denna delstudie är att statistik om urspårningar är svår att upprätta och ännu svårare att tolka. Dessa svårigheter relaterar till ett antal nyckelfrågor:

- Hur definieras olika orsaks-klasser? Hur grupperas likartade orsaks-klasser? Var läggs avgränsningen mellan olika klasser? Hur hanteras samverkande orsaker?
- Vilka tröskelvärden (ekonomiska och/eller i

termer av potentiell "farlighet") för rapportering skall tillämpas?

Svaret på frågorna ovan är nödvändigt om rapporteringsrutinerna i Europa skall kunna harmoniseras. En sådan harmonisering är nödvändig om man skall kunna jämföra urspårningsstatistik över tid och mellan länder. I dagsläget är detta inte möjligt! Ett tydligt belägg för detta ges i avsnitt 2.1.3 där den

stora mängden och låga medelkostnaden för urspårningar i Storbritannien med stor sannolikhet beror på andra rapporteringsrutiner⁵.

Harmoniserade rapporteringsrutiner skulle även underlätta överförande av data mellan olika nationella och internationella databaser, något som i dagsläget inte fungerar tillfredställande.

Beroende på antaget scenario så kommer framtida godstransportbehov på järnvägen att öka med mellan 20 % och 100 %. I stort förväntas de transporterade varorna vara desamma. Dock förväntas en ökning av mattransporter samt av containertrafik. Med dessa förändringar så anses investeringar på drygt 1 miljard Euro fram till 2050 för att minimera urspårningar vara motiverade.

Som inspel till det fortsatta arbetet inom D-RAIL levererade delprojektet en lista över de viktigaste urspårningsorsakerna. Denna har sedan analyserats i detalj, framförallt i delprojektet WP3.

⁵ Ett ännu mer extremt exempel är att under 2005–2010 rapporterades 11 157 urspårningar i USA och 358 urspårningar i Ryssland. En trolig orsak är att medan myndigheterna kräver tillsättandet av en utredningskommitté vid samtliga urspårningar i Ryssland så kräver försäkringsbolagen en rapport vid urspårningar i USA för att betala ut ersättning.



Bild Trafikverket



Bild Trafikverket

3 Grundorsaker till urspårningar – teknisk analys

3.1 Val av urspårningsscenarier

Studien av grundorsaker till registrerade urspårningar utgår från de åtta prioriterade urspårningsorsaker vilka listas i Tabell 1. En första analys presenteras i rapporten D3.1. Här etableras orsak-verkan-kedjor och exempel på urspårningar på grund av de studerade orsakerna ges.

För att öka precisionen i orsaksanalysen genomfördes genomgripande tekniska analyser. I planeringen av dessa noterades att det parallellt med D-RAIL pågick ett europeiskt forskningsprojekt EURAXLES, vilket studerade axelhaverier. För att inte duplicera arbetet så beslöts (redan i ansökan till D-RAIL) att axelhaverier inte skulle inkluderas i djupstudien av grundorsaker⁶. Kvarvarande orsaker delades in i tre grupper:

- Urspårning på grund av flänsklättring (denna grupp inkluderar orsakerna Felaktig spårvidd, Skev belastning, Skevningsfel hos

spår, Felaktig spårförhöjning / spårgeometri och Havererat upphängningssystem)

- Urspårning på grund av rälsbrott
- Urspårning på grund av hjulbrott

Inverkande parametrar har initialt inkluderats från tidigare forskningsresultat. Ytterligare studier har sedan identifierat de viktigaste av de inverkan parametrarna. Dessa studier har främst utförts som numeriska simuleringar (med kompletterande provning, se avsnitt 0). Utöver att identifiera de viktigaste operativa parametrarna har simuleringarna även använts för att identifiera parameterkombinationer och/eller driftsförhållanden som leder till hög risk för urspårning. Denna kunskap kan sedan användas för att förbättra precisionen hos normer och föreskrifter.

⁶ För att trots detta upprätthålla informationsutbyte deltog vi bland annat i EURAXLES seminarier.

3.2 Flänsklättring

Denna studie delades in i tre delar, vilka redovisas nedan.

3.2.1 Statistik över hjulkrafter

Kunskap om uppmätta hjulkrafter är viktig för att kunna förutsäga konsekvenser av förändrade gränsvärden. Som nämns tidigare gäller det ju inte bara att stoppa urspårningsbenägna fordon, utan lika mycket att inte stoppa fordon i onödan. Den insamlade statistiken gör det möjligt att utvärdera konsekvenserna av olika tillåtna värden. En mycket viktig faktor här är giltigheten hos uppmätta värden: En felaktigt kalibrerad hjulkraftsdetektor kan leda till att tåg stoppas i onödan. En enkel analys i rapport D3.3 visar hur förödande konsekvenser detta kan få på trafiken.

3.2.2 Linjeurspårning

I denna analys inom D-RAIL kvantifierades inverkan av diverse fordons- och spårparametrar på risken för flänsklättring. Studien visade på den stora inverkan löpverkens upphängningskaraktäristik och speciellt frigången (d.v.s. maximalt tillåtet utslag) har på risken för urspårning.

Analysen visade även problem i hur olika standarder hanterar urspårningssäkerheten. Mer precist visade sig den brittiska

standarden GM/RT 2141 för fordonsgodkännande vara mycket mer strikt än motsvarande europeiska standard EN 14363. Detta är en indikation på att kraven i EN 14363 kan vara otillräckliga.

En studie över inverkan av geometrin hos isolerade spårlägesfel visade hur korta spårlägesfel kan leda till urspårningar även då nuvarande normer följs. Baserat på uppmätt spårlägesstatistik verkar dock dessa i dagsläget vara mycket ovanliga. Oavsett detta bör regleringen av tillåtna skevningsfel i EN 13848-5 ses över.

Även inverkan av skvalplaster i halvtomma tankvagnar har analyserats. I ett värsta scenario kan de leda till upp till 20% ytterligare snedbelastning.

3.2.3 Urspårning i växlar

En växel kan i detta sammanhang ses som en extrem kurva. Studien på urspårning i växlar som genomfördes inom D-RAIL var därför en grundbult i arbetet med att etablera operativa gränsvärden för att undvika urspårningar på grund av flänsklättring.

I detta arbete behövde först de viktigaste parametrarna identifieras i en känslighetsanalys.

I denna studie ingick ett realistiskt spann för 25 operativa parametrar. Denna studie identifierade de viktigaste parametrarna som:

- Friktion mellan hjul och räl
- Skev belastning av vagnarna i såväl lateral som longitudinell led
- Skev vagnsram vilka ger en konstant skev belastning av hjulen
- Spårfel, speciellt skevningsfel

Genom att anta ett dåligt, men realistiskt (d.v.s. inom normerna) scenario vad gäller spårläge och friktion mellan hjul och räl kunde ett kriterium för tillåten kraftobalans mellan hjul i en vagn tas fram. Detta kriterium kan uttryckas som

$$I_{\text{alo}} = \frac{I_a}{-0,25 \cdot I_{\text{lo}} + 2,05} \leq 1 \quad (1)$$

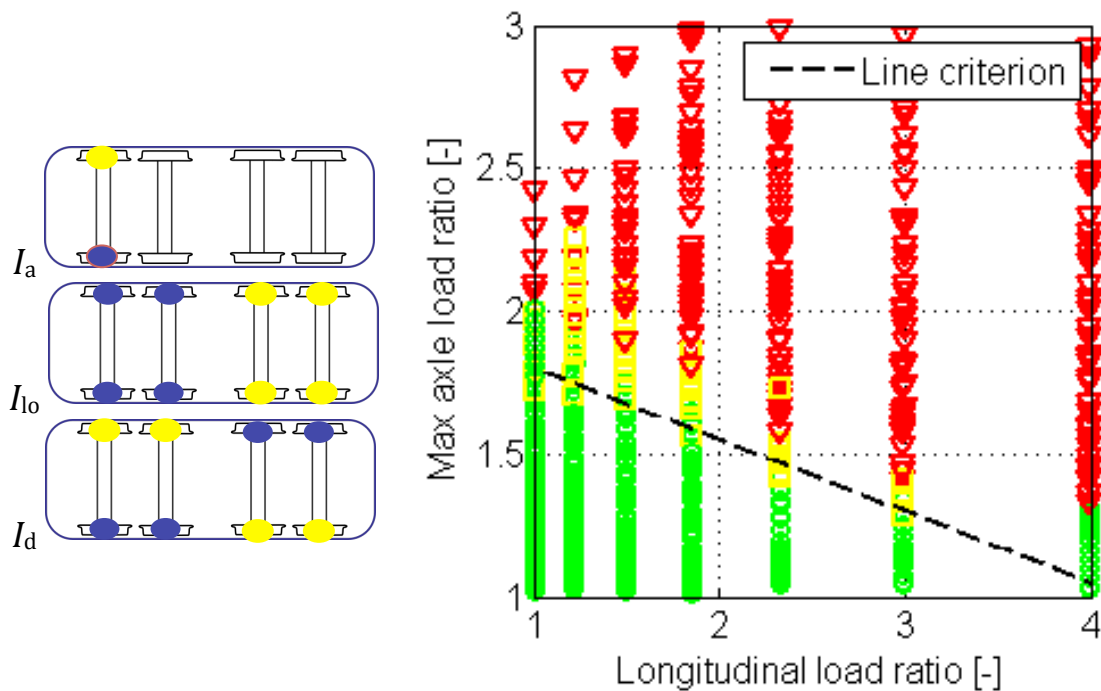
Här är I_a maximal axelobalans i vagnen (maximal kvot mellan vertikala krafter på höger/vänster eller vänster/höger hjul på en axel) och I_{lo} är longitudinell obalans (största kvot mellan summan av vertikala krafter på främre/bakre eller bakre/främre boggi hos en vagn). Notera att krafternas medelvärde skall beaktas och att hjul med höga dynamiska laster bör exkluderas då de ger otillförlitliga värden på medelvärdet. Om kriteriet ej är uppfyllt löper vagnen stor risk för urspårning och bör inte tillåtas fortsätta i drift under nuvarande

förhållanden. Det kan dock tillåtas fortsätta förutsatt att korrigeringar (t.ex. av lastplacering) görs så att kriteriet uppfylls.

Detta kriterium togs fram inom UIC-projektet HRMS utgående från resultat från D-RAIL. Som synes i Figur 3 har det en mycket god träffsäkerhet i att identifiera farliga vagnar⁷.

Kriteriet i ekvation (1) kompletterades med ett kriterium för att identifiera fordon med skev vagnsram. Detta kriterium baseras på diagonal obalansen I_d enligt Figur 3 som uppmätts på *tomma* godsvagnar (eftersom I_d för lastade vagnar även beror av lastplaceringen). Enligt kriteriet bör vagnar underhållas då $I_d > 1,3$ och stoppas (på grund av hög urspårningsrisk) då $I_d > 1,7$.

⁷ Här bör nämnas att de studerade scenarierna i Figur 3 fokuserar på ganska extrema lastsituationer. För verkliga driftscenarior löper den överväldigande majoriteten vagnar ingen risk för urspårning.



Figur 3 Höger: Definition av olika typer av kraftobalanser. Vänster: Kriterium för tillåten lastobalans (streckad linje). Analyserade scenarier markeras enligt: leder till urspårning (röd), högt flänslyft (gul) eller ingen risk för urspårning (grön).

3.3 Rälsbrott

Studien av rälsbrott syftade främst till att identifiera vilka kombinationer av lastnivåer och spricklängder som ger brott. Denna kunskap har sedan använts för att föreslå ett kriterium för tillåtna hjullaster från orunda hjul. Dessutom har en algoritm för att analysera tillväxten av en spricka under ett lastspektrum tagits fram. Detta kan till exempel användas för att bestämma inspektionsintervall för räler.

Detta arbete är mycket omfångsrikt och inleddes redan under EU-projektet INNOTRACK⁸. Det bygger på numeriska simuleringar där en modell för hur

en räl belastas av ett passerande hjul med hjulplatta kalibrerats mot fältmätningar. Därefter analyseras denna belastnings inverkan på sprickor i rälsens fot och huvud. Utgående från ett dåligt, men realistiskt, scenario kunde gränsvärden för tillåten hjulkraft föreslås baserat på att dessa motsvarar scenarier då en 5 mm djup spricka i rälsfoten eller en 25 mm djup spricka i rälshuvudet riskerar att orsaka ett rälsbrott.

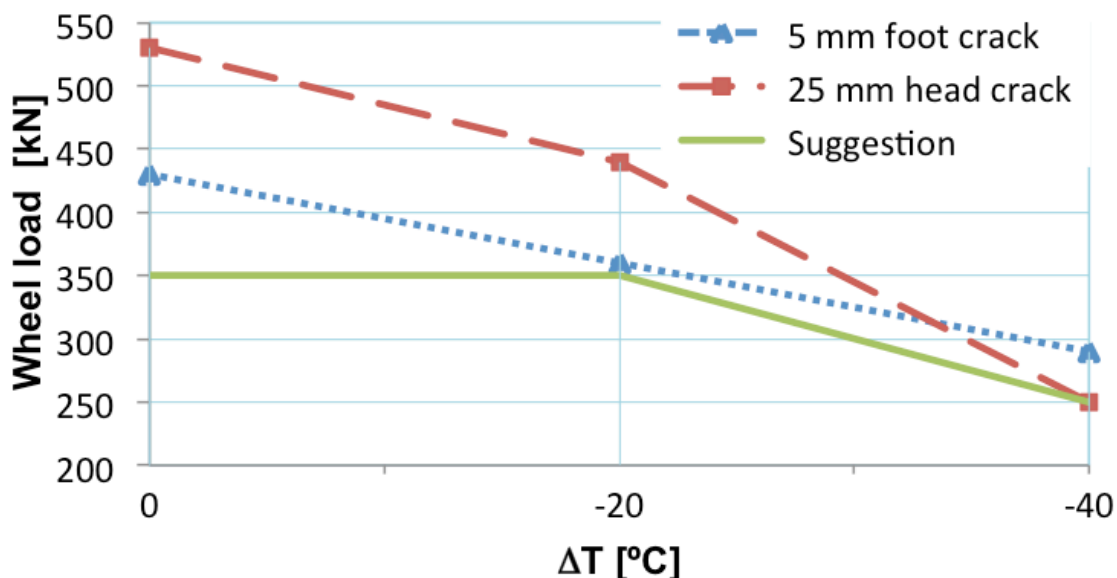
Det föreslagna kriteriet presenteras grafiskt i Figur 4. Notera att temperaturen har en stor inverkan. Detta är en konsekvens av att kalla temperaturer ger drag i rälen vilket ökar risken för rälsbrott.

⁸ Se www.innotrack.eu för ytterligare information.

Denna effekt är även mycket tydlig när det gäller spricktillväxt. Utgående från detta är en rekommendation att inspektera och åtgärda rälen med avseende på sprickor nära inpå vintern. Under vintern kommer de sprickor som finns att växa snabbare och leda till rälsbrott vid lägre belastningar. Man kan notera att nuvarande europeiska normer inte tar hänsyn till den stora inverkan av temperaturen och därför inte är lämpliga för drift i kallt klimat (d.v.s. vid temperaturer långt under spänningsfri temperatur).

I den analys som ledde upp till kriteriet för godtagbara hjulkrafter i Figur 4 har inverkan av lateral

böjning av rälen försumrats. Detta studerades närmare i D-RAILs sjätte delprojekt (WP6 "Kompletterande och utvärderande provning") med hjälp av fullskaleförsök och avancerade numeriska simuleringar. Dessa visade att för höga laterala krafter (orsakat av t.ex. skarpa kurvor och/eller höga hastigheter vid kurvtagning och/eller styvt löpverk) så kan den laterala böjningen inte försummas. Ett samband mellan lateral kraft och motsvarande påkänning på grund av lateral böjning togs fram i studien. Detta kan användas för att analysera inverkan under olika operativa scenarier.



Figur 4 Föreslaget kriterium för tillåtna maximala laster från orunda hjul för olika temperaturer (uttryckt som avvikelse från spänningsfri temperatur, ΔT). Lastnivåer som orsakar brott från en 5 mm fotspricka eller en 25 mm stor huvudspricka är indikerade i bilden.

3.4 Hjulbrott

Studien när det gällde urspårning på grund av spruckna hjul fokuserade till stor del på skillnad mellan hjul speciellt designade för att kunna klara höga bromseffekter och standardhjul. Denna jämförelse visade att specialhjulets förbättrade tolerans mot termiska laster kom

på bekostnad av en större känslighet för mekaniska laster, speciellt från hjulplattor utanför rullcirkeln.

Utöver detta så visade studien att sprickor i hjulskivan växer mycket långsamt. Detta innebär att de är väldigt utsträckta i omkretsled innan de börjar växa på djupet.

3.5 Slutsatser och implementerbara resultat

I avsnitten ovan beskrivs några implementerbara resultat. I rapporten D7.1 (se Annex II) finns mer utförliga listor på 29 sätt att

påverka urspårningsrisken, samt 37 potentiella modifieringar för att minska risken för urspårningar.

4 Övervakande utrustning idag och imorgon

4.1 Nulägesanalys och koncept att utvärdera i D-RAIL

En första utvärdering av möjliga metoder för att undvika urspårningar relaterade till de åtta prioriterade urspårningsorsakerna identifierade i WP1 presenteras i rapporten D3.1, se Annex II. Här klassificeras olika typer av övervakningsutrustning / inspektionsprocedurer som kan användas för att hantera de olika

fenomenen. Metoderna klassificeras bland annat baserat på nuvarande status av implementering. Ett exempel på en klassificeringsmatris ges i Figur 5. Denna analys kompletterades med en grov kostnadsuppskattning och klassificering enligt NASAs "Technology Readiness Level".

Denna första, översiktliga analys låg sedan till grund för den

utvärdering som genomfördes i D-RAILs fjärde delprojekt (WP4: Nulägesanalys av inspektions- och övervakningsutrustning). Denna gick igenom existerande övervaknings- och inspektionssystem mer ingående.

Utifrån analysen av grundorsaker till urspårningar som tidigare genomförts i WP3 identifierades vilka förbättringar av existerande övervakningssystem som behövdes. Denna studie redovisas i rapporten D4.1 (se Annex II).

number of subcategory	subcategories of derailment causes	monitoring target	monitoring target type	T	T	T	T	T	T	V	V	Y	W	W	W
				axle load checkpoint (Q)	axle load checkpoint (Y and Q, resp. Y/Q)	wayside crack detection	hot box detection (infrared-based)	acoustic bearing detection	vehicle profile measurement	acceleration/force measurement (vertical)	stress detector	visual inspection	visual inspection	ultrasonic inspection	magnetic particle inspection
1	axle rupture (in general)	cracks on axle	preceding causes			c							a	b	a
2	axle rupture (in general)	faulty running surface	preceding causes	a	b					c		a	a		a
3	axle rupture (in general)	faulty suspension	preceding causes	a	b				b		c	a	a		
4	axle rupture (in general)	faulty frame	preceding causes	a	b						c				
5	axle fatigue	overloading	preceding causes	a	b						c				
6	axle fracture	overloading	preceding causes	a	b						c				
7	axle rupture due to thermal stress	faulty bearings (before overheating)	preceding causes					b							
8	axle rupture due to thermal stress	faulty bearings (overheated bearings)	preceding causes				a								

Legend:
T - track side
V - vehicle side (in general)
R - vehicle side (recording car)
Y - (shunting) yard
W - workshop
a - measures, which are well known and widely used
b - measures, which are already known but not widely applied (prototypes, etc)
c - measures, which might be relevant for the future

Figur 5 Exempel på övervaknings- / inspektions-matris från rapport D3.1.

De detektorer som utvärderades inkluderade spårbaserade metoder (last- och hjulkraft-detektorer, varmgångs- och lagerbox-detektorer, hjul- och last-profilmätare), samt

fordonsbaserade (spårgeometri- och spårstyvhets-mätning, inspektion av spårkomponenter och detektering av defekter). När det gäller spårbaserade metoder är en nyckelfaktor att kunna

koppla uppmätta data till rätt fordon. Av den anledningen inkluderades även en översikt av metoder för fordonsidentifikation.

Rapporten inkluderade även en översikt över nuvarande status för

inspektion- och övervakningsstrategier för att undvika urspårningar i Tjeckien, Sverige, Schweiz, Österrike och USA.

4.2 Slutsatser och implementerbara resultat

Slutsatser från analysen var att när det gäller urspårningar orsakade av infrastrukturen (spårgeometri och rälbrott) så är dagens tekniker i stort sett effektiva. De områden där det ansågs finnas högst utvecklingspotential var haverier beroende på hjulhaverier, löpverkshaverier och snedbelastning.

I den fortsatta analysen (presenterad i D4.2, se Annex II) genomfördes en gap-analys. Utifrån denna valdes några tekniska lösningar ut för ytterligare utvärdering: En metod för visuell inspektion av hjulskador, en instabilitetssensor, samt en urspårningsdetektor för godsvagnar. Dessa tekniker har sedan testats i full skala inom D-RAIL sjätte delprojekt (WP6: Kompletterande och utvärderande provning).

När det gällde visuell inspektion av hjulskador fokuserade testerna på flänsskador, vilka systemet detekterade. Såväl instabilitetssensorn som urspårningsdetektorn visade goda resultat i fullskaletester. Dessa

kommer att analyseras ytterligare och detektorerna kommer att lanseras i operativ drift.

Utöver den direkta övervakningen ansågs harmoniserad datahantering (standardiserade protokoll och format) och harmoniserade gränsvärden vara nyckelfaktorer för effektiv urspårningsprevention. I D-RAILs femte delprojekt (WP5: "Inspektions- och övervakningskoncept att utvärdera i D-RAIL") studerades detta. I dagsläget är urspårningspreventionen i Europa ett lappverk av olika nationella strategier. Det som ytterligare försvårar situationen är att övervakningssystem, protokoll för dataöverföring och åtgärdsprogram inte heller är harmoniserade.

I WP5 konstaterades att de olika typer av data (operativ data, inspektions-/övervakningsdata, anläggningsdata m.m.), samt den mängd aktörer som är inblandade (operatörer, infrastrukturhållare, fordonsägare, entreprenörer m.m.) komplicerade situationen. För att kunna hantera

informationsflödet krävdes att data relaterades till rätt delar av järnvägssystemet (t.ex. till rätt fordon), samt att den skickades och hanterades på ett standardiserat sätt. Till hjälp för detta finns redan i dagsläget ett antal standarder. Utmaningen är att implementera dem och få dem att fungera i en operativ verksamhet. Utöver detta kan det finnas juridiska komplikationer, till exempel när data skickas över nationsgränser.

För att verifiera konceptet genomfördes ett test-scenario för övervakning av ett tåg som färdas från Sverige till Belgien. En mätplats i Sverige och en i Tyskland inkluderades i testet. RFID användes för att

vagnsidentifikation vilket gjorde att mätdata från Tyskland och Sverige kunde jämföras vagn för vagn. Överensstämmelsen visade sig vara mycket god.

Det lyckade försöket visade att med relativt små åtgärder kan övervakningssystem koordineras och data överförs mellan länder. Detta leder till stora möjligheter för förbättrad trafikövervakning. Som ett enkelt exempel kan en vagn med höga hjulkrafter följas oavsett var den befinner sig inom EU. Detta gör att underhåll kan planeras in för att utföras då den anländer lämpligt serviceställe istället för att tåget stoppas på linjen med trafikstörningar och onödiga kostnader som konsekvens.

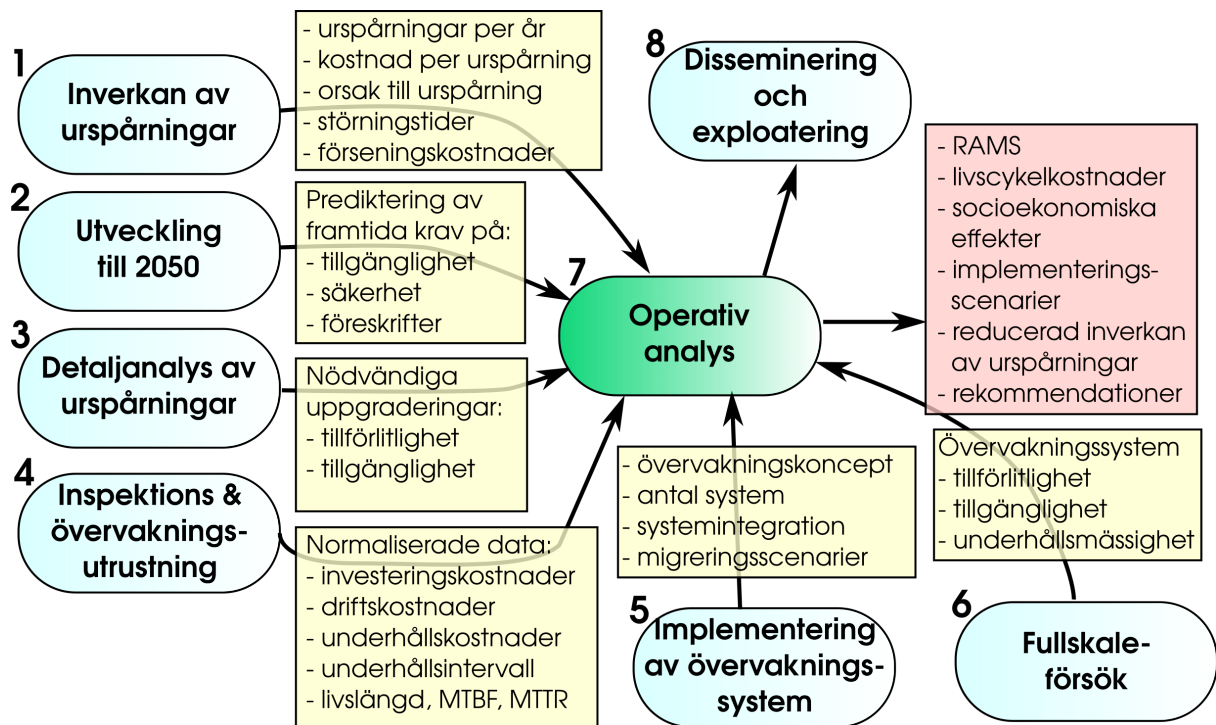
5 Strategier för att minimera (konsekvenserna av) urspårningar

I D-RAILs sjunde delprojekt (WP7: "Utvärdering och slutsatser") analyserades resultaten från tidigare delprojekt. I den meningen är WP7 det centrala delprojektet inom D-RAIL. Kopplingen till övriga delprojekt visas i Figur 6.

Den första utvärderingen rörde D-RAILs målsättningar att minska godstågsurspårningar med 8–12%, samt minska urspårningsrelaterade kostnader med 10–

20%. I bägge fallen lever D-RAIL upp till målsättningarna. Det visar sig dessutom att målen kan nås med existerande teknik då mer än hälften av urspårningarna (motsvarande 75% av kostnader) hanteras av tre typer av inspektions-/övervakningssystem:

- Varmgångs-/tjuvbromsdetektorer
- Hjulkraftsdetektorer
- Spårgeometrimätningar



Figur 6 Koppling mellan delprojekt WP7 (grön) och övriga delprojekt (blå). Viktiga indata till WP7 anges i gula rutor och viktiga utdata från WP7 i den röda rutan.

5.1 Övervakningssystemens effektivitet

Effektiviteten hos dessa tre övervakningssystem har analyserats genom livscykelkostnadsanalyser, samt kostnads-nyttoanalyser. Bägge analyserna visar på ekonomiska vinster, samt på att penningflödet inklusive (kalkylerings-)ränta har stor inverkan.

Livscykelkostnadsanalysen har även använts för att i detalj analysera de tre övervakningssystemen. Både spårgeometri- och hjulkraftsmätningar visade sig vara kostnadseffektiva.

Varmgångs-/ tjuvbromsdetektorer är förenade med stora kostnader. Detta relaterar till att de bör

placeras med ett visst kilometeravstånd på grund av att lagerboxar kan degradera till haveri över relativt korta avstånd. Effekten av att installera ytterligare varmgångs-/ tjuvbromsdetektorer visade sig vara låg. Till stor del beror detta dock på att dessa detektorer idag är relativt vanliga och urspårningar orsakade av varmgång/tjuvbroms därigenom är relativt ovanliga.

I detaljerade analyser har sedan effekten av nya detektorinstallationer och ökad tillförlitlighet hos detektorerna undersökts. Denna analys tog hänsyn till de tre scenarier för

godstrafikutvecklingen som togs fram inom WP2 (se avsnitt 1.1). Slutsatsen var att nya detektorer inte per automatik leder till minskade livscykelkostnader. Mer tillförlitliga system verkade ge en bättre effekt. Framförallt bör strategin för installation av nya detektorer anpassas efter de lokala förhållandena. Dessa inkluderar såväl den nuvarande mängden detektorer, som vilka säkerhetsnivåer som krävs på olika banor.

I den kostnadseffektivitetsanalys som gjordes var av nödvändighet en mängd faktorer exkluderade. Så inkluderar t.ex. kostnadsuppskattningar för

urspårningar sällan sekundära eller långsiktiga kostnader. Som Trafikverkets analyser av vinterproblem visar [xxx ref xxx] så kan dessa vara betydande. I många fall är inte heller trafikstörningskostnader inkluderade med någon detaljeringsgrad.

När det gäller vinster med övervakningen så ger detektorerna inte bara data för godståg (vilka var fokus i D-RAIL), utan även passagerartåg. Utöver den rena säkerhetsaspekten så kan dessutom data användas till underhållsplanering, vilket ger stora vinster.

5.2 Implementeringsstrategier

På grund av de skiftande förutsättningarna på olika håll i Europa kommer implementeringsstrategin troligen att variera från nätverk till nätverk.

I nätverk där man förlitar sig på manuell inspektion och där trafiken är lågfrekvent och/eller har låg hastighet kommer den predikterade trafikökningen (se kapitel 1 ovan), samt den ökade

kommersialiseringen av övervakningsutrustning troligen innebära att ett skifte mot mer automatiserad övervakning.

I nätverk med mer trafik där man redan idag har mycket automatiserad övervakning förväntas istället den stora utvecklingen ske inom integrering av systemen och datautbyte mellan olika aktörer.

5.3 Slutsatser och implementerbara resultat

Den viktigaste slutsatsen från WP7 är att D-RAILs mål – att minska godstågsurspårningar med 8–12%, samt att minska urspårningsrelaterade kostnader

med 10–20% – är möjliga att uppnå med nuvarande teknik. Mer än hälften av urspårningarna (och 75% av kostnaderna) kan hanteras av tre typer av

inspektions-/övervakningssystem: Varmgångs- / tjuvbroms-detektorer, hjulkraftsdetektorer och spårgeometrimätningar.

En viktig faktor i att åstadkomma vinster i livscykelkostnader är att de detektorer som används är tillförlitliga. Till de direkta vinsterna avseende minskade urspårningskostnader för godståg som analyserats skall sedan adderas ytterligare positiva effekter på annan trafik, samt utökad underlag för underhållsplanering. Det senare kommer av den ökade mängd

(högkvalitativa) data som detektorerna genererar.

Ytterligare en viktig slutsats är att mycket av den övervakningsutrustning som finns idag används individuellt. Om istället data från flera övervakningsutrustningar kan sambearbetas och information spridas mellan olika aktörer förväntas nyttan av detektorer öka väsentligt.

När det gäller implementering av nya övervakningsstrategier så förutses att dessa kommer skilja sig mycket mellan olika regioner inom Europa.

6 Sammanfattning

D-RAILs konkreta mål var att minska mängden urspårningar av godståg i Europa med 8–12%, att minska de relaterade kostnaderna med mellan 10–20%, samt att öka godstrafikens konkurrenskraft gentemot andra transportslag. De två första målen har visat sig vara genomförbara med dagens teknik genom den nya kunskap D-RAIL har gett. Det tredje målet beror av många externa faktorer utanför D-RAILs påverkan, men verkar kunna uppfyllas.

Arbetet med att uppfylla målen inleddes med en sammanställning av det nuvarande läget när det gäller urspårningar av godståg.

Detta visade sig mycket mer svåranalyserat än väntat. Bättre och mer harmoniserade rapporteringsrutiner behövs för att underlätta sådana analyser i fortsättningen.

Prioriterade urspårningsorsaker undersöktes därefter i detalj. Denna analys etablerade grundorsaker till urspårningarna samt kvantifierade inverkan av olika parametrar. Dessutom identifierades en mängd möjligheter att minska antalet urspårningar. I vissa fall föreslogs gränsvärden för tillåtna operativa värden på nyckelvariabler vad gäller risk för urspårning.

Nuvarande detektorer analyserades sedan i en gapanalys där ett antal innovativa detektorlösningar valdes ut och testades i fullskaleförsök. Även implementeringsprocessen för gränsöverskridande detektornätverk analyserades och operativa test med gränsöverskridande trafik mellan Sverige och Tyskland genomfördes.

Slutligen genomfördes en utvärdering utifrån risk, livscykelkostnad och RAMS. Denna utvärdering ledde till de inledande slutsatserna i detta kapitel.

En aspekt som är grundläggande i D-RAILs arbete är att de detektorer som analyserats ökar säkerhetsnivån från nuvarande

nivå. En icke fungerande övervakningsutrustning är därigenom ingen säkerhetsrisk i sig. Att stanna tåg på grund av en icke fungerande detektor kan tvärtom sänka säkerheten i ett samhällsperspektiv i och med att det leder över transporter till mindre säker vägtrafik. Övervakningssystemen skall istället ses som ett komplement för att ytterligare höja (drift)säkerheten.

Med samma resonemang förstår man den oerhörda vikten av att ha väl avvägda och underbyggda larmgränser. Metodologin för att etablera dessa och specifikationen av några väsentliga sådana är därigenom ett av de viktigaste resultaten från D-RAIL.

7 Referenser

1. SIKÄ, **SIKÄ Basfakta 2008 – Övergripande statistik om transportsektorn**, Rapport 2009:28, 125 sid, 2009
2. ERA, **Prevention and mitigation of freight train derailments at short and medium terms**, Report ERA/REP/02-2012/SAF, 84 pp, 2012
3. Europeiska kommissionen, **VITBOK Färdplan för ett gemensamt europeiskt transportområde – ett konkurrenskraftigt och resurseffektivt transportsystem**, Rapport KOM(2011) 144, Bryssel, 32 sid, 2011

ANNEX I – Projektdeltagare

1. University of Newcastle upon Tyne, United Kingdom
2. Union Internationale des Chemins de Fer – UIC, France
3. Rail Safety and Standards Board – RSSB, United Kingdom
4. Technische Universitaet Wien, Austria
5. Panteia, Netherlands
6. Chalmers tekniska högskola, Sweden
7. Politecnico di Milano, Italy
8. The Manchester Metropolitan University, United Kingdom
9. Lucchini RS, Italy
10. Mer Mec, Italy
11. Faiveley Transport Italia, Italy
12. Telsys, Germany
13. Oltis group, Czech Republic
14. Vyzkumny ustav zeleznicni – VUZ, Czech Republic
15. Deutsche Bahn – DB, Germany
16. Harsco Rail, United Kingdom
17. Schweizerische Bundesbahnen – SBB, Switzerland
18. OBB-Infrastruktur, Austria
19. Societe Nationale des Chemins de Fer Francais – SNCF, France
20. Trafikverket, Sweden
21. University of Huddersfield, United Kingdom

ANNEX II – Projektrapporter

- D1.1 Summary report and database of derailment incidents (PU)
- D1.2 Report on derailment economic impact assessment (PU)
- D2.1 Rail freight forecast to 2050 (PU)
- D2.2 Future rolling stock breakdown to 2050 (PU)
- D2.3 Cost/benefit analysis for intervention to reduce freight derailment (CO)
- D3.1 Derailment causes, impact and prevention assessment (PU)
- D3.2 Analysis and mitigation of derailment, assessment and commercial impact (PU)
- D3.3 Guidelines on derailment analysis and prevention (PU)
- D4.1 Existing inspection and monitoring survey and assessment (CO)
- D4.2 System enhancements, developments and functional system specifications (CO)
- D5.1 Integration and development of monitoring concepts (CO)
- D5.2 Outline system requirements specification for pan-European freight monitoring (PU)
- D6.1 Analysis of vehicle and wayside monitoring technology field tests (CO)
- D6.2 Analysis of cross border freight operational testing (CO)
- D6.3 Field test evaluation results for RAMS/LCC and derailment indicators (CO)
- D7.1 Existing derailment RAMS and economic studies and D-Rail approach (CO)
- D7.2 RAMS-analysis and recommendation (technical focus) (PU)
- D7.3 LCC-analysis and recommendation (economic focus) (PU)
- D7.4 Industry guidelines / standard for implementation of monitoring techniques (PU)
- D7.5 Scientific and technical review by acknowledged scientists and railway experts (PU)
- D8.1 Set up of private and public website (PU)
- D8.2 Set up of dissemination platform for D-Rail (PU)
- D8.3 Dissemination and implementation of D-Rail results (PU)
- D8.4 Exploitation of results from D-Rail (PU)
- D9.1 Project management plan and quality assurance (CO)

Mer information
d-rail-project.eu
www.trafikverket.se

www.chalmers.se/charmec
www.vinnova.se