

Förseningsbidrag och kritiska händelser – Nycklar till sambandet mellan störningar och punktlighet

Slutrapport från projekt
*Utveckling av spridningsmått för
störningar och deras påverkan på
punktlighet - UTSPRIDD*

RISE rapport 2019:82

ISBN 978-91-89049-12-3

2019-09-30

Martin Joborn, Zohreh Ranjbar

martin.joborn@ri.se, zohreh.ranjbar@ri.se

Sammanfattning

Punktlighet är Trafikverkets viktigaste mätetal på kvalitet i tågkörning. Tåg med en slutförsening på 6 minuter eller mer räknas som "opunktliga" medan tåg med mindre avvikelse räknas som de är "punktliga". Branschens målsättning är att uppnå 95% punktlighet, det har dock visat sig svårt att höja punktligheten trots branschgemensamma initiativ. Tillsammans för tåg i tid (TTT) är ett branschgemensamt initiativ i syfte att höja punktligheten i järnvägssystemet.

Trafikverkets huvudsakliga mått på en störning är den totala *merförseningstid* eller *störningstid* som störningen har genererat. Störningar som ger merförsening som är 3 minuter eller mer registreras och kopplas till den händelse som anses vara grundorsak till störningen/merförseningen, medan merförseningar som är mindre än 3 minuter inte registreras och orsakskopplas.

Syftet med detta projekt är att hitta tydligare samband mellan händelser och punktlighetsbrist. Genom att ta hänsyn till återhämtning (och inte bara merförsening) kan man skapa en koppling mellan orsakande händelser och förseningen på slutstationen så att man på ett bättre sätt kan identifiera vilka störningar som ger upphov till punktlighetsproblem. De samband som har utvecklats bygger på några nya mätetal:

- Förseningsbidrag – hur mycket varje händelse bidrar till tågets slutförsening
- Kritiska händelser – om en händelse eller en störning direkt orsakar opunktlighet
- Störningsspridning – hur mycket en störning sprider sig från själva händelseplatsen

Målet med denna studie är att avgöra på vilket sätt de föreslagna, kompletterande måtten för störningar och störningars spridning är användbara i praktiken och vilken kompletterande kunskap de kan ge jämfört med de redan etablerade måtten. En fallstudie har genomförts med data från snabbtåg på södra och västra stambanorna.

En automatiserad datorbaserad algoritm har tagits fram för beräkning av de nya mätetalen som fungerar generellt utan manuella ingrepp, vilket är ett villkor för mer storskalig användning. Projektet har också visat hur ett modernt databearbetningsverktyg (PowerBI) kan användas för dynamiska analyser och visualisering.

De nya mätetalen visar i studien stor potential att komplettera de befintliga mätetalen för att kunna både öka förståelsen kring punktlighetsproblematiken och för att göra skarpare åtgärder för att höja den. De viktigaste resultaten från denna studie:

- Förseningsbidrag och kritiska händelser ger kompletterande kunskap om opunktligheten.
- Små händelser orsakar till stor del av opunktligheten.
- Småförseningar (dvs icke-registrerade störningar på 1-2 minuter vardera) är viktiga för opunktligheten.
- Många störningar återhämtas, det är därför viktigt att veta vilka som har påverkan på punktligheten och vilka som inte har påverkan.
- Störningar som sker i slutet av resan är oftare kritiska än andra störningar.
- Baserat på förseningsbidrag och kritiska händelser kan ett effektsamband mellan störningstid och punktlighet skapas.

- Effektsambandet visar att beaktande av kritiska händelser kan göra punktlighetsåtgärder effektivare än om åtgärdsprioritering baseras på störningstid.
- Visualiseringar av störningars spridning genom av basera visualisering på förseningsbidrag ger en god bild hur störningar lever i järnvägsnätet.
- Moderna databehandlings- och datavisualiseringsverktyg kan underlätta för dynamisk bearbetning och djupdykning i data.

Ett sidoresultat av studien är att det är av stor vikt att göra detaljerade djupanalyser som komplement till aggregerade analyser, då flera av slutsatserna i denna rapport hade varit mycket svårare att göra om man arbetat för brett. Genom att fokusera data, i vårt fall norrgående snabbtåg på södra stambanan, erhöles mycket tydligare resultat än om en spretigare datamängd skulle ha använts.

Projektet är en fortsättning på förstudien SPRIDA¹.

Eftersom det finns stor potential i de nya begreppen, mätetalen och angreppssätten föreslås att Trafikverket snarast fortsätter utvecklingen av de framtagna koncepten.

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE rapport 2019:82

ISBN 978-91-89049-12-3

Kista/Västerås 2019

¹ SPRIDA: Förstudie om metoder för att mäta spridningseffekter av störningshändelser i tågtrafiken

Innehåll

Sammanfattning.....	2
Förord.....	5
1 Inledning.....	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte, avgränsning och metod.....	7
1.3 Relaterade projekt.....	9
1.4 Resultatspridning och kommunikation	10
2 Befintliga mätetal: Merförsening, störningstid och punktlighet.....	10
3 Nya mätetal: Förseningsbidrag och kritiska händelser	12
3.1 Förseningsbidrag: Koppling mellan händelse och slutförsening.....	12
3.2 Kritisk Händelse	15
4 Fallstudie	16
4.1 Data och punktlighet	16
4.2 Karaktäristik av kritiska händelser.....	18
4.3 Användning av förseningsbidrag och kritiska händelser	23
5 Effektsamband störningstid – punktlighet.....	31
6 Mer om samband mellan merförsening och punktlighet	34
7 Spridning av händelser: Visualisering och mätetal	39
7.1 Visualisering	39
7.2 Mätetal	42
8 Slutsats och nästa steg	46
9 Referenser	48

Förord

Projektet har finansierats av Trafikverket och utförts av RISE Research Institutes of Sweden inom ramarna för Branschprogram Kapacitet i Järnvägstrafiken, KAJT (www.kajt.org). Projektledare har varit Martin Joborn och Zohreh Ranjbar har varit projektdeltagare. Projektets kontaktperson vid Trafikverket har varit Mats Gummesson och Trafikverkets främste mottagare har varit Soli Liu Viking. Projektutförarna Martin och Zohreh vill framföra sitt tack till Mats och Soli för ett konstruktivt och gott samarbete, med en förhoppning att detta kan komma till nytta i TTT:s arbete för att förbättra punktligheten i Sveriges järnvägssystem.

Martin Joborn
Zohreh Ranjbar
September 2019

1 Inledning

Denna rapport är slutrapport för projektet *Utveckling av spridningsmått för störningar och deras påverkan på punktlighet – UTSPRIDD*. Projektets övergripande syfte och mål är att bidra med kunskap och verktyg för att kunna förbättra punktligheten i järnvägssystemet, och mer specifikt har projektet studerat hur nya mätetal för störningar kan komplettera de redan använda.

Projektet har stark och nära koppling till Tillsammans för Tåg i Tid (TTT). TTT är ett av förbättringsinitiativen inom Järnvägsbranschens samverkansforum (JBS). JBS bildades våren 2016 av aktörerna inom järnvägsbranschen, som ett gemensamt forum för att kunna driva på förbättringsarbete för järnvägstrafiken. TTT:s uppdrag och mål är att:

TTT:s uppdrag är att bidra till ett ökat förtroende för järnvägen genom att förbättra punktligheten och öka resenärernas nöjdhet med trafikinformationen och hanteringen vid trafikstörningar. TTT:s mål är tidsatta till 2020, då:

- 95 procent av alla tåg ska ankomma till slutstation inom en marginal på 5 minuter efter utsatt tid.
- 80 procent av resenärerna ska vara nöjda eller neutralt inställda med trafikinformationen i stort trafickläge.

Att förbättra punktligheten har visat sig komplicerat och trögt. Systemet är komplext och man måste angripa problemet från många olika håll. Stort arbete har lagts ner både på att förstå problematikens grunder och på åtgärder. Även om det i rapporten [2] noterades att målet 95%-punktlighet till 2020 kan vara orealistiskt, så är likväl ambitionen i branschen stark för att förbättra punktligheten.

För att förbättra punktligheten är en grund att bättre förstå orsaker till brist på punktlighet för att därefter kunna vidta relevanta åtgärder. Grundidén i denna rapport är att definiera och mäta hur enskilda störningar bidrar till tågens slutstationsförsening. När detta samband finns visar rapporten hur detta samband kan användas för att t.ex. avgöra vilka händelser som mest bidrar till opunktlighet, hitta effektsamband mellan störningstid och punktlighet och för att visualisera spridningen av en störning. Med denna kunskap kan det finnas förbättrade förutsättningar för att hitta precisa åtgärder som kan direkt påverka punktligheten.

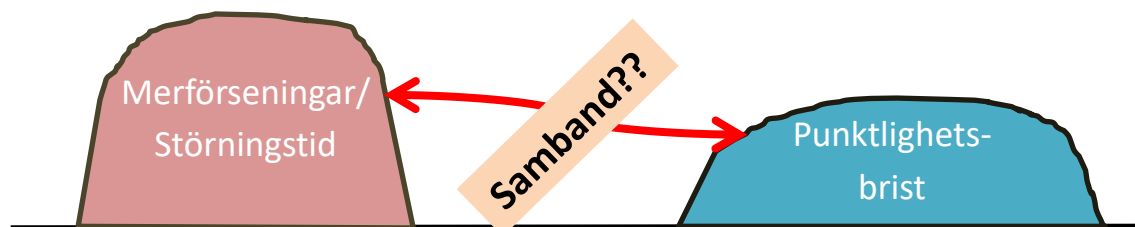
1.1 Bakgrund

Punktlighet är Trafikverkets viktigaste mått på kvalitet i tågföring. Ett officiellt mål är att järnvägssystemet skall ha 95% punktlighet. I uppföljning och officiell statistik räknas tåg med en slutförsening på 6 minuter eller mer som "försenade" medan tåg med mindre avvikelse räknas som de är "i tid"². Efterfrågan på tillförlitliga och smidiga resor och transporter med järnväg ökar, och idag är järnvägstrafiken större än någonsin [6]. Därför har tågtrafikens punktlighet stor betydelse för järnvägssektorn. Under de senaste 10-15 åren är punktligheten i stort sett oförändrad (med viss nedgång under år med besvärliga vintrar) och legat på runt 90% [6], vilket inte anses tillfredsställande. Totala antalet störningstimmar har varierat och på senaste åren minskat något (även om trenden brutits under 2018 och 2019), men punktligheten är i stort sätt oförändrad [2].

² Sekunder trunkeras vid registreringar så tåg med en försening på maximalt 5 minuter och 59 sekunder räknas som att vara "i tid", och tåg med mer försening är "försenade".

Trafikverkets huvudsakliga mått för förseningar i järnvägstrafiken är merförsening och punktlighet. Summar av merförseningar kallas störningstid. Måtten merförsening, störningstid och punktlighet har fått stort genomslag och är viktiga i uppföljning och statistik. Trafikverket rapporterar regelbundet (månadsvis) punktligheten i systemet för persontåg³ uppdelat i tre kategorier av tåg: kortdistans, medeldistans och långdistans [1].

Mer detaljer om dessa mått och deras svagheter beskrivs i kapitel 2. Ett grundproblem är att kopplingen mellan merförseningar/störningstid och punktlighet är svag och det är svårt att förstå hur de påverkar varandra. För att tydligare förstå vilka åtgärder som ger mest effekt på punktligheten kan kompletterande mått och indikatorer behövas. I denna rapport visas på nyttan av nya mått och i fallstudier baserat på snabbtåg på södra stambanan visas dels hur måtten skall beräknas och dels hur de kan användas.



Figur 1: Specifika sambandet mellan merförseningar och opunktligheten är oklart, något som motiverar arbetet i denna studie och som förtydligas inom dess arbete.

1.2 Syfte, avgränsning och metod

Projektet syfte är att utveckla mätetalen för störningar i järnvägstrafiken för att bättre spegla störningars spridning och deras påverkan på punktligheten. Projektet är en fortsättning av den tidigare förstudien SPRIDA⁴, som tog fram förslag till två nya mätetal för störningar och som presenterade möjligheter till fördjupade insikter. Det första mätetalet är en utveckling av merförseningsmättet genom att man tar hänsyn till återhämtning efter inträffad störning. Därmed kan man skapa en koppling mellan orsakande händelser och förseningen på slutstationen så att man på ett bättre sätt kan identifiera vilka störningar som ger upphov till punktlighetsproblem. Det andra mätetalet fångar den geografiska störningsspridningen så man kan identifiera vilka störningar som får allvarliga spridningskonsekvenser och därigenom dra slutsatser om vilka platser, tidsperioder och omständigheter som är särskilt betydelsefulla för att reducera störningars spridning.

Det viktiga med nya mätetal är dock inte mätetalen i sig, utan den förståelse och de åtgärder och förbättringar som mätetalen kan bidra till. Frågeställningar som de nya måtten ska kunna hjälpa till att besvara är t.ex.:

- Hur påverkar enskilda störningar ett tågs punktlighet?
- Hur påverkar händelser punktligheten på ett eller många tåg?
- Har olika typer av händelser olika påverkan på punktligheten?

³ Sedan januari 2017 redovisar Trafikverket inte punktlighet för godståg (även om det naturligtvis följs upp internt). Anledningen är att godsets målstation sällan är densamma som tågets slutstation och att sambandet mellan tågpunktlighet och huruvida godset är i rätt tid till kund är för svagt.

⁴ SPRIDA: Förstudie om metoder för att mäta spridningseffekter av störningshändelser i tågtrafiken

- Vilka platser är viktigast fokusera på för att förbättra punktligheten?
- Vilka händelser och störningsorsaker är viktigast att åtgärda för att uppnå högre punktlighet?
- Hur ser effektsambandet mellan störningstid och punktlighet ut, dvs hur påverkas punktligheten av förändringar i störningstid?
- Hur kan man visualisera en störnings geografiska spridning?

Mer generell frågeställning:

- Hur kan mätetalen bidra med prioriteringsunderlag i arbetet för ökad punktlighet?
- Kan nya mätetal komplettera de vedertagna?

I rapporten visar vi hur måtten kan användas för att besvara ovanstående frågeställningar.

Det finns olika sätt att i detalj definiera de mätetal vi föreslår, och i rapporten argumenteras för att den definition och tolkning vi gjort är rimlig och ger ett robust beteende och att de ger kompletterande information till befintliga mått och statistik.

Inom denna studie gör vi bara analys gällande persontåg. Godståg har en annan kravbild gällande punktlighet än persontåg och dessutom går godstågen ofta utanför sin planerade tidtabellskanal, och det är mycket vanligt att godståg går före tidtabellen. Detta gör att man inte kan behandla persontåg och godståg på samma sätt då det gäller mätningar av merförseningar och punktlighet. De metoder som utvecklats i detta projekt avses att anpassas för godståg i efterföljande projekt.

För att granska nyttan av nya mätetal har vi jämfört dem med befintliga mått för att avgöra vilka nya insikter som kan uppnås. Projektets har skapat ett underlag för att kunna avgöra på vilket sätt de föreslagna, kompletterande måtten för störningar och störningars spridning är användbara i praktiken och vilken kompletterande kunskap de kan ge jämfört med de redan etablerade måtten.

Resultaten har testats genom fallstudier. Djupanalyser har gjorts för snabbtåg på södra stambanan (Stockholm-Malmö, hela sträckan), medan snabbtåg på västra stambanan (Stockholm-Göteborg, hela sträckan) har använts för att verifiera resultaten på södra stambanan. Övriga persontågstyper har inte studerats i fallstudier, men resultaten är överförbara till fjärrtåg och regionaltåg. Huruvida de är direkt överförbara till pendeltågstrafik har inte klarlagts, utan avses undersökas i fortsättningsstudie. Data för fallstudier har hämtats från Lupp, år 2017 har använts som studieår. Valet snabbtåg på södra stambanan gjordes för att det är ett av de fall där punktlighetsproblematiken är störst. 2017 valdes för att det var ganska färskt data och ett "normalår" (medan 2018 var ett mer exceptionellt år ur punktlighetsperspektiv). Vi har utgått från att data i Lupp är korrekt rapporterad; smärre datatvätt har gjorts av uppenbart felaktiga data som gjort att exceptionella resultat erhållits.

I fallstudierna har vi fokuserat speciellt på tåg som har 6-10 minuters försening på slutstationen⁵, dvs tåg som är "nästan punktliga". Det gör vi av olika orsaker, dels för att de flesta tågen faktiskt har små förseningar snarare än stora, dels för att det borde vara mer lågt hängande frukter att fokusera på tåg som redan är "nästan punktliga" än på tåg som har stora förseningar.

⁵ Detta betyder på sekundnivå tåg med försening från 6 minuter och 0 sekunder upp till 10 minuter och 59 sekunder, dvs RT+6 till RT+10 enligt Trafikverkets benämningar.

Ett huvudmål har varit att metoder ska kunna automatiseras så att behov av handpåläggning minimeras vid beräkning av resultat, allt för att möjliggöra användning i större skala. En viktig uppgift i studien var att identifiera undantag och specialfall som gör att "beräkningar enligt standardmall" inte fungerar. Projektet har utvecklat en prototyp för automatiserad analys och databearbetning. Prototypen är skriven i programspråket Python och klarar att hantera större datamängder utan manuella ingripanden i själva databeräkningen. Implementation av programvara så att den kan användas av utomstående eller i Trafikverkets ordinarie verksamhet har inte ingått i projektet.

För bearbetning av resultaten har programvaran PowerBI använts. I PowerBI kan man på ett interaktivt sätt skapa och modifiera diagram och på ett effektivt sätt göra visualiseringar. Som komplement har Excel använts för att skapa diagram för presentation och redovisningar.

En beräkningsprototyp för effektsamband mellan störningstid och punktlighet har också utvecklats i programspråket C#.

I rapporten tas inte ställning till hur resultaten praktiskt kan användas i Trafikverkets verksamhet i arbetet kring punktlighet, inte heller hur resultaten eventuellt kan implementeras som programvara och som styrmedel. I fortsättningsprojekt avses den praktiska användningen att utredas.

Visualisering av resultat är skall också ses som prototypförslag för hur det skulle kunna se ut.

Arbetet har genomförts i samverkan med kontaktperson vid Trafikverket (Mats Gummesson) och en kontinuerlig dialog har hållits om relevans för antaganden, data och resultat.

1.3 Relaterade projekt

Inom KAJT bedrivs flera projekt som ytterst syftar till att minska störningar och skapa en robustare tågtrafik, se KAJT Projektkatalog [4] för en översikt. Av dessa är två projekt närmare relaterade till UTSPRIDD.

Projektet *Mindre störningar i persontågstrafiken (MIST)* [5] har fokus på hur mindre störningar (mindre än tre minuter) påverkar persontrafiken. MIST syftar till att ta fram kunskap om de mindre störningarna i järnvägstrafiken. De mindre störningarna fångas sällan upp i Trafikverkets ordinarie uppföljningsarbete. Mist undersöker fördelning av mindre störningar och var och hur de uppträder, hur de kan kategoriseras och bedömas och föreslår även konkreta åtgärder för att förhindra, förebygga och mildra konsekvenserna av mindre störningar.

Projektet *Nyckeltal för punktlighet på järnväg (Nypunkt)* [7] syftar till att ge större förståelse kring vad som orsakar icke-punktliga tåg, en tydligare bild av sambandet mellan åtgärd och effekt vad som behövs för att nå det övergripande målet om 95 procents punktlighet. Projektet omfattar både resandetåg och godståg. Projektet ska ta fram ett antal indikatorer som är lätta att förstå, mätbara och kunna användas för att utvärdera åtgärders effekt på punktlighet.

I förhållande till dessa två närliggande projekt så gör UTSPRIDD en djupanalys av nya mätetal för enskilda störningar för att avgöra hur mätetal kan användas, snarare än att analysera på en mer aggregerad nivå som Nypunkt gör. En detaljerad djupanalys kan fånga upp viktiga mönster och egenskaper i trafiken vilket inte syns på aggregerade nivåer. Även i UTSPRIDD fäster vi stor vikt vid mindre störningar såsom i MIST. MIST gör en djupare analys av deras orsaker och var de uppstår,

medan UTSPRIDD fångar upp hur de påverkar punktligheten och hur de samverkar med större störningar.

1.4 Resultatspridning och kommunikation

Delresultat från projektet har presenterats vid KAJT höstseminarium i Stockholm i november 2018 och vid Transportforum i Linköping i januari 2019. Ett referensgruppsmöte för resultatspridning och diskussion hölls i mars 2019. I referensgruppen ingick representanter från flera delar av Trafikverket samt från Green Cargo, SJ och MTR Express. Resultaten presenterades i april 2019 även för TTTs styrgrupp och effektområdesansvariga.

Genom det nära samarbetet med Trafikverkets kontaktperson har olika former av idéer från projektet fångats upp och påverkat de analyser som gjorts inom Trafikverkets ordinarie verksamhet. Det gäller naturligtvis även i andra riktningen, att Trafikverkets arbete påverkat utvecklingen i projektet.

2 Befintliga mätetal: Merförsening, störningstid och punktlighet

I detta avsnitt beskrivs de huvudsakliga mätetal som används idag för att mäta järnvägssystemets prestationsförmåga i form av punktlighet och hur väl den planerade tidtabellen följs: merförsening, störningstid och punktlighet.

Försening är den "aktuella" (positiva) differensen mellan den planerade ankomsttiden enligt tidtabell till en driftplats eller mätpunkt och den verkliga ankomsttiden till samma driftplats eller mätpunkt. Förseningen kan alltså växa eller krympa under färden. Förseningen mäts vid ankomst till varje driftplats. Försening är resultatet av merförseningar och återhämtningar. (Om avvikelsen är mot tidtabellen är noll minuter eller om tåget ligger före sin tidtabell säger vi att förseningen är noll minuter.) **Merförsening** är en ökning av förseningen och mäts vid varje driftplats (alltså inte bara där trafikutbyte sker). En merförsening kan vara primär eller sekundär, där det senare motsvarar att ett tåg blir stört pga att ett annat tåg är försenat.

En *händelse* är något som orsakar att ett (eller flera) tåg får en försening. En *störning* är en förseningsökning för ett specifikt tåg, en händelse kan ge upphov till flera störningar på ett eller flera tåg. Alla störningar som är 3 minuter eller mer orsakskodas och kopplas då till den händelse som orsakade störningen. Störningar som är mindre än tre minuter orsakskodas normalt inte, och "faller bort" i statistiken⁶.

Störningstid är summan av alla (registrerade) merförseningar. Total störningstid beräknas för många olika underlag, t.ex. för ett enskilt tåg, för en viss händelse, för en kategori av händelser, för olika tågtyper, osv.

⁶ I projektet Mindre störningar i trafiken – MIST lägger man däremot stort fokus på störningar som är mindre än tre minuter, se t.ex. [5]. Man kan också notera att sekunder trunkeras bort, dvs tid avrundas neråt till närmaste hela minuttal.

Ett tåg är *punktligt* om tåg som har en försening på slutstationen på maximalt 5 minuter och 59 sekunder⁷. Notera att punktlighet är en ett "binärt" mått, dvs ett tåg är antingen punktligt eller så är det inte det, och för punktligheten gör det ingen skillnad om tåget är 6 minuter sent eller 48 minuter sent. Punktligheten mäts enbart på slutstationen (även om tågen har trafikutbyte på flera stationer). Notera även att totala störningstiden för ett tåg (summan av alla registrerade merförseningar) ofta är något helt annat än förseningen på slutstationen, eftersom tåget både kan återhämta tid och kan ha oregistrerade småförseningar (mindre än 3 minuter) längs vägen som inte räknas med i störningstiden.

Punktlighet är det viktigaste förseningsmåttet för Trafikverket – det som kvaliteten i trafiken i huvudsak utvärderas på. Punktlighet definieras som andel tåg som är punktliga, dvs har en slutförsening på under 6 minuter⁸. *Slutförsening* är förseningen på slutstationen.

Merförsening, störningstid och punktlighet är vedertagna mätetal och Trafikverket samlar mycket information om dessa och de är av stor nytta för analys och åtgärd. I [2] från TTT finns utförlig statistik för antal störningstimmar och registrerade merförseningsminuter för olika tågslag och trafikutvecklingen mellan år 2013-2017.

Emellertid har dessa mätetal vissa svagheter. En nytta med mätetal är att de ska kunna vägleda till vilka åtgärder som behöver göras och att man gärna ska kunna bedöma effekter av åtgärder redan innan de görs. Ett mål med denna rapport är att utveckla mätetal som kompletterar de befintliga mätetalen och eliminerar deras svagheter.

En svaghet med de använda måtten är dels att det ena måttet – punktlighet, som också är målet – främst kan påverkas indirekt. Punktligheten mäts ju på slutstationen, och på slutstationen är det "för sent" att göra något åt punktligheten, utan det beror ju på vad som skett under resan fram till slutstationen.

I Trafikverkets data och mått saknas en koppling mellan orsakande merförsening och den resulterande slutförseningen på slutstationen, så det finns inget direkt sätt att avgöra vilka merförseningar som återhämtats och vilka förseningar som kvarstår när tåget kommit till slutstation. Ett tydligare sätt att koppla merförseningar till de kvarstående förseningarna på slutstationen skulle kunna användas för att än mer tydligt identifiera de merförseningar och störningar som leder till opunktlighet. Då skulle man t.ex. kunna härleda händelseklasser eller geografiska platser som leder till mest störningar på slutstation.

Merförsening och störningstid ger ingen information om störningen har återhämtats eller inte - merförseningstiden blir densamma om en störning återhämtar sig snabbt eller om störningen "lever länge" och har lång återhämtningstid.

De använda mätetalen fångar heller inte upp glidande småförseningar, dvs merförseningar på mindre än 3 minuter som sakta växer och leder till opunktlighet.

⁷ I system som registrerar passagetider trunckeras sekunder bort, så endast hela minuter finns registrerat. Normalt säger man att ett tåg är punktligt om det är max 5 minuter för sent, vilket i praktiken betyder att det kan vara maximalt 5 minuter och 59 sekunder sent för att registreras som punktligt.

⁸ I den officiella statistiken räknas även tåg som ställt in med mindre än 24 timmars varsel som icke-punktliga. De inställda tågen är dock av en annan art än "vanliga" förseningar, och beaktas inte vidare i denna rapport.

Dessutom framgår det inte av dessa mått hur en störning sprider sig i järnvägsnätet eller hur länge den lever kvar i systemet. Det är viss skillnad på att mäta en störning och en störnings spridning. Mått på störningar är ofta "punktformiga" eller "endimensionella" medan mått på störningsspridning bör vara "flerdimensionella" och ta hänsyn till tidsmässig och/eller geografisk utsträckning. Som exempel mäts en störning ofta i antal störningstimmar som en händelse orsakade. Måttet säger då inget om hur länge denna störning "levde" eller hur långt bort tåg direkt eller indirekt påverkades av störningen, och framför allt säger det inte direkt något om resulterande förseningen vid slutstationen.

Punktlighetmåttet har även andra svagheter, som inte behandlas vidare i denna rapport, t.ex. att det saknar hänsyn till resenärernas punktlighet och att punktligt målen för olika trafiksystem bör vara olika. Likaså fungerar merförseningsmåttet inte för tåg som är *före* sin tidtabell men som ändå "tappar tid" – något som är vanligt för godståg. Därmed är tolkning av störningstid för godståg inte heller entydig.

3 Nya mätetal: Förseningsbidrag och kritiska händelser

Syfte med nya mätetal är att de ska kunna öka förståelse kring punktlighetsproblematiken och ligga till grund för relevanta åtgärder i systemet som ger största möjliga nytta. I detta kapitel beskrivs de nya föreslagna mätetalen och i fortsättningen av rapporten visas hur de kan användas.

Kort beskrivet är de nya mätetalen:

Förseningsbidrag: Varje händelses bidrag till ett tågs slutförsening.

Kritisk händelse: En händelse eller en störning som gör att tåget blir opunktligt.

Mätetal för **störningsspridning**, dvs hur stor geografisk spridning en händelse har och hur länge förseningar lever kvar från en störning/händelse, behandlas i kapitel 7.

3.1 Förseningsbidrag: Koppling mellan händelse och slutförsening

Ett tåg som är försenat på slutstationen har ofta drabbats av en eller flera händelser/störningar längs resan. Summan av merförseningar från störningar längs med resan är ofta inte alls lika med förseningen på slutstationen. Detta beror dels på att tåget återhämtar⁹ tid längs resan och dels på att småförseningar inte registreras. Därmed går det inte att direkt avgöra hur mycket varje händelse bidrar till slutförseningen.

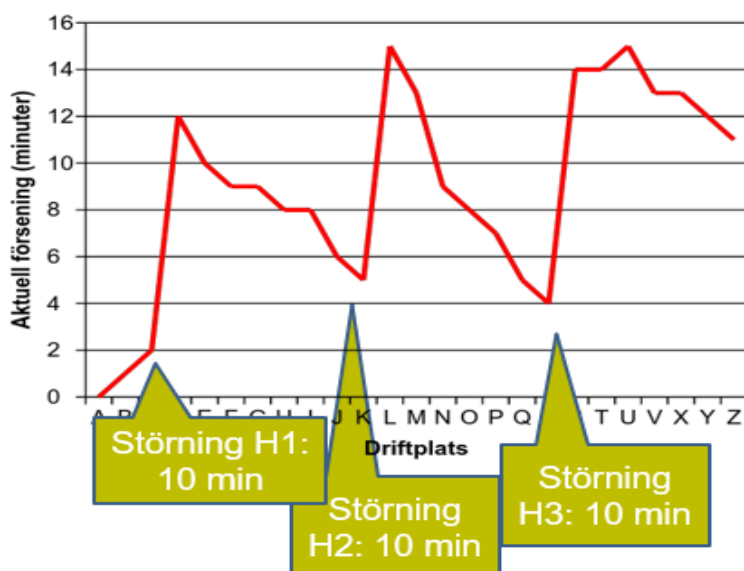
Förseningsbidrag varje händelses bidrag till ett tågs slutförsening. Glidande småförseningar (merförseningar på mindre än 3 minuter) kan också ge förseningsbidrag. Summan av förseningsbidrag från händelser och från småförseningar är lika med tågets slutförsening.

⁹ Återhämtning är en minskning av förseningen, dvs att tåget kör ikapp och minskar avvikelserna mot tidtabellen.

För att beräkna förseningsbidraget måste man definiera hur störningar lever vidare efter de har inträffat, dvs hur störningen sprider sig längs ett tågs resa. För varje punkt på resan kan man beräkna aktuellt förseningsbidrag från respektive störning, alltså hur den aktuella förseningen kan delas upp i bidrag från olika störningar och småförsening.

Bidraget från en störning varierar längs resan. En *störning dör* då aktuellt förseningsbidrag från störningen är återhämtad och förseningsbidraget från störningen är noll.

Antag att ett tåg åker från driftplats A till Z och att den drabbas av tre störningar (H1, H2, H3) och en inledande glidande småförsening, se Figur 2. Tåget får en inledande småförsening på 2 minuter fram till driftplats C. Vid driftplats C inträffar störningen H1, med en merförseningen på 10 minuter. Därefter återhämtar tåget tid till driftplats K där ytterligare en störning H2 inträffar, och sedan inträffar ytterligare en händelse vid driftplats S med merförsening 10 minuter. Slutförseningen är 11 minuter.



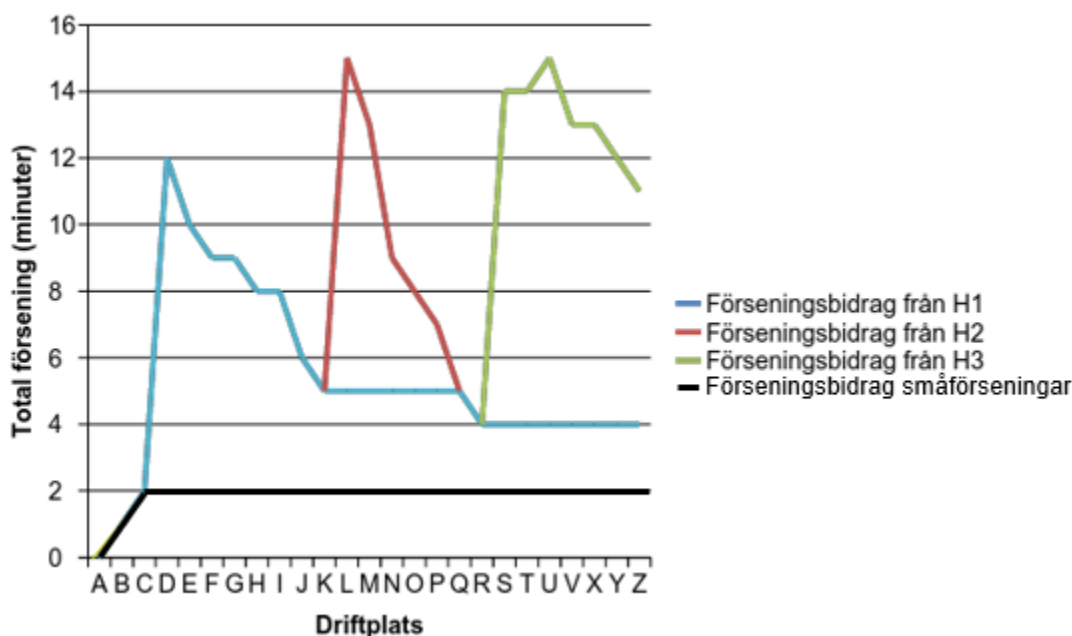
Figur 2: Exempel på tågs resa från A till Z då tre störningar inträffar, varje störning har merförseningen 10 minuter.

För att beräkna förseningsbidrag definieras följande grundantaganden för hur en störning lever vidare efter den har inträffat (se även Figur 3):

- 1) Om ett tåg som redan har en försening (från störning H1) råkar ut för ytterligare en merförsening H2, så lever störningen från H1 kvar på den nivå den har då störning H2 inträffar.
- 2) Då tåg återhämtar en störning, tillskrivs återhämtning till den senast inträffade störningen som ännu inte är fullt återhämtad.
- 3) En störning "dör" då förseningen åter är på samma nivå som när störningen inträffade. (Störningar dör också på slutstationen.)

I Figur 3 illustreras beräkning av förseningsbidrag och hur den totala förseningen fördelas på de olika händelserna. Då händelse H1 inträffar har tågen en småförsening som vuxit till 2 minuter. Då händelse H2 inträffar är tåget 5 minuter sent, och efter händelse H2 inträffat så ligger händelse H1:s bidrag till totala förseningen kvar på 3 minuter och småförseningens bidrag ligger kvar på 2 minuter.

Återhämtning som görs efter händelse H2 har inträffat associeras till händelse H2 så att H2:s förseningsbidrag minskar. Då H2 är helt återhämtad, associeras ytterligare återhämtning till H1 (vid driftplats Q). Vid driftplats S inträffar H3, och försening/återhämtning därefter associeras till H3, så att H3:s förseningsbidrag minskar medan H1:s förseningsbidrag ligger kvar på 3 minuter.



Figur 3: Fördelning av försening och återhämtning till olika händelser för resan i Figur 2. Återhämtning och oregistrerad merförsening kopplas alltid till den senaste levande händelsen/störningen.

Tabell 1: Förseningsbidrag från olika händelser i exempel från Figur 3.

Slutförsening	11 minuter
Förseningsbidrag H1	2 minuter
Förseningsbidrag H2	0 minuter (händelse har "dött")
Förseningsbidrag H3	7 minuter
Förseningsbidrag Småförseningar	2 minuter

I exemplet har tåget en slutförsening på 11 minuter, vilket vi kan fördela på 2 minuter som beror på händelse H1 och 7 minuter som beror på händelse H3, samt 2 minuter som beror på småförseningar. Händelse H2 bidrar inte alls till slutförseningen. Förseningsbidragen sammanfattas i Tabell 1 .

Återhämtning tillskrivs alltså den senaste levande händelsen så att dess förseningsbidrag minskar. Man kan naturligtvis tillskriva återhämtning till händelser på annat sätt, t.ex. lika mellan de levande händelserna - det viktiga är att vi skapar värdefull information att göra koppling mellan händelse och återhämtning på något (rimligt) sätt, för att kunna koppla störningar till slutförsening genom förseningsbidraget. Att återhämtning tillskrivs den senaste händelsen motiveras genom att vi vet att

vi fått återhämtning efter att den senaste händelsen inträffat, men vi vet inte om vi skulle fått någon återhämtning om den senaste händelsen *inte* hade inträffat: Därför är det logiskt att luta sig mot de fakta vi har och tillskriva återhämtningen till senaste händelsen. Med denna tolkning kommer den första störningen för ett tåg att vara svårast att återhämta och sprider sig alltså mer än senare störningar under tågets resa. Likväl visar resultat (kapitel 4.3) att den sista händelsen under ett tågs resa har mest påverkan på punktligheten så om vi skulle tillskriva återhämtning på ett annat sätt skulle den sista händelsen bli ännu betydelsefullare.

Notera att mindre ökning av förseningen tillskrivs den senaste (levande) händelsen. Det registreras som småförsening endast om det inte finns någon annan händelse som är levande. Anledningen till det är att det ska vara konsistent med tolkningen av återhämtning, dvs mindre återhämtning tillskrivs den senast levande händelsen, därför tillskrivs även mindre merförsening till den senaste levande händelsen.

Det är naturligtvis alltid viktigt att orsakskodningen är korrekt och konsistent så att man får rätt koppling till grundhändelser. Om ett tåg får en första störning H1 och då kommer ur sin kanal, och sedan får en ytterligare merförsening (t.ex. tågmöte) som tydligt beror på att tåget kommit ur sin kanal, bör även den senare merförseningen kopplas till H1.

I Tabell 2 visas ett exempel baserat på verkliga data ur Lupp, nämligen för tåg 500 26 april 2017 med en slutförsening på 8 minuter. Tåget drabbades av fyra störningar med merförseningarna 4, 3, 3, respektive 6 minuter. Total störningstid är 16 minuter. Beräkning av förseningsbidrag (visas av utrymmesskal ej här) ger att de är 1, 0, 0, respektive 7 minuter för de olika störningarna, vilket summerar till tågets slutförsening på 8 minuter.

Tåguppdrag	Datum	HändelseNr	förseningsbidrag	merförsening	Plats	Nivå1	Nivå2
500	26 April 2017	2157157	1.00	4.00	Björnkulla	Infrastruktur	Banöverbyggnad
500	26 April 2017	2189924	0.00	3.00	Vislanda	Infrastruktur	Banarbete/transport
500	26 April 2017	2198571	0.00	3.00	Hässleholm	Följdsaker	Stört av annat tåg
500	26 April 2017	2198618	7.00	6.00	Flen	Infrastruktur	Signalanläggningar
500	26 April 2017	småförsening	0.00	0.00			
Total			8.00	16.00			

Tabell 2: Exempel på merförsening och förseningsbidrag baserat på data från Lupp.

3.2 Kritisk Händelse

En **kritisk händelse** är en störning som gör att ett tåg blir opunktligt i den meningen att om händelsen inte hade inträffat så skulle tåget vara punktligt. Genom förseningsbidraget kan vi beräkna hur mycket varje händelse bidrar till slutförseningen och vi kan därmed räkna ut hur slutförseningen – och därmed punktligheten – blivit om händelsen inte inträffat. En kritisk händelse är alltså en händelse som får tåget ”att trilla över punktlighetskanten”.

Händelse H3 i Tabell 1 är **kritisk händelse**, dvs om inte H3 hänt hade tåget varit punktligt eftersom slutförsening hade reducerats med 7 minuter och blivit 4 minuter om inte H3 inträffat. På samma sätt är händelsen i Flen i Tabell 2 en kritisk händelse eftersom förseningsbidragen från den händelsen är 7 minuter och tågets slutförsening är 8 minuter.

En analys av förseningsbidrag och kritiska händelser ger att tåg som har 11 minuters slutförseining eller mer kan ha maximalt 1 kritisk händelse. Tåg som är 8-10 minuter sena kan ha maximalt 2 kritiska händelser, tåg som är 7 minuter sena kan har 3 kritiska händelser och tåg som har slutförseining på 6 minuter kan ha upp till 6 kritiska händelser.

Definitionen av kritisk händelse är något spekulativ, eftersom vi inte vet vad som skulle ha hänt om en viss sak *inte* inträffat. Likväl provar vi i denna rapport ansatsen att vi kan beräkna kritiska händelser, och som senare avsnitt visar kan man från kritiska händelser dra ganska kraftfulla resultat och slutsatser. Detta motiverar att man fördjupar studierna baserat på förseningsbidrag och kritiska händelser. Även om det finns svagheter i kopplingen mellan störningar och slutförseiningar genom att använda förseningsbidrag och kritiska händelser, så tillför dessa begrepp värdefull information som kompletterar den information man får genom merförseiningar och störningstid.

4 Fallstudie

I detta avsnitt redovisas användning och resultat av de mätetal som beskrevs i kapitel 3. Kapitlet är baserat på en fallstudie. Som underlag för fallstudien valdes snabbtåg på södra stambanan. Det visade sig vara viktigt att skilja på de olika riktningarna. Resultat visas primärt för de norrgående snabbtågen på sträckan Malmö-Stockholm.

En slutsats i fallstudien är att det ibland är viktigt att inte grunda undersökningar på för stora dataunderlag med skiftande karaktär, t.ex. för flera olika sträckor samtidigt. Då finns risk att man missar viktiga detaljer och får ett för övergripande resultat. Detta beror naturligtvis på vad syfte med undersökningen är.

Snabbtåg på södra stambanan är ett av de mer problematiska gällande punktligheten, vilket är orsaken till att just denna särstuderades. Metoderna har också provats för snabbtåg på västra stambanan. Syftet har där varit att bekräfta metodernas allmängiltighet, snarare än att göra samma noggranna analys av situationen där.

I studien läggs särskilt fokus på tåg som har slutförseining 6-10 minuter ("610-tåg"). Detta för att syfte med arbete är att förstå hur man ska kunna höja punktligheten, och dels är det många tåg som är "nästan punktliga", samtidigt som det borde vara enklare att förbättra många tåg med små förseiningar än lika många tåg med stora förseiningar.

4.1 Data och punktlighet

Huvudanalyser har gjorts för snabbtåg på Södra Stambanan (SSB) 2017, Stockholm-Malmö och Malmö-Stockholm. Data har hämtats från Trafikverkets uppföljningssystem Lupp. Trafikverket har assisterat vid uttag av data. År 2017 valdes då de ansågs vara ett normalår med tillräckligt färska data. Endast tåg med tresiffriga tågnummer har inkluderats, då snabbtåg på Södra Stambanan med fyra eller fem-siffriga tågnummer har bedömts vara specialfall, t.ex. avvikande rutt.

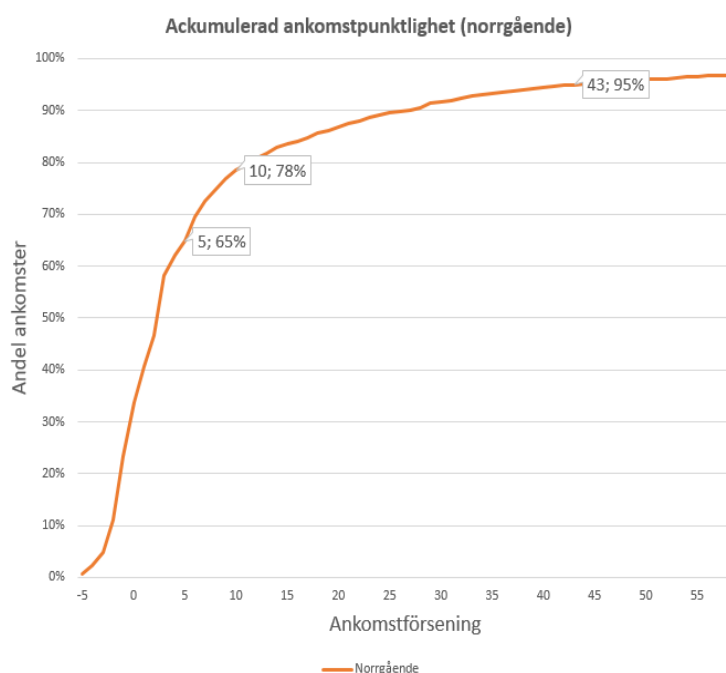
Kvalitet på data påverkar naturligtvis resultaten. Det är känt att det finns vissa brister i Lupps data, t.ex. att det kan finnas felaktig orsakskodning. Ibland kan även händelseplatser var felaktiga, speciellt om det är ett banarbete som flyttas dag för dag. Vi har sett enstaka exempel med uppenbart

felaktiga registreringar, eller orsaksregistrering som är svåra att förstå. Likväl är användningen av Lupp som dataunderlag vedertaget och väl spridd, och vi ser därmed ingen anledning att bedöma att det inte skulle vara av tillräcklig kvalitet för våra syften.

I Tabell 3 och Figur 4 illustreras punktligheten och slutförseningarna för tågen. "RT+5" betyder "rätttidigt plus 5 minuter", alltså tåg som ankommer mindre än sex minuter för sent, och motsvarande "RT+10" är tåg som ankommer 10 minuter för sent eller tidigare¹⁰. Punktligheten för norrgående snabbtåg är 65%. 13% av tågen kommer 6-10 minuter för sent. 95%-percentilen ligger vid 43 minuters försening¹¹.

Tabell 3: Punktlighetsdata för snabbtåg på södra stambanan.

SSB2017	Andel tåg RT+5	Andel tåg i RT+6 till RT+10	95% har mindre försening än
Norrgående	65%	13,7%	43 minuter
Södergående	67%	7,5%	46 minuter



Figur 4, Andel ankomster för olika ankomstförsening för norrgående snabbtåg mellan Malmö-Stockholm.

¹⁰ Eftersom sekunder trunkeras betyder det att tåg som kommer 10 minuter och 59 sekunder sent också till hör RT+10.

¹¹ I [2] kommenteras att en hypotes kring den låga punktligheten på södra stambanan är att det planerade nyttjandet av banan överstiger infrastrukturens och tågens förmåga för att kunna leverera 95 procents punktlighet.

4.2 Karaktäristik av kritiska händelser

I detta avsnitt visas övergripande information händelsen, kritiska händelser, merförseining och förseiningssbidrag. I nästa avsnitt visas på slutsatser man kan dra genom dess användning.

Avsnittet är rikt på detaljer, men en sammanfattning av det viktigaste är:

- 70% av opunktliga tåg har minst en kritisk händelse (exklusive småförseiningar).
- 21% av alla störningar är kritiska händelser (exklusive småförseiningar).
- De flesta kritiska händelser är små; 50% har en registrerad merförseining på 3-8 minuter
- Det är av speciellt intresse att studera tåg som är "lite" förseinate (6-10 minuter) eftersom de borde vara lättare att få punktliga än tåg som är "mycket" förseinate.

För tåg med 6-10 minuters förseining på slutstationen gäller:

- 94% av tågen har minst en kritisk händelse (exklusive småförseiningar)
- 55% av alla störningar är kritiska (exklusive småförseiningar)
- 25% av kritiska händelser är "glidande småförseiningar", dvs mindre förseiningar utan registrering.

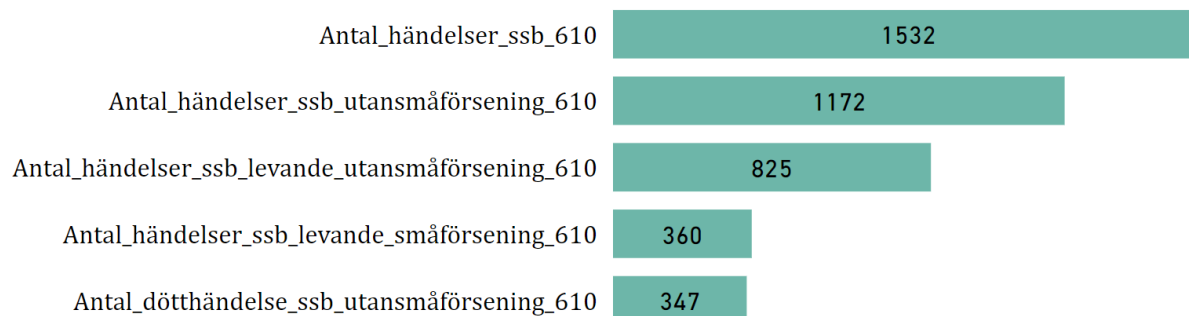
Tabell 4 visar övergripande samband mellan merförseining, återhämtning och förseiningssbidrag. 27% av den totala störningstiden återhämtades innan ankomst till slutstation (norrgående tåg). Småförseiningarna (dvs icke-registrerade störningar) har också ett väsentligt bidrag till totala förseiningssbidraget.

Tabell 4: Översikt merförseiningar (störningstid), förseiningssbidrag och återhämtning.

Alla SSB tåg	Norrgående	södergående
Total merförseiningar, alla registrerade händelser	59881	58479
Total förseiningssbidrag alla händelser	43454	46983
Total återhämtning, registrerade händelser	27%	20%
Total förseiningssbidrag för småförseiningar	3827	4496

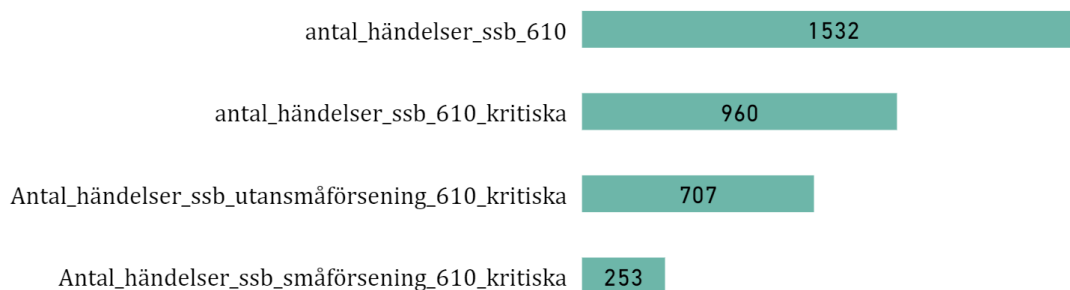
I Figur 5 visas hur störningar "dör", med fokus på tåg som är 6-10 minuter sena vid slutstation. Totalt finns 1532 händelser registrerade, inklusive småförseiningar som har förseiningssbidrag större än noll. Av dessa är 1172 registrerade händelser, medan 360 är småförseiningar. 347 av de registrerade händelserna har dött vid ankomst till slutstationen, medan 825 ger ett förseiningssbidrag. Slutsatsen

av detta är att, för tåg som är "nästan punktliga" så är det både så att många av störningarna som registrerats på tåget dött, samtidigt som småförseningar ofta ger ett bidrag till slutförseningen.



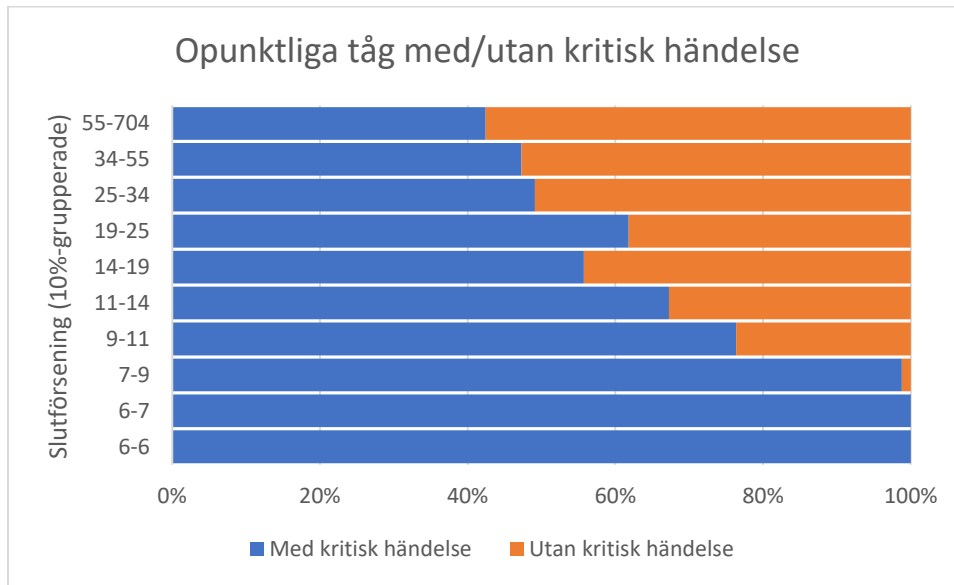
Figur 5: Andel levande och döda händelser för norrgående snabbtåg med 6-10 minuter slutförsening.

I Figur 6 analyseras kritiska händelser för tåg med 6-10 minuters försening. Av de 1532 registrerade händelserna (inklusive småförseningar som har förseningsbidrag större än noll) är 960 kritiska händelser. Av dessa kritiska händelser är 707 registrerade störningar samtidigt som 253 motsvarar småförseningar. Detta indikerar dels att kritiska händelser sållar ut vissa (alla händelser är inte kritiska, vilket skulle göra begreppet meningslöst) samtidigt som småförseningar ofta ger upphov till kritisk händelse och därmed orsakar opunktlighet.



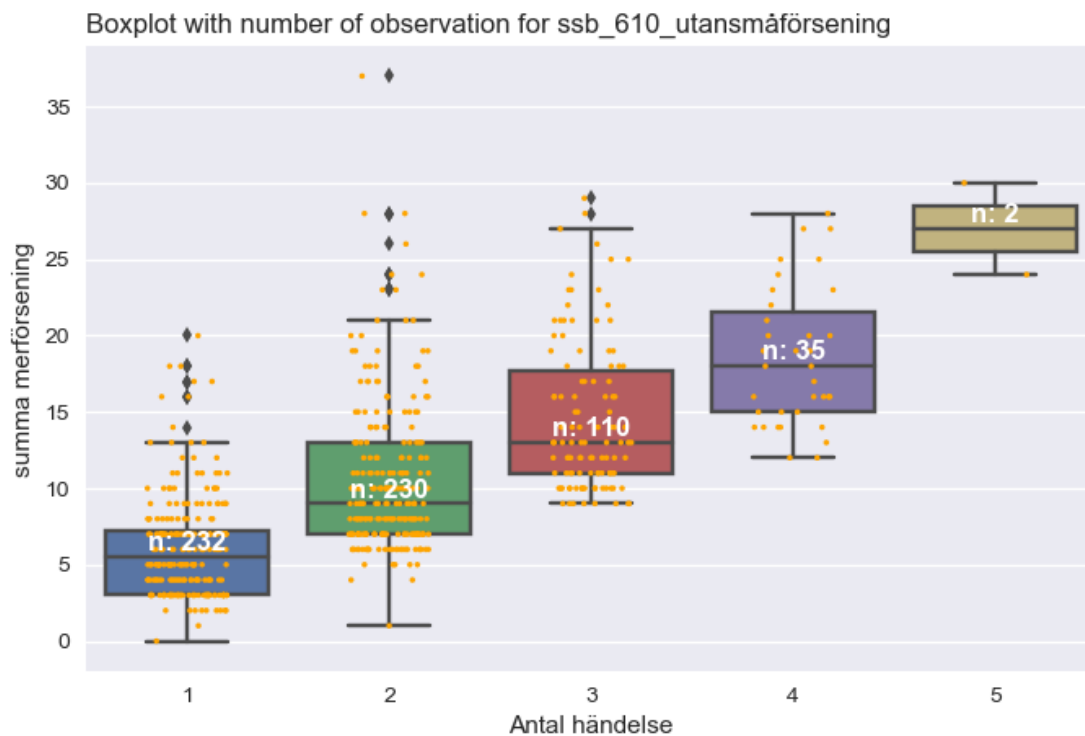
Figur 6: Kritiska händelser fördelat på registrerade störningar och småförseningar för snabbtåg med 6-10 minuters försening.

Figur 7 illustrerar hur många av de icke-punktliga tågen som har en kritisk händelse, sorterat och uppdelat på storleken på slutförseningen. Varje horisontellt band motsvarar 10% av tågen, blå del är tåg med kritisk händelse, orange är utan kritisk händelse. Figuren visar alltså att bland de 30% av tågen med minst slutförsening (3 nedersta banden med slutförsening 6 till 9 minuter) så hade nästa alla tåg minst en kritisk händelse. 70% av alla opunktliga tåg har (minst) en kritisk händelse och i gruppen med 6-10 minuters slutförsening har 94% (minst) en kritisk händelse. I detta diagram räknas även småförsening som kritisk händelse.

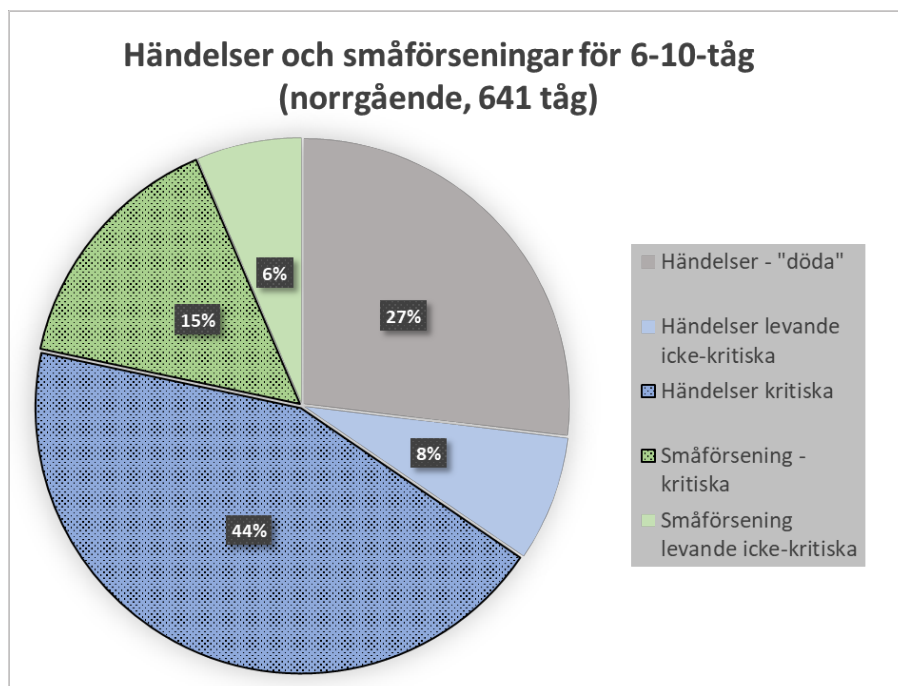


Figur 7: Andel av de opunktliga tågen som har/inte har kritisk händelse.

Figur 8 illustrerar dels antal störningar som registrerats på tåg med 6-10 minuters slutförsening (exkluderat småförseningar), och dels spridningen i slutförsening för respektive grupp, där en grupp är de tåg som har samma antal störningar. Exempelvis har 232 tåg fått 1 registrerad störning och de gula prickarna illustrerar merförseningen för dessa tåg och boxploten visar median (streck i mitten av box) 25-percentil (undre gräns på box) och 75-percentil (övre gräns på box) respektive 3- och 97-percentil (undre och övre tvärstreck). 32 tåg har ingen registrerad störning (saknas i figuren). Viktigaste slutsatsen i figuren är att en majoritet av tågen (77%) har 0-2 registrerade händelse. Det finns även ett visst samband att fler händelser ger större slutförsening, men spridningen är stor då det sambandet är svagt.



Figur 8: Spridning av merförseningar för olika antal händelser (exkluderat småförseningar) för tåg med 6-10 minuters slutförsening.



Figur 9, fördelning av olika händelser

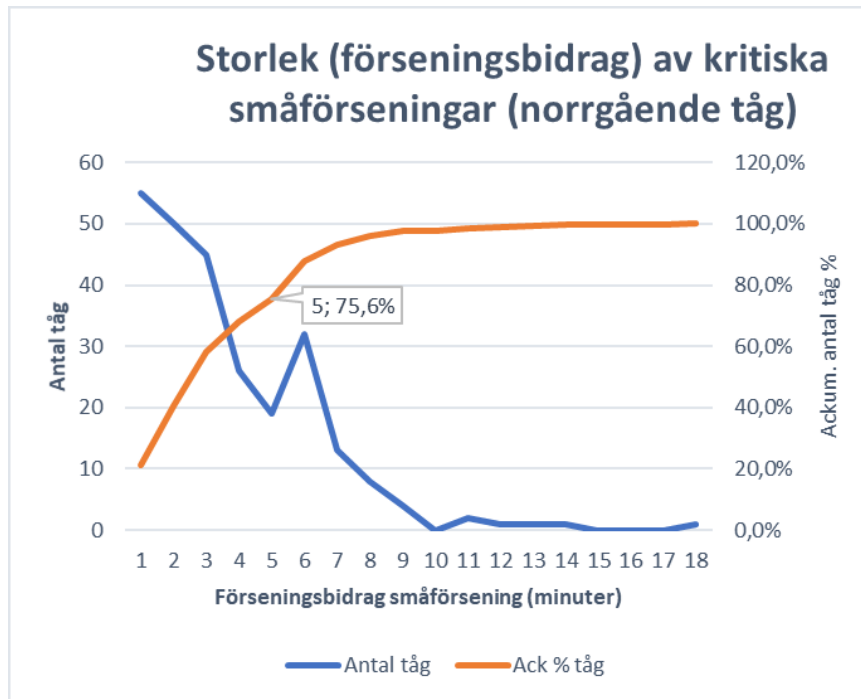
I Figur 9 visas en fördelning av olika antal händelser och småförseningar (för 6-10-tågen). Hela cirkeln motsvarar alla registrerade händelser samt småförseningar med förseningsbidrag större än noll. 27% av dessa motsvarar störningar som dör och som ger förseningsbidrag noll. 44% motsvarar registrerade händelser som är kritiska händelser medan 8% är icke-kritiska. 15% är kritiska småförseningar, medan 6% är småförseningar som är icke-kritiska. Slutsats av detta är dels att ungefär hälften av händelserna kan klassas som kritiska, samtidigt som en fjärdedel av de kritiska händelserna motsvarar småförseningar. Dess antyder att även småförseningar är viktiga att följa upp ur ett punktlighetsperspektiv.

Figur 10 illustrerar storleken (merförseningen) av kritiska händelser (för alla tåg, inte bara 6-10-tågen). Detta antyder följande viktiga slutsatser: De flesta händelser som får tåg att bli opunktliga är relativt små. De stora händelserna står för en väldigt liten andel av opunktligheten (åtminstone mätt genom kritiska händelser). Stora förbättringar i punktlighet kan uppnås om man kan bekämpa mindre merförseningar. Att bekämpa stora merförseningar kan ha stor effekt på total störningstid, men det är inte alls säkert att det ger stor effekt på punktligheten. Det finns alltså en klar risk att för ensidigt fokus på att minska störningstiden kan leda till ineffektiva åtgärder om det är punktligheten man önskar förbättra.



Figur 10: Storlek (merförsening) av händelser som klassas som kritiska. Blå kurva illustrerar antal händelser av respektive storlek (0 till 50 minuter). Orange kurva illustrerar ackumulerad andel av händelser, t.ex. att 37,6 procent av kritiska händelser har merförseningar som är 5 minuter eller mindre och att 51,6% av kritiska händelser har merförsening som är 8 minuter eller mindre.

Figur 11 illustrerar storleken på (oregistrerade) småförseningar som klassas som kritiska (för alla tåg, inte enbart 6-10-tågen). Totala förseningsbidraget för dessa varierar mellan 1 till 18 minuter, men 75% av dem är 5 minuter eller mindre. Detta visar (åter) att det är relativt små förseningar som ger upphov till stor andel av opunktligheten.



Figur 11: Storlek (förseningsbidrag) av kritiska småförseningar. Blå kurva visar antal av respektive storlek, orange kurva visar ackumulerat antal. 75% av kritiska småförseningar är 5 minuter eller mindre.

4.3 Användning av förseningsbidrag och kritiska händelser

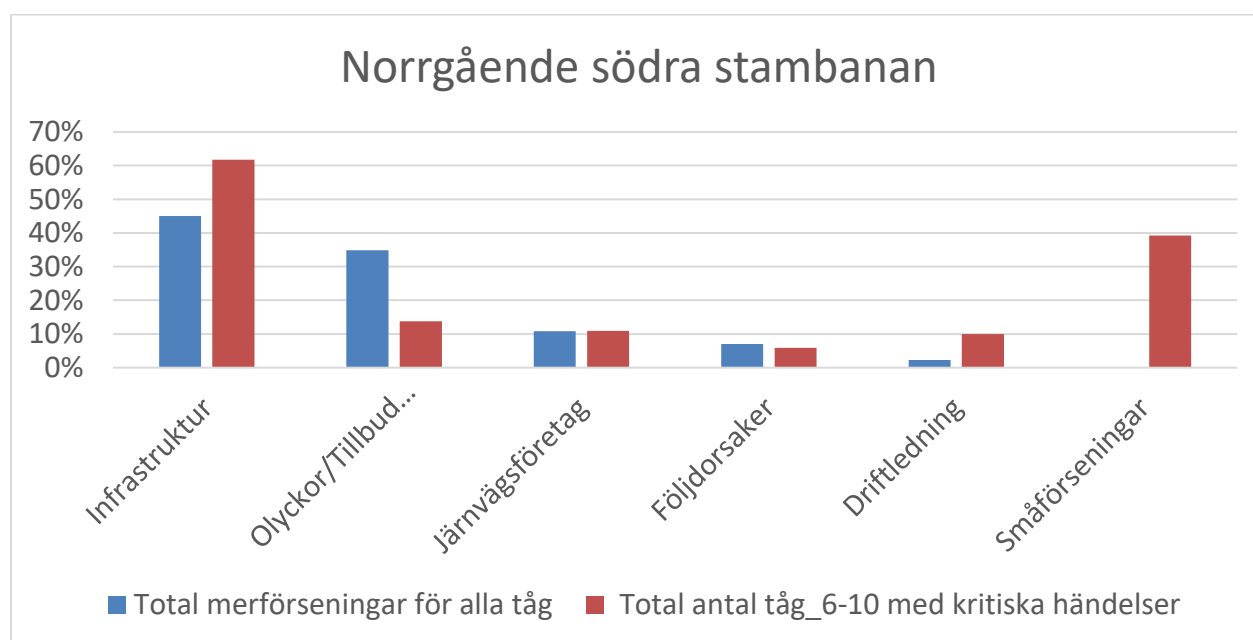
I detta avsnitt visar vi hur förseningsbidrag och kritiska händelser kan användas som analysverktyg och vilka slutsatser man kan dra genom användning av dem. Eftersom dataunderlaget är begränsat (snabbtåg på södra stambanan 2017) så är det svårt att dra generella slutsatser, men vi kan visa på vilken typ av slutsatser som kan göras. Huvudsyftet är att visa att denna typ av analyser kan komplettera de traditionella analyserna, baserade på merförseningar och störningstid, för att ge en tydligare bild av orsaker till opunktlighet. Tanken är att om man kan dra andra slutsatser genom analyser av förseningsbidrag/kritiska händelser än de slutsatser man drar av merförseningar/störningstid, då finns det anledning att göra denna form av studier.

Slutsats och sammanfattning:

- Studier av kritiska händelser gör en viss omfördelning av vilka orsaker som ger mest opunktlighet. Infrastruktur är ännu viktigare än vid merförseningsanalyser, olyckor mindre viktiga.
- Glidande småförseningar ger upphov till stor del av opunktligheten (vilket ju inte alla syns i merförseningsanalyser eftersom dessa ju inte ens finns med där).
- Kritiska händelser identifierar andra platser som mest orsakande till opunktlighet än merförseningsanalyser.
- **Studier av kritiska händelser kan på ett värdefullt sätt komplettera studier baserade på merförseningar och ge annan information som kan användas för att förbättra punktligheten.**

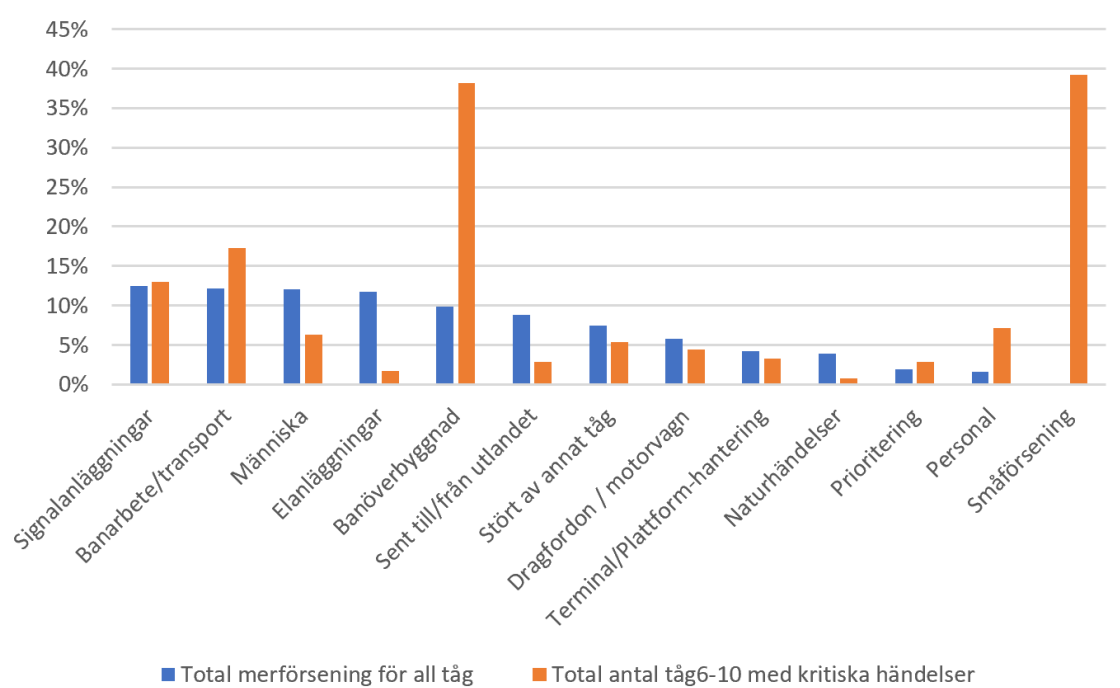
När en händelse registreras ges den (normalt) en orsakskod som klassas i två eller tre olika nivåer, en högre nivå motsvarar en specifikation av en lägre nivå. I Figur 12 jämförs orsakskodning på nivå 1 baserat på merförseining respektive kritiska händelser för tåg med 6-10 minuters slutförseining ("610-tåg"). Blå staplar är andel (procent) av total störningstid som beror på olika orsaker, detta är den "traditionella" analysen. De röda staplarna motsvarar andel av 610-tågen som har kritisk händelse kopplad till de olika orsakerna på nivå 1. (Notera att de röda staplarna summerar till mer än 100-procent eftersom ett tåg kan ha flera kritiska händelser.) Främsta skillnaderna mellan analys baserat på merförseining kontra kritiska händelser (enligt Figur 12) är:

- Småförseiningar är orsak till 39% av opunktliga tåg (vilket per definition inte alls syns i merförseininganalysen).
- Infrastrukturproblem är orsak till 62% av opunktighet, men står för 45% av merförseiningsvolymen, infrastrukturen är alltså ännu viktigare än vad merförseininganalysen visar.
- Olyckor/tillbud står för 35% av merförseiningsvolymen, men endast för 14% av de opunktliga tågen.



Figur 12: Jämförelse mellan händelseorsaker på nivå 1 på "traditionellt" och nytt, alternativt, analysätt: Traditionellt är totalt registrerade merförseiningminuter för alla tåg (blå staplar) och alternativt sätt är antal tåg med 6-10 minuters slutförseining med kritiska händelsers nivå-1-klassificering.

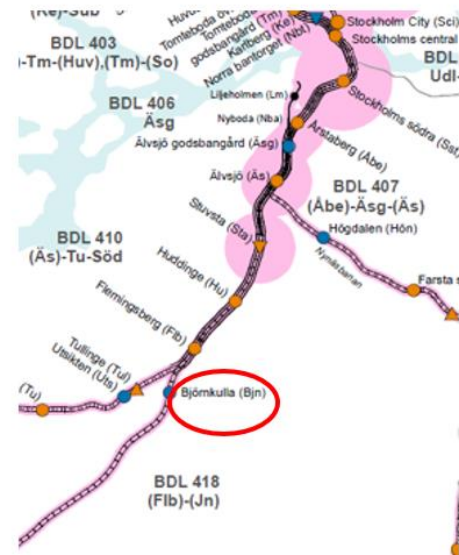
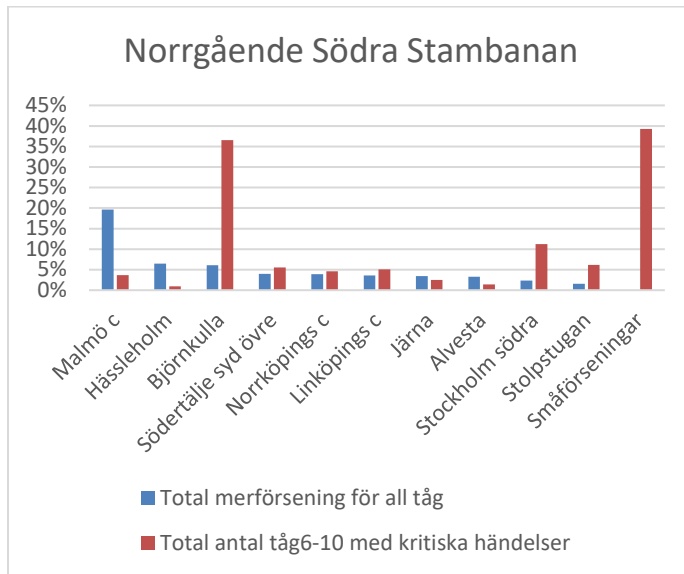
I Figur 13 görs en liknande jämförelse som i Figur 12, men för orsaker på nivå 2. Blå staplar motsvarar procent av total merförseining och orange staplar motsvarar andel av tågen med kritiska händelser av viss nivå-2-kodning. Den tydligaste skillnaden mellan de två sätten att analysera är för nivå-2-koden banöverbyggnad, som sticker ut betydligt mer för kritiska händelser/opunktighet än för merförseininganalysen.



Figur 13: Händelseorsak på nivå 2 baserat på traditionellt mått, total registrerade merförseningsminuter för alla tåg (blå staplar) och alternativt sätt, antal tåg med kritiska händelser som är 6-10 minuter försenad i slutstationen (orange staplar).

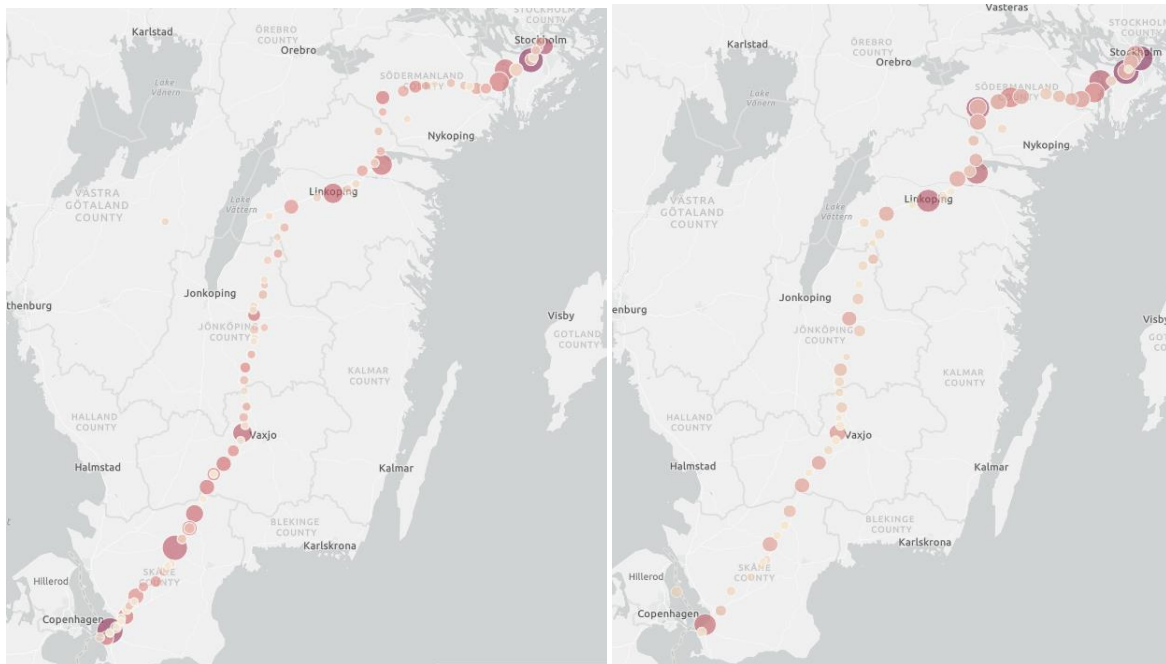
I Figur 14 illustreras vilka platser som ger bidrag till merförseningar respektive opunktlighet. För norrgående snabbtåg på södra stambanan är platserna sorterade enligt "traditionell" analys, dvs total merförseningstid på de olika platserna (blå staplar). De röda staplarna motsvarar antal tåg som haft kritiska händelse på de olika platserna, dvs tåg som blivit opunktliga på grund av händelse registrerad på platsen. Resultatet är mycket intressant då det visar på stora skillnader i slutsatser. Om man betraktar merförseningar/störningstid är Malmö viktigast, men om man betraktar kritiska händelser/opunktighet så är Björnkulla mycket viktigare: hela 36% av 610-tågen har kritisk händelse i Björnkulla, samtidigt som totala merförseningen i Björnkulla inte alls sticker ut (jämfört med Malmö). Djupare analys visar att detta beror på en hastighetsnedsättning (registrerad som "banöverbyggnad") i Björnkulla som gav en liten merförsening (3-4 minuter) på väldigt många tåg. Många tåg blev opunktliga pga av denna lilla merförsening i Björnkulla, men då man ser på totala merförseningstiden så ser man inte att Björnkulla är särskilt intressant! Björnkulla är även en geografiskt intressant plats i och med att det är sista driftplatsen innan norrgående snabbtåg samordnas med pendeltågen (se kartbilden i Figur 14).

Dessutom ser man (liksom tidigare) att 39% av tågen har kritisk händelse utan platskoppling, vilket motsvarar tåg som blivit opunktliga pga småförseningar (som ju är oregistrerade).



Figur 14: Viktiga händelseplatser baserat på traditionellt mått, total registrerad merförseningstid för alla tåg (blå staplar) och alternativa sättet, antal tåg med kritiska händelser och är 6-10 minuter försenad i slutstationen (röda staplar). Det alternativa sättet pekar ut andra platser som viktiga än det traditionella.

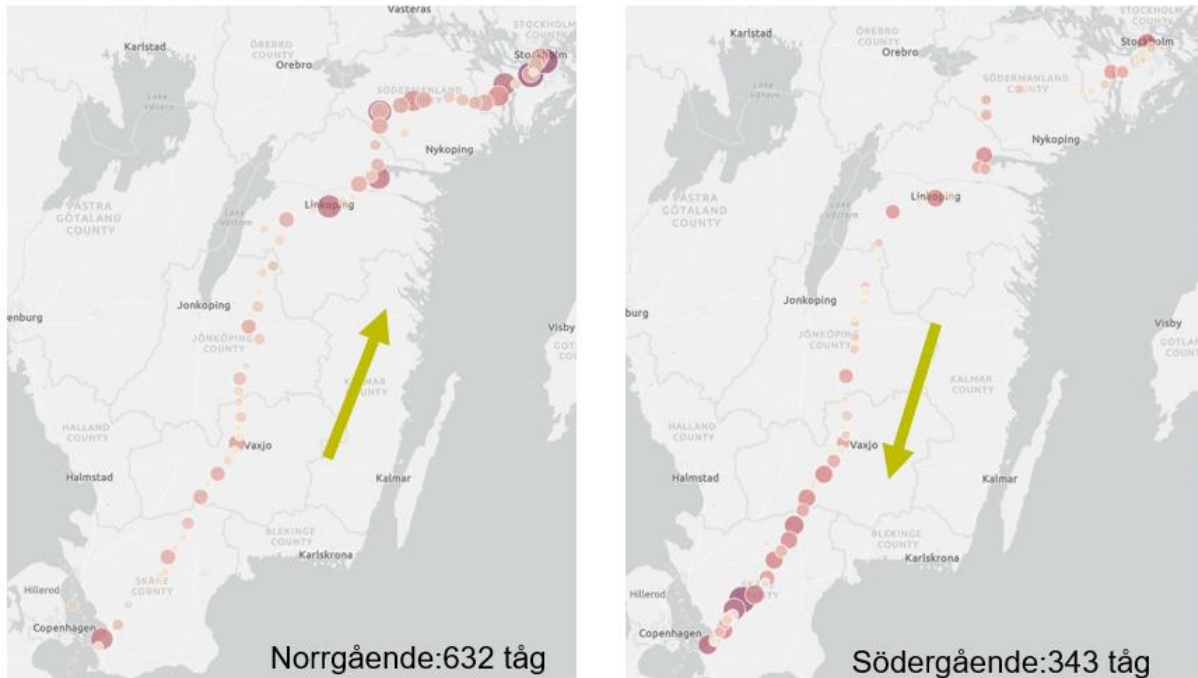
Ju senare på en resa en störning inträffar, desto kortare tid har tåget på sig att återhämta störningen innan tåget ankommer slutstationen. Därför kan man förvänta sig att kritiska händelser finns ansamlade mot slutet av resan eftersom en mindre störning tidigt i en resa har större chans att återhämtas än en mindre störning i slutet av resan. Figur 15 illustrerar dels var störningar i allmänhet sker, dvs var merförseningstid finns registrerad (vänstra kartan), samt platser för kritiska händelser (högra kartan) (norrgående snabbtåg). Storlek på ring motsvarar totala tiden (merförsening respektive förseningsbidrag) och färg motsvarar antal registreringar (ju mörkare färg desto fler registreringar). Jämförelse visar att merförseningarna finns utspridda över hela sträckan Malmö-Stockholm medan kritiska händelser finns ansamlade mot slutet sträckan.



Figur 15: Karta över total merföröeningar (vänstra kartan) respektive kritiska händelser (högra kartan) för norrgående snabbtåg.

Att det är mer kritiska händelser i slutet av resorna visas även i Figur 16. I figuren illustreras kritiska händelsernas platser för norrgående respektive södergående snabbtåg med 6-10 minuters slutföröening. En djupare analys (ej illustrerad) visar att för 85% av 6-10-tågen är sista händelsen en kritisk händelse, vilket visar det är viktigast att undvika händelser sent i resan eftersom de riskerar att bli kritiska. Motsvarande siffra för alla tåg (inte bara 610-tågen) är att 75% av sista händelserna är kritisk¹². Detta skulle eventuellt kunna användas som en prioriteringsregel i drift, att tåg nära slutstationen bör prioriteras högre, eftersom dess chans till återhämtning är mindre.

¹² Enligt definitionen av föröeningsbidrag i Kapitel 3 tillskrivs återhämtning till den senaste levande händelsen. Denna återhämtning kan fördelas till händelser på annat sätt, men det skulle ytterligare stärka betydelsen av den sista händelsen så den blir "ännu mer kritisk" eftersom den då skulle tillskrivas mindre återhämtning. Detta stärker att det inte är så viktigt hur denna återhämtning behandlas då det gäller resultaten gällande kritiska händelser.



Figur 16: Platser för kritiska händelser för norrgående respektive södergående snabbtåg (men 6-10 minuters slutförsening). Storlek motsvarar totalt förseningsbidrag antal minuter, färg motsvarar antal tåg (mörkare= fler tåg).

En händelse kan orsaka störning på många tåg. Eftersom en *kritisk händelse* faktisk är definierat på tågnivå betyder det att en händelse faktiskt kan ge upphov till flera kritiska händelser på flera olika tåg.¹³ I Tabell 5 illustreras hur många kritiska händelser som de största störningarna (m.a.p. merförsening) ger upphov till. Vi kan på samma sätt sortera händelser efter antal störda tåg, medelförsening, merförsening eller antal kritiska händelser/störningar som händelserna resulterar i. Man kan då plocka ut de 25 högst prioriterade om vi använder dessa fyra olika sorteringar, dvs att prioritera efter total merförsening, medel merförsening, antal störda tåg respektive antal kritiska händelser.

I Tabell 6 beskrivs resultat om man selekterar de 25 första med dessa fyra olika prioriteringar. Man kan säga att detta motsvarar antalet tåg som skulle bli punktliga om man kunnat undvika dessa händelser. En slutsats av detta är att man får mer effekt på punktligheten om man prioriterar åtgärder som förbättrar för många tåg (även om förbättringen för varje tåg är liten) än om man vidtar åtgärder som gör större förbättringar med för färre tåg.

¹³ *Kritisk händelse* kanske borde byta namn till *kritisk störning* för ökad tydlighet.

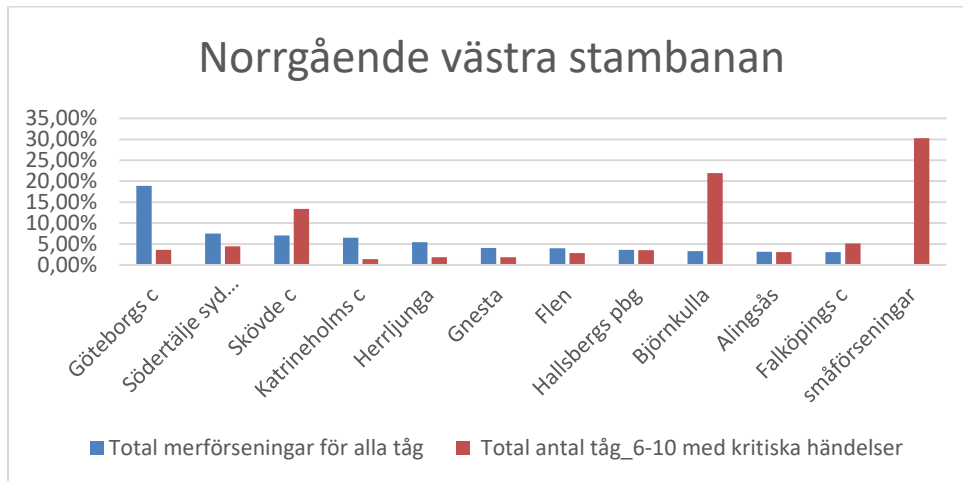
Händelse ID	Antal störda tåg	Total merförsening	Medel merförsening	Antal Kritiska händelser
2189924	514	4544	8,8	60
2157157	818	2907	3,6	208
1925607	292	2606	8,9	24
2243242	11	2420	220,0	5
2219034	4	669	167,3	2
2185797	5	646	129,2	5
1859459	174	566	3,3	38
2198922	6	530	88,3	3
2230258	4	524	131,0	3
2399657	5	484	96,8	4

Tabell 5: Händelserna som orsakat mest merförsening

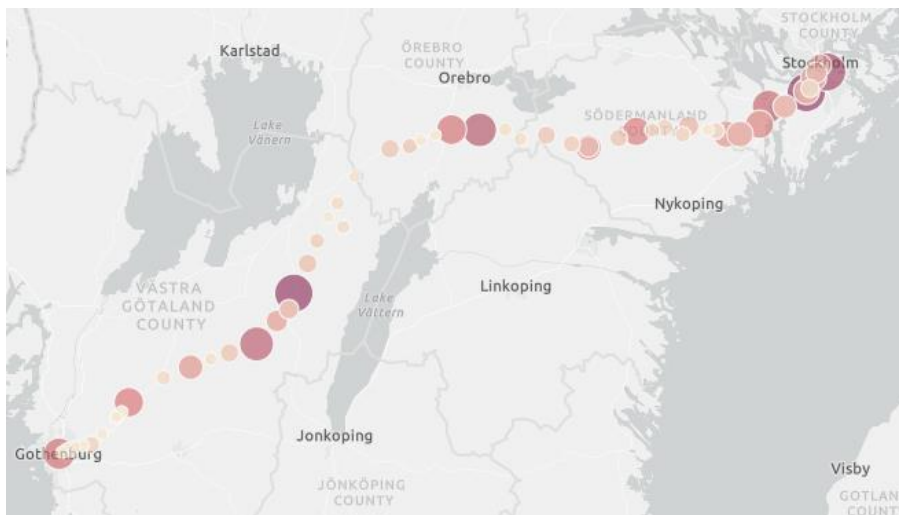
	Total merförsening	Medel merförsening	Antal störda tåg	Antal kritiska händelser
Prio total merförsening	20593	79	1952	391
Prio medel merförsening	9055	116	70	38
Prio antal störda tåg	15338	17	2100	404
Prio antal kritiska händelser	16322	28	2040	441

Tabell 6: Resultat av olika prioritering/sortering av händelser då de 25 i topp väljs.

För grundläggande verifiering av resultaten har vi även applicerat samma metodik på norrgående snabbtåg för västra stambanan Göteborg-Stockholm. I Figur 17 visas viktigaste händelseplatser baserat på merförseningstid respektive kritiska händelser. Resultatet verifierar från västra stambanan, att med kritiska händelser som analysbas är det andra platser som är viktigast än om merförseningar används som bas för analys: Exempelvis Göteborg står för mest merförsening, men inte många kritiska händelser. Däremot sticker åter Björnkulla ut som viktigaste händelseplats för kritiska händelser/opunktighet. Även småförseningar är stor anledning till opunktighet (för 6-10 tåg). Kartan i Figur 18 visar också att det är mest kritiska händelser i slutet av resan, närmare Stockholm.

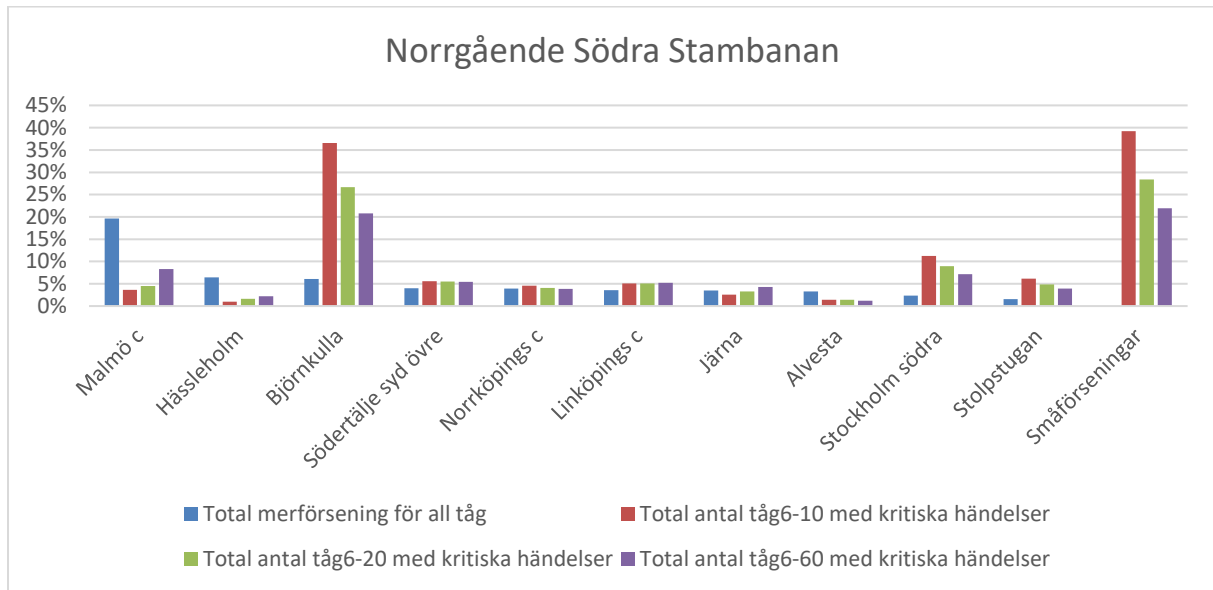


Figur 17: Viktigste händelseplatser baserat på olika mått, Västra stambanan, norrgående snabbtåg. Blå staplar motsvarar merförseningstid medan röda staplar motsvarar plats för kritiska händelser (för 6-10 minuters försenade tåg).



Figur 18: Karta över kritiska händelser för norrgående snabbtåg, storlek: Förseningsbidrag antal minuter, färg: antal tåg (mörkare= fler tåg)

I studien som redovisas har vi särskild fokus på tåg med 6-10 minuters slutförsening, efter de kan betraktas som lågt hängande frukter för att förbättra punktligheten. Men även om man generaliserar detta till andra tåg så ger analysen av kritiska händelser intressanta resultat. För att visa detta illustreras i Figur 19 resultat från platsanalysen med andra urvalskriterier, tåg med 6-10 (röd), 6-20 (grön) respektive 6-60 (lila) minuters slutförsening, samt resultat baserat på merförsening (blå). Resultaten visar att det är samma platser som har mest kritiska händelser och dessa sticker ut även om vi vidgar urvalskriteriet för tåg som studeras. Med detta visas att resultaten inte beror på att det var just tåg med 6-10-minuters slutförsening som sattes i fokus, även om resultaten blev "vassare" då man särskådade just denna tåg-grupp.

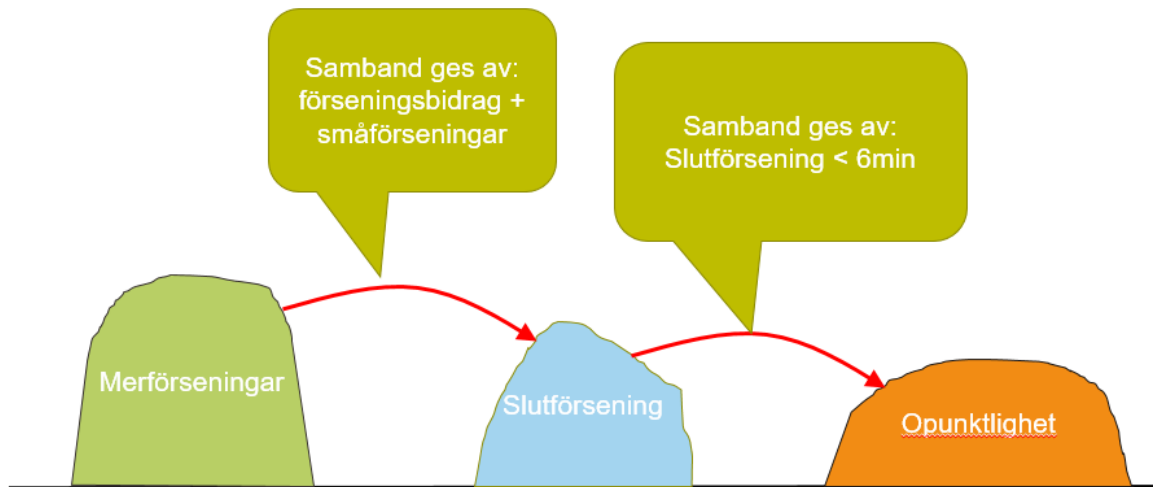


Figur 19: Jämförelse av platsanalys med total merförsening som bas (blå staplar) och kritiska händelser som bas, men med tre olika urvalsgrupper med olika slutförsening: 6-10 minuter (röd), 6-20 minuter (grön) respektive 6-60 minuter (lila).

5 Effektsamband störningstid – punktlighet

Att förtydliga sambandet mellan störningstid och punktlighet är ett viktigt syfte med detta projekt, och hypotesen som provas är om begreppen förseningsbidrag och kritiska händelser kan användas för att förtydliga detta samband. I detta avsnitt visar vi hur dessa begrepp kan användas för att skapa ett effektsamband mellan dessa båda storheter, se Figur 20. Med effektsamband menar vi en tydlig beskrivning hur de kvantitativt påverkar varandra för att svara på frågeställningar som "om man minskar störningstiden med x%, hur mycket förbättras då punktligheten?" eller "hur mycket måste störningstiden minska för att punktligheten ska förbättras till 95%?"¹⁴.

¹⁴ I [2] beskrivs att punktligheten för resandetåg generellt kan ökas med 4 procentenheter om antal störningstimmar minskas med 50%. I detta kapitel visar vi ett alternativt sätt att beräkna detta samband.



Figur 20: Samband Merförseningar – slutförsening – opunktlighet förtydligas och kan kvantifieras med hjälp av förseningsbidrag och småförseningar samt kopplingen att tåg är opunktligt om det är 6 min försenat eller mer.

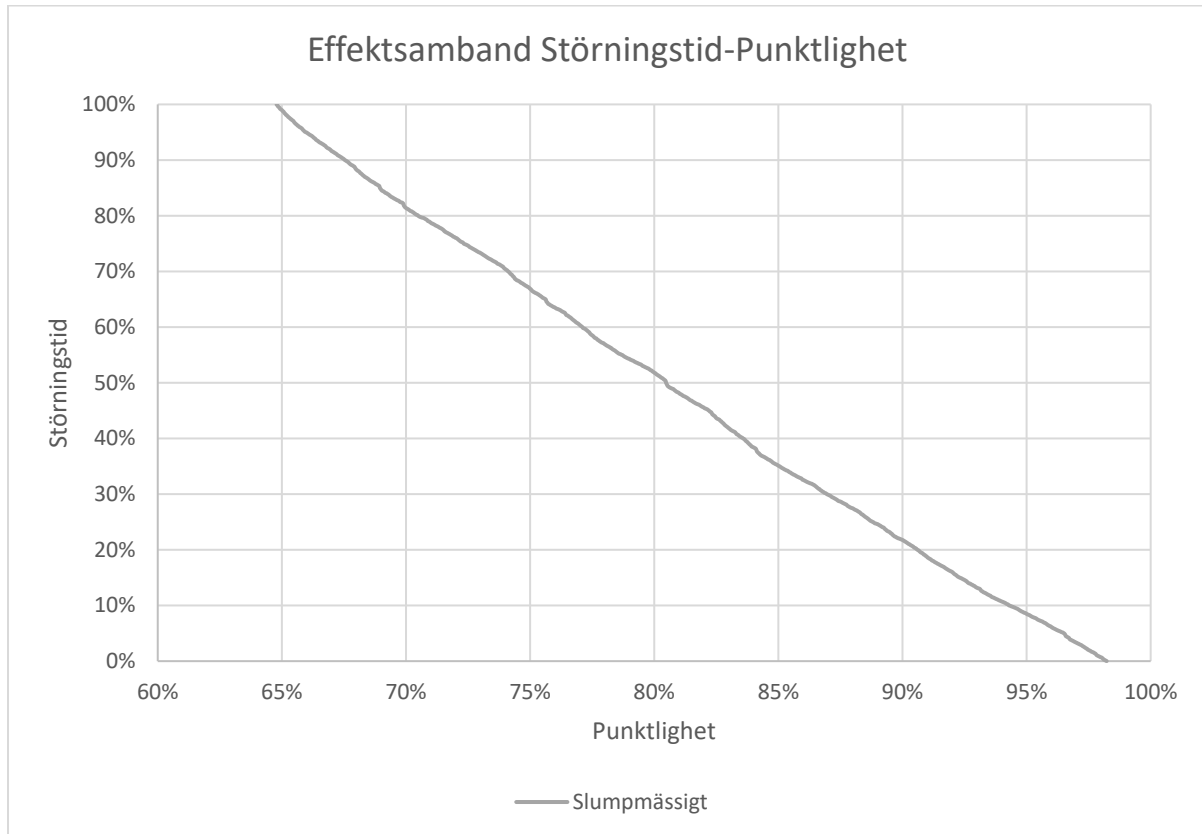
Genom att dela upp ett tågs slutförsening i förseningsbidrag från olika händelser samt småförseningar har vi skapat en koppling mellan de störningar som påverkar ett tåg och deras bidrag till slutförseningen. Under antagande att störningar (alternativt grupper av störningar) är oberoende av varandra kan man beräkna "hur mycket försenat skulle tåget ha varit om denna (eller dessa) störningar inte inträffat och skulle tåget i så fall ha varit punktligt?".

För att skapa effektsambandet utför vi följande procedur:

1. Utgå från utfallsdata gällande händelser, störningar, merförsening och punktlighet. Man vet alltså totala störningstiden, merförsening kopplad till varje störning, händelse som orsakat störningen, tågets slutförsening och tågets punktlighet. (Detta är standarddata tillgängligt via Lupp.)
2. Beräkna förseningsbidrag från alla störningar.
3. Välj en händelse (som inte redan valts). Gör antagandet "tänk om denna händelse inte hade inträffat". Ta fram de störningar som hör ihop med denna händelse.
4. Beräkna justerad slutförsening utifrån antagandet att händelse/störningar från punkt 3 ej inträffat. Beräkna om tågets justerade slutförsening gör tåget punktligt.
5. Beräkna total justerad störningstid genom att minska totala störningstiden med de valda störningarnas merförsening. Beräkna uppdaterad total punktlighet.
6. Om alla händelser behandlats, gå till steg 7, annars gå till steg 3.
7. Klart! Ett kvantitativt samband mellan störningstid och punktlighet har skapats!

Genom ovanstående skapas ett kvantitativt samband mellan störningstid och punktlighet, vilket kan illustreras i ett diagram. I Figur 21 illustreras ett exempel för norrgående snabbtåg på södra stambanan 2017. Utgångsläget är att 100% av störningarna ger en punktlighet på 65%. Om man hade haft en störningstid motsvarande 50% hade punktligheten blivit 81%. För att nå 95% punktlighet behöver 91% av störningstiden försvinna.

Eftersom en del tåg blir försenade på grund av att de har småförseningar på mer än 5 minuter gör det att vissa tåg blir försenade även om alla störningar elimineras, därav uppnås inte 100% punktlighet i detta effektsamband, högsta punktligheten som kan uppnås är 98,2%, för att komma högre räcker det inte med att eliminera händelser utan även småförseningar måste elimineras.

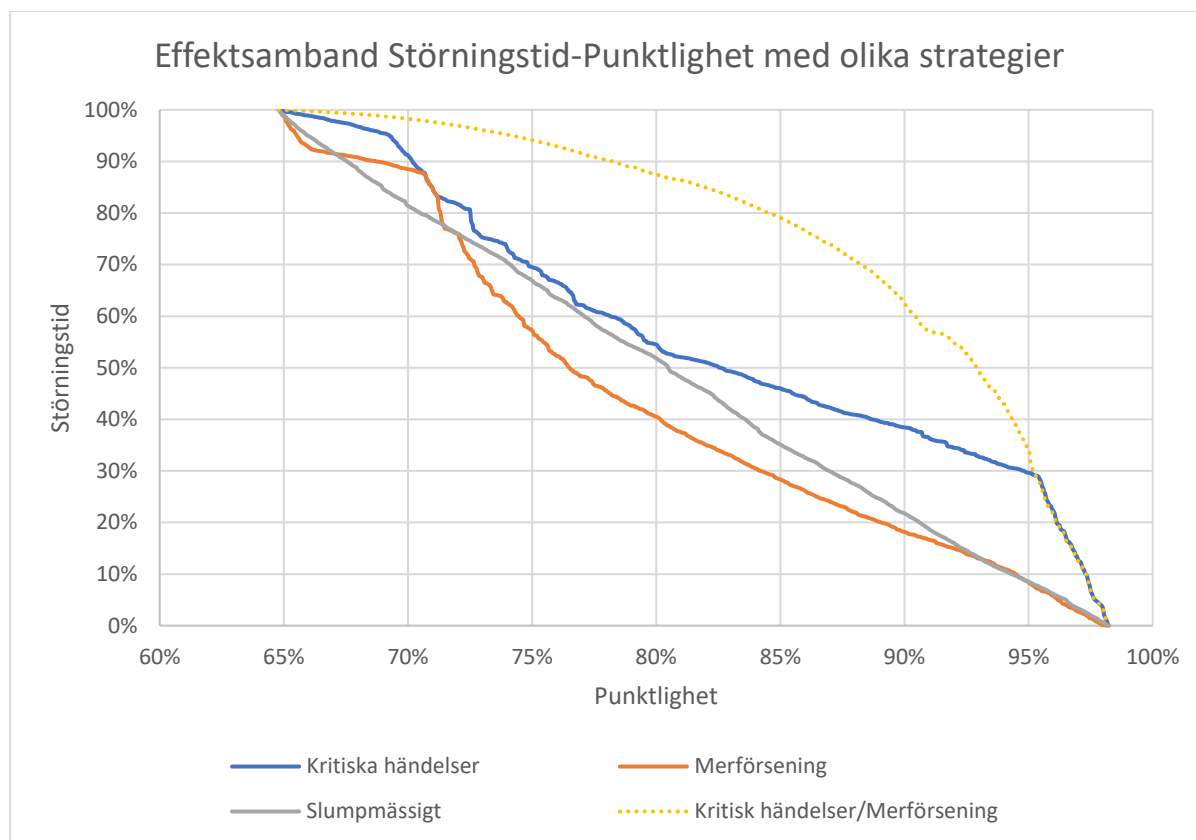


Figur 21: Effektsamband mellan störningstid och punktlighet (norrgående snabbtåg södra stambanan).

I Figur 22 förfinas effektsambandet genom att man använder olika prioriteringsstrategier vid val av vilka händelser som man eliminerar enligt steg 3 i algoritmen ovan. Den grå kurvan motsvarar att händelser väljs slumpmässigt. Den orange kurvan motsvarar att man prioriterar de störningar som orsakar mest merförsening, medan den blå kurvan motsvarar att man prioriterar de händelser som orsakar mest kritiska händelser. Diagrammet visar att om man kan prioritera åtgärder enligt de händelser som orsakar mest kritiska händelser får man betydligt högre "verkningsgrad" än de andra alternativen: för att uppnå 95% punktlighet måste vi med kritiska händelser som prioriteringskriterium eliminera 71% av störningstiden, medan om man prioriterar enligt mest merförsening måste man eliminera 91% av störningstiden. Man kan också notera att strategin att eliminera händelser med mest störningstid ger sämre utfall än att ta slumpvisa händelser.

Den gulprickade kurvan i Figur 22 visar effektsambandet om vi sorterar händelser så att kurvan trycks uppåt så mycket som möjligt, vilket uppnås om man sorterar händelser enligt deras kvot "antal kritiska störningar dividerat med händelsens störningstid". Detta är en sorts optimistisk skattning.

Man kan notera att kurvorna i Figur 22 inte ger information om hur många händelser som "elimineras" i varje sektion av kurvan. Den övre delen av den orange kurvan motsvarar t.ex. rimligtvis mycket färre händelser än den övre delen av den gulprickade kurvan.



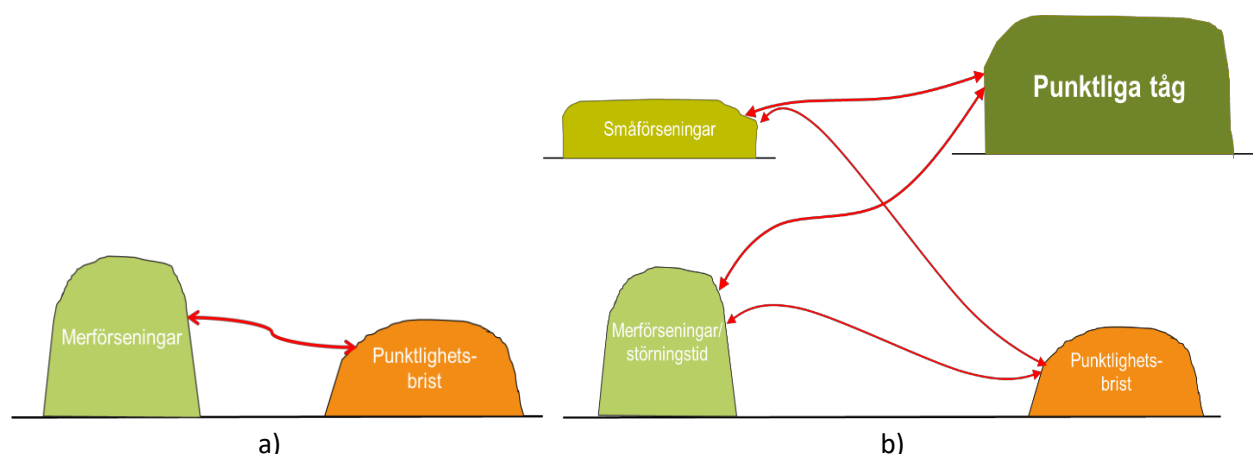
Figur 22: Effektsamband störningstid-punktlighet med olika prioriteringsstrategier.

Det framtagna exemplet på effektsamband enligt diagram i figurer ovan gäller enbart för det data som används, dvs norrgående snabbtåg på södra stambanan 2017. Framtida undersökningar kan göra motsvarande analyser för andra tågtyper och geografier. Resultaten här bör inte tas som allmängiltiga, däremot är metodiken allmängiltig för andra tågtyper och geografier.

6 Mer om samband mellan merforsening och punktlighet

I detta avsnitt görs en fördjupad analys av händelsers påverkan på punktligheten. Syftet är att ge en ökad förståelse för detta samband och hur störningar påverkar punktligheten. Resonemanget i avsnittet baserar sig på de samband som etablerades i kapitel 3.

Utgångspunkten (i kapitel 1) var det okända sambandet mellan störningar och punktligheten, enligt Figur 23 a). Diskussionen i denna rapport har visat att en mer förfinad bild behöver förståelse, enligt Figur 23 b), nämligen att även småforseningar är viktiga att ta hänsyn till samt att många störningar inte har negativ inverkan på punktligheten. I detta avsnitt förfinas bilden ytterligare genom att vi granskar hur ”högarna” med störningar, småforseningar och opunktliga tåg kan kategoriseras.



Figur 23: a) Initial och b) utvecklad bild av samband mellan merförseningar/störningstid och punktlighet.

När en störning inträffar kan den ge olika effekter på punktligheten. Störningarna kan klassificeras i följande kategorier:

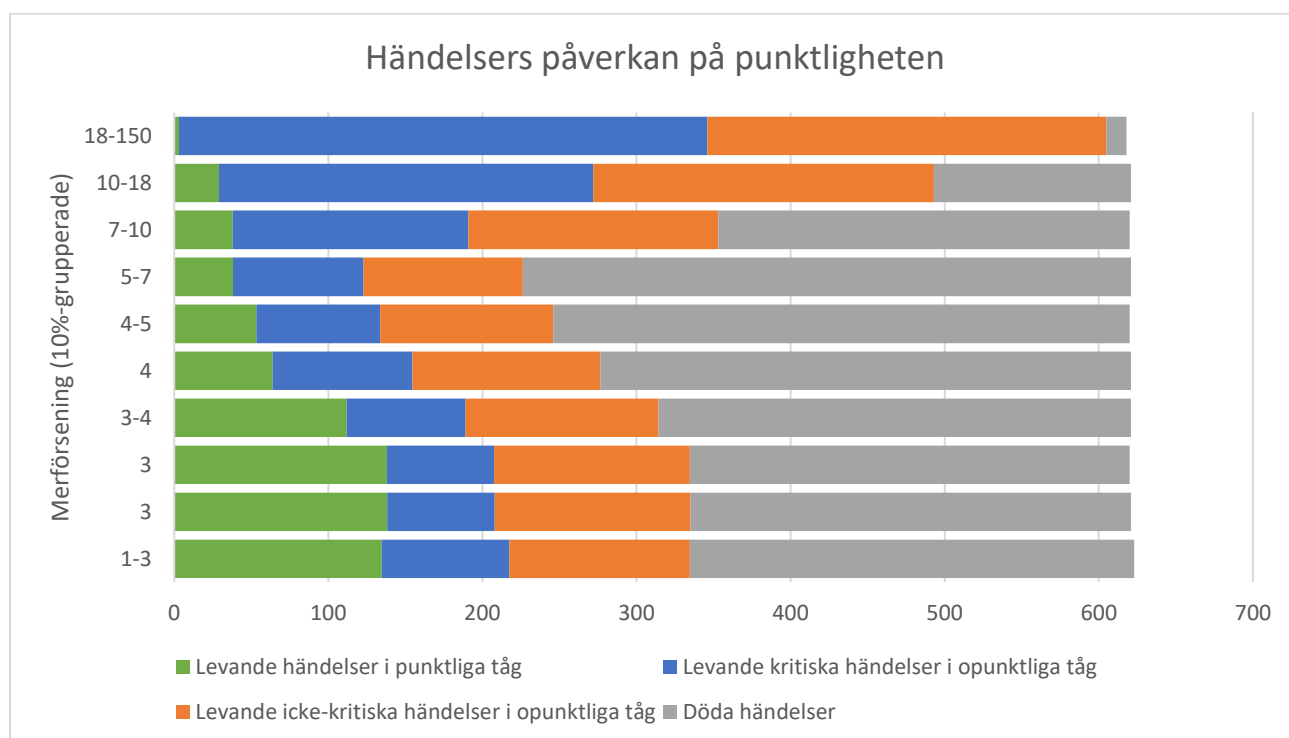
- Störningen lever kvar till slutstationen, men tåget är ändå punktligt (förseningen på slutstation är mindre än sex minuter).
- Störningen lever kvar till slutstationen, tåget icke-punktligt, störningen är kritisk så att störningsbidraget från störningen får tåget att bli opunktligt.
- Störningen lever kvar till slutstationen, tåget icke-punktligt, störningen är inte kritisk, dvs tåget hade varit opunktligt även om störningen inte inträffat.
- Störningen dör, dvs förseningen som störningen ger återhämtas innan ankomst till slutstationen. Störningen har alltså ingen påverkan på ankomsttiden till slutstationen.

Både stora och små störningar kan klassificeras i alla grupper a-d, men det är t.ex. naturligtvis mer sannolikt att en liten störning återhämtas än en stor störning. Figur 24 och Tabell 7 illustrerar hur störningar fördelar sig mellan de olika kategorierna. Data gäller norrgående snabbtåg på södra stambanan 2017.

a) Levande händelser i punktliga tåg	b) Levande kritiska händelser i opunktliga tåg	c) Levande icke-kritiska händelser i opunktliga tåg	d) Döda händelser
12%	21%	24%	43%

Tabell 7: Sammanställning kategorisering av registrerade händelser.

Diagrammet i Figur 24 skall tolkas enligt följande: Alla störningar storleksorterats (enligt deras merförsening) och har sedan delats upp i 10 grupper med lika många störningar i varje grupp: Varje sådan grupp motsvarar ett horisontellt band i diagrammet. Eftersom de flesta störningarna är små (3-4 minuters merförsening, se även Figur 10) blir det flera band som motsvarar dessa storlekar på störningar. Inom varje grupp delas störningarna upp enligt kategori a-d ovan.



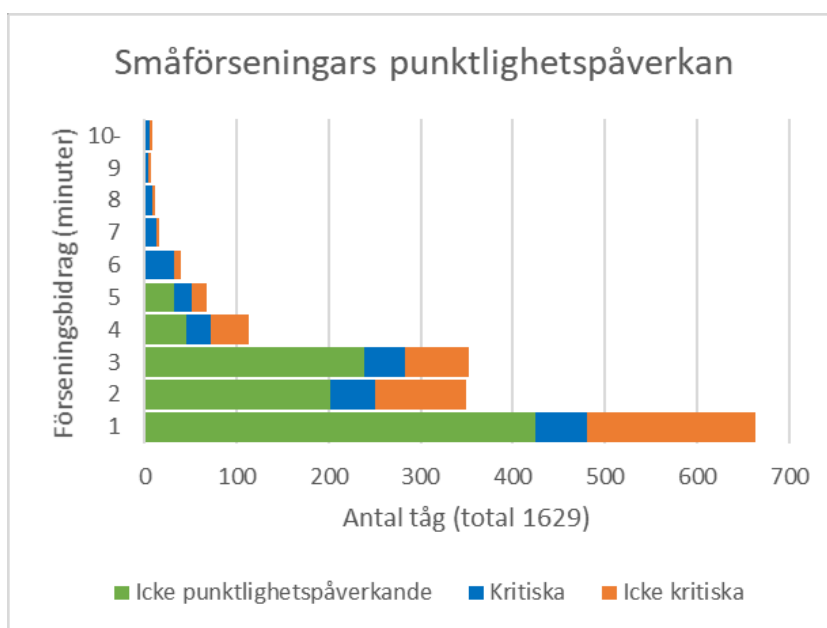
Figur 24: Kategorisering av störningars påverkan på punktligheten, uppdelat i döda och levande, kritiska och icke-kritiska händelser. (Oregistrerade småförorseningar ingår inte.)

Diagrammet visar exempelvis följande:

- 43% av alla registrerade händelser "dör", dvs återhämtas innan slutstation. Detta indikerar att det är viktigt att eliminera "rätt" händelser om man ska förbättra punktligheten – att eliminera döda händelser ger ingen förbättring.
- Både bland mindre och större störningar finns en god andel som är kritiska och ungefär lika många som är icke-kritiska. Detta stärker begreppet "kritisk händelse" eftersom dess förmåga till utsällning varit svagare om väldigt få eller väldigt många händelser fått den klassificeringen.

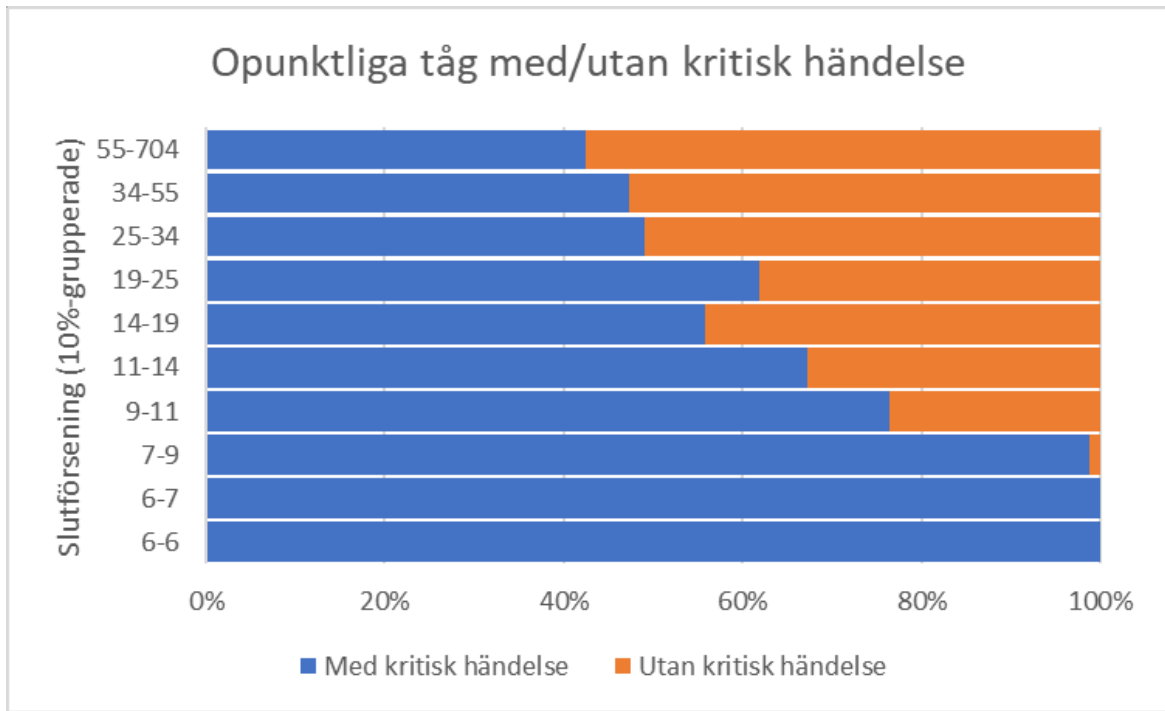
På ett liknande sätt kan småförorseningar kategoriseras. Småförorseningarnas merförorsening är dock alltid noll, däremot kan de ha ett förorseningsbidrag. Om förorseningsbidraget är noll har småförorseningarna dött, dessa bortses ifrån. I Figur 25 har småförorseningarna delats upp i grupper beroende på deras förorseningsbidrag, varje horisontell stapel motsvarar småförorseningar med ett visst förorseningsbidrag och längden på stapeln motsvarar antal småförorseningar av en viss storlek (översta bandet är småförorseningar på 10 minuter eller mer). Småförorseningarna har sedan kategoriserats enligt klasserna a-c ovan.

En slutsats av Figur 25 är att ju större en småförorsening är, desto större är relativa sannolikheten att den är kritisk. Samtidigt är det vanligare med små merförorseningar än större, så att det i absoluta tal är ungefär lika många kritiska småförorseningar för småförorseningar av storlek ett till sex minuter.



Figur 25: Kategorisering av småförseningar: grönt motsvarar småförseningar i punktliga tåg, blått är kritiska småförseningar och orange är icke-kritiska småförseningar.

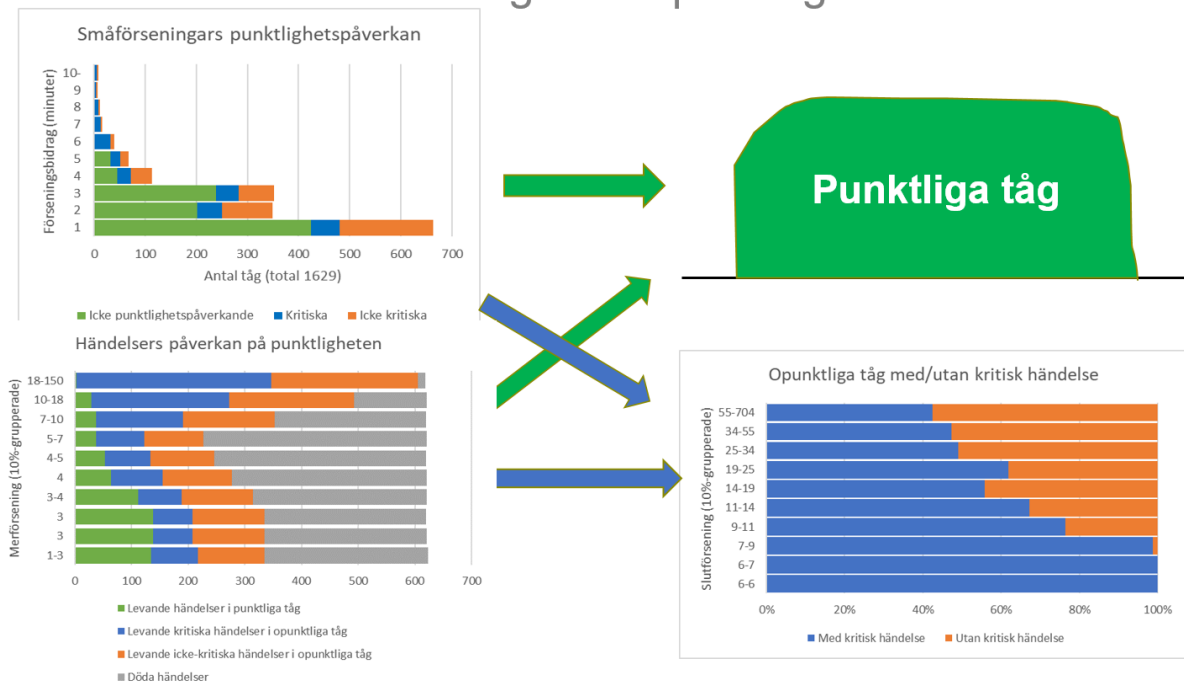
De opunktliga tågen kan också klassificeras: de som har en kritisk händelse (eller kritisk småförsening) respektive de som saknar kritisk händelse, vilket visas i Figur 26. I diagrammet har alla opunktliga tåg sorterats efter sin slutförsening och delats in i 10 grupper med lika många tåg i varje grupp. Diagrammet visar hur många i respektive grupp som har (minst en) kritisk händelse (blått) och hur många som saknar kritisk händelse (orange). Diagrammet visar tydligt att ju mindre slutförseningen är, desto vanligare är det att det finns kritisk händelse, men även bland tåg med större slutförsening har ungefär hälften en kritisk händelse.



Figur 26: Klassificering av punktliga tåg i tåg med respektive utan kritisk händelse (även kritiska småförorseningar ingår i kritiska händelser).

Om man sätter samman diagrammen i detta avsnitt kan vi få en utvecklad bild av Figur 23, se Figur 27.

Samband merförorseningar och punktlighet



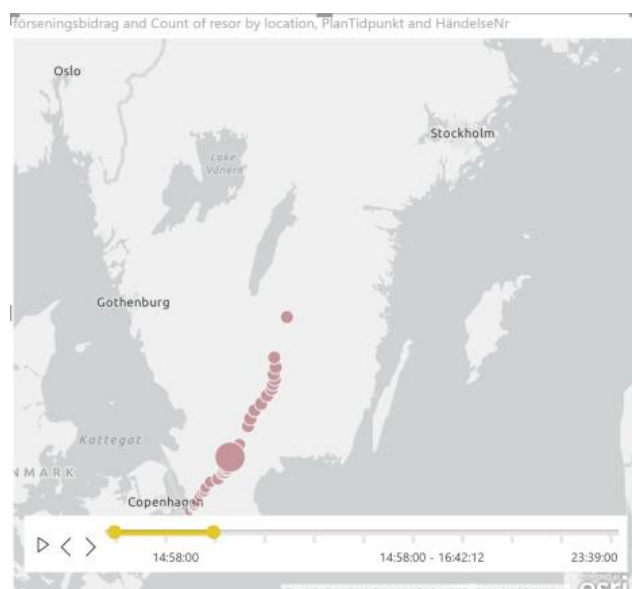
Figur 27: Utvecklad bild av samband mellan händelser och opunktlighet genom analys av förorseningsbidrag och kritiska händelser.

7 Spridning av händelser: Visualisering och mätetal

7.1 Visualisering

Det finns olika verktygstöd för visualisering av data; vi har valt PowerBI där man kan koppla många olika datakällor, som t.ex. olika excel filer, och visa den intressanta informationen på ett interaktivt sätt. Med hjälp av datakopplingar som vi har byggt upp i PowerBI kan man interaktivt göra djupare analyser av de olika händelseorsakerna. Man kan visualisera olika data/mått/information med olika grafiska representation istället för tabellform vilket kan ge nya insikter. I PowerBI går det lätt och snabbt att göra djupare analyser genom att segmentera olika händelser, filtrera och kolla detaljer för ett specifik tåg/dag eller för en viss störning.

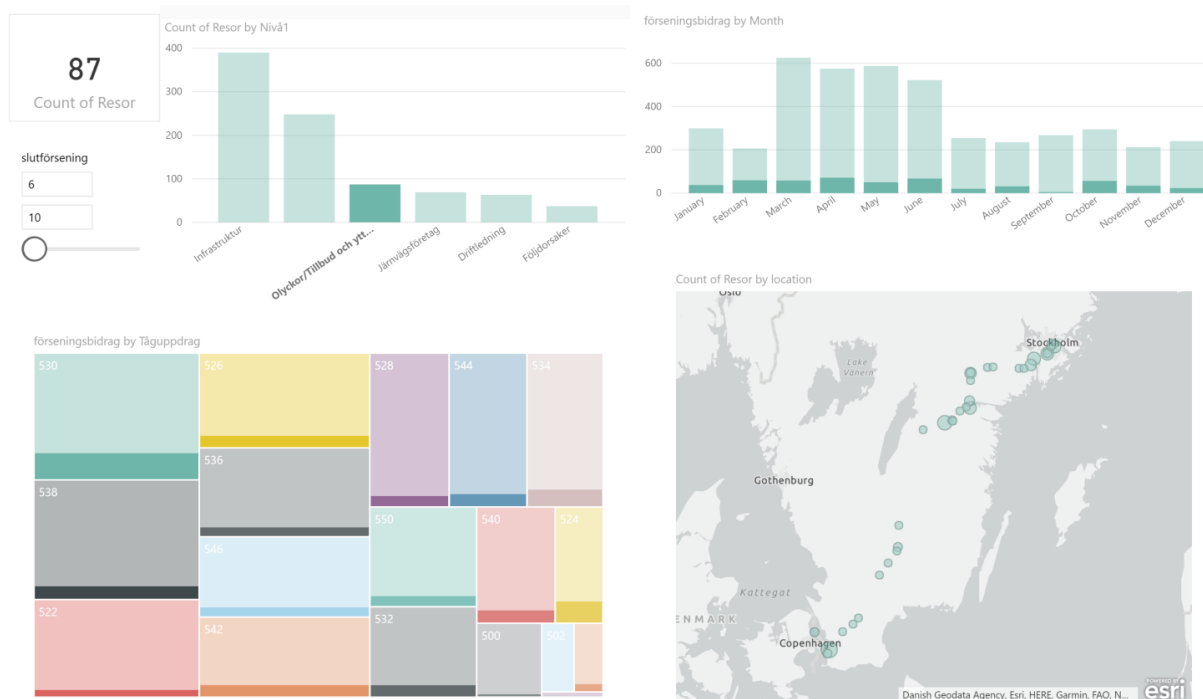
Pythonkoden som beräknar förseningsbidrag genererar en datafil som kompletterar Lupp-datat (händelsenummer, antal merförseningsminuter, orsak till händelse, tågnummer, datum, etc) med förseningsbidrag. I PowerBI kan vi koppla denna fil till datauttaget från Lupp vilket gör det enklare att vidare undersöka händelser. Med hjälp av visualisering av förseningsbidrag kan vi visualisera händelsens spridning för ett tåg under resan. I PowerBI kan man ha visualiseringar i form av bubbelkarta som placerar en bubbla över en geografisk plats som i bild. Storlek och färg på bubblan kan visa olika mått. Sedan kan man skapa en animering av bubbeldiagramms ändringar över tid genom att lägga till ett tidsbaserat filter. Det går att klicka på en bubbla under animeringen för att se en spårning av dess bakgrundsdata, se Figur 28.



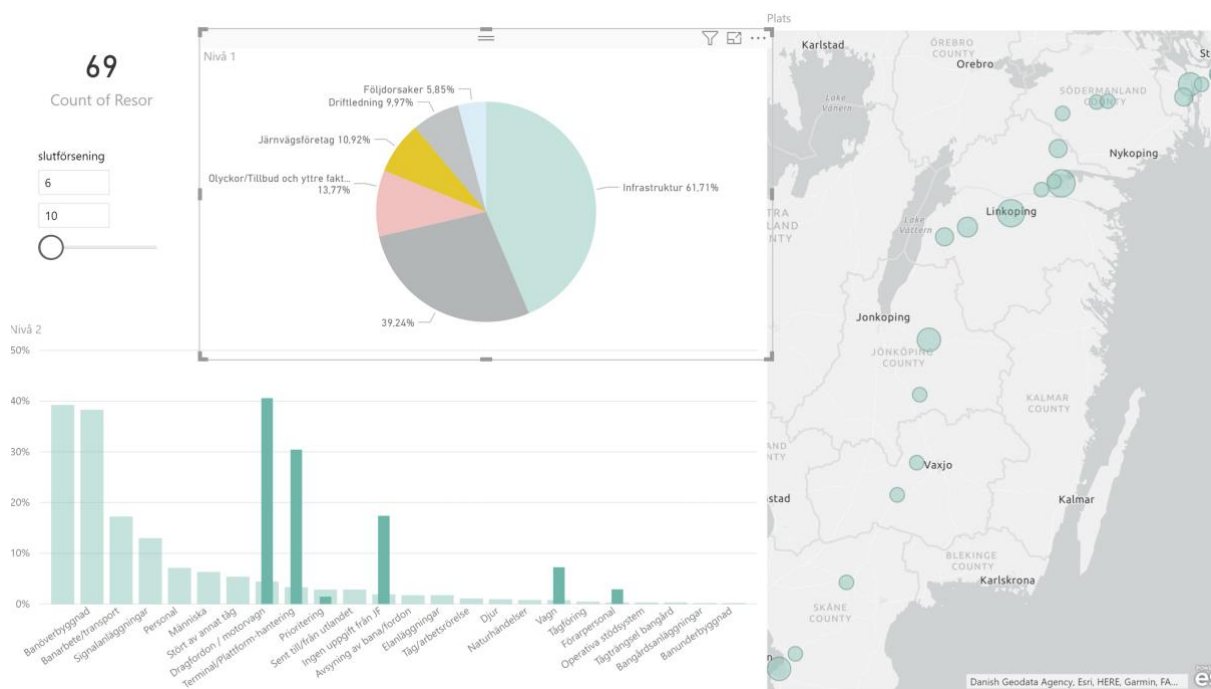
Figur 28, Animering av ändring förseningsbidrag dvs spridning av en händelse över tid.

När det finns flera visualiseringar på samma rapport sida, kan man välja ett visst datasegment genom att klicka eller använda ett utsnitt och då påverkas alla visuella objekt på sidan som i Figur 29 och Figur 30. Exempelvis i Figur 29, kan man genom att klicka på stapeln *Olyckor/Tillbud* i övre vänstra diagrammet segmentera övriga diagram i rapporten/bilden för händelserna som har orsakskod *Olycka/Tillbud* med mörkare färg: vi kan se totalt har 87 tåg kritisk händelse av typ *Olycka/Tillbud* (för

tåg som har slutförsening 6-10 minuter). Då kan man se t.ex. vilka månader i 2017 som dessa skedde i övre diagrammet till höger, var på södra stambanan störningarna registrerades och för vilka tåguppdrag. På samma sätt kan vi kolla närmare på händelserna som orsakskodad med *Järnvägsföretag* i Figur 30, vilka platser och deras orsak på nivå 2.



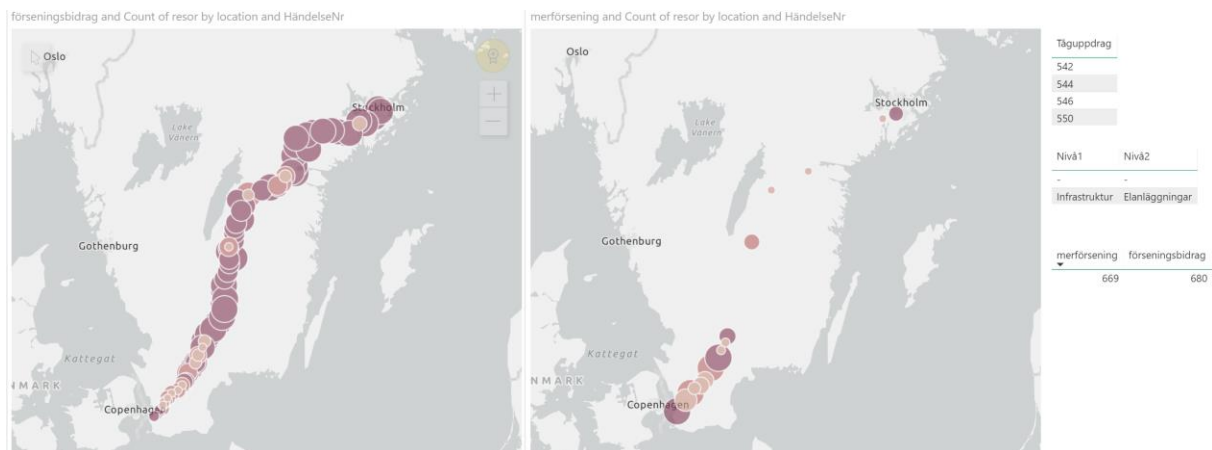
Figur 29: Interaktiv visualisering av kritiska händelser, filtrerad för tåg med 6-10 minuter slutförsening, segmenterad till händelser som är registrerad som Olyckor, fördelningen över olika tåguppdrag och olika månader för år 2017.



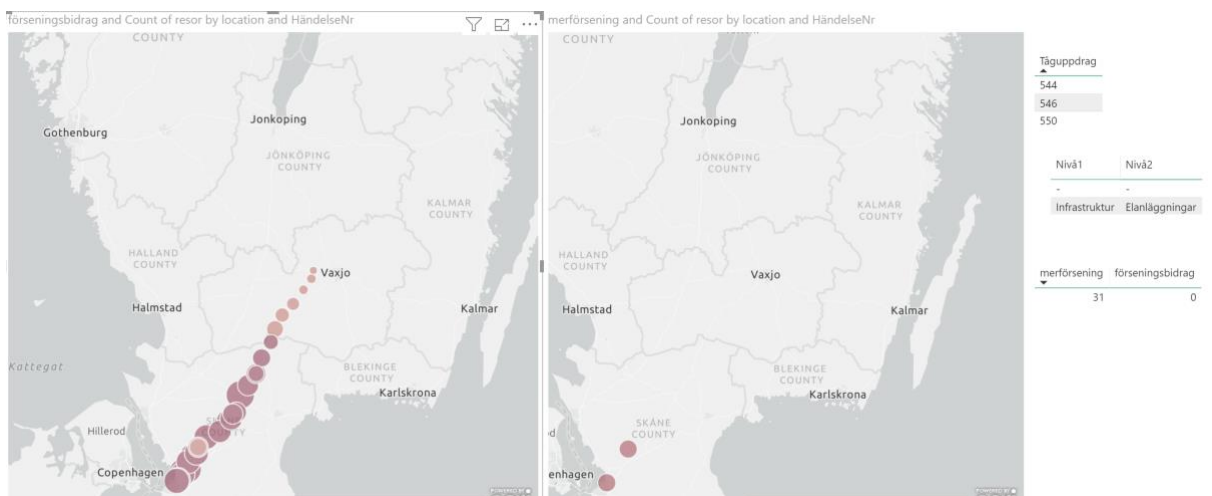
Figur 30: Interaktiv visualisering av fördelning av olika orsak till kritiska händelser i nivå 1 (cirkeldiagram) med och med dynamiskt fokus på Järnvägsföretag i övriga diagram: i nivå 2 (vänster stapeldiagram) and platser för kritiska händelser (kartan).

Även störningars spridning kan visualiseras, vilket kan ge andra insikter än om man enbart studerar platser för registrerade merförseningar. Figur 31 illustrerar en händelses spridning på två olika sätt. Den högra bilden illustrerar alla platser där det finns registrerade merförseningar kopplade till den händelsen medan den vänstra bilden visar hur försening från händelsen (dvs tågens förseningsbidrag) sprider sig och lever vidare under tågets färd. Vi ser att registrerade merförseningar (totalt 669 minuter) blir punktformade färre platser plats, medan störningsspridningen geografiskt utsträckt hela sträckan mellan Malmö och Stockholm.

I Figur 32 illustreras samma sak, men för en mindre händelse (2115707). Som först registreras i Arlöv och lever vidare till Alvesta. Första tåget får en merförsening på 14 minuter. Tre tåg drabbas av denna händelse (544, 546, 550: se till höger i Figur 32), registreringar av merförseningar görs på två olika platser (se höger bild). Vänster bild illustrerar hur händelsen sprider sig och så småningom "dör", dvs norr om Alvesta är förseningsbidraget från denna händelse 0.



Figur 31: Visualisering av händelsens spridning: förseningsbidrag (vänster karta) och dess registrerade merförsening (höger karta) på fyra olika tåguppdrag.



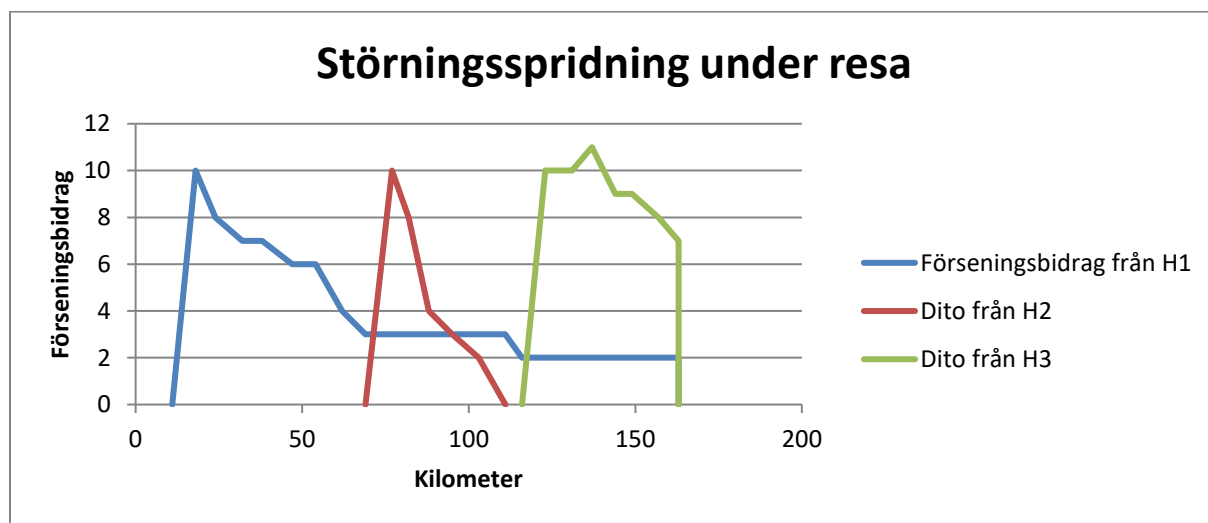
Figur 32: Visualisering av händelsens spridning: förseningsbidrag (händelsen "dör", vänster karta) och registrerade merförsening (höger karta).

Genom de få exemplen i bilderna ovan vill vi visa att visualisering och alternativa mått kan ge nya insikter som kan hjälpa till för att öka kunskapen kring olika händelser och opunktlighet. Exempelen som vi visar här gäller enbart snabbtågen på södra stambanan: ett mer komplett dataunderlag skulle kunna ge ännu intressantare och mer informativa bilder av händelsers spridning.

7.2 Mätetal

För att kunna mäta hur en händelse (eller störning) sprider sig i järnvägsnätet behöver man definiera någon form av måttstock. Vi föreslår att måttet ska baseras på resonemanget om förseningsbidrag (kapitel 3) eftersom det även återspeglar återhämtning i systemet. Under ett tågs resa kan man definiera **aktuellt förseningsbidrag** (på en driftplats) som händelsens aktuella bidrag till tågets aktuella försening, aktuellt förseningsbidrag blir alltså en serie som är en funktion av driftplatserna. Figur 33 representerar samma exempeltåg som i kapitel 3 (Figur 2), men x-axeln har skalats om och ersatts med kilometer från station A, kurvorna motsvarar aktuellt förseningsbidrag för de olika händelserna.

Ytan under kurvan för H1 är ett mått på störningens storlek och spridning, liksom ytan under kurvan för H2 är ett mått på störningsspridning från händelse H2, osv. Detta spridningsmått mäter störningens "minutkilometer", dvs. produkten (integralen) av antal förseningsminuter och antal kilometer som störning fortlever. Störningar med stor "minutkilometer" har större spridningspåverkan än störningar med liten "minutkilometer"¹⁵, se Tabell 8.



Figur 33: Förseningsbidrag från respektive händelse med x-axeln given i kilometer (i stället för driftplatser). Ytan under respektive kurva motsvarar händelsens spridning mätt i "minutkilometer".

Händelse	Spridning i minutkilometer
H1	582
H2	166

¹⁵ Ett alternativ kan vara att ha tid på x-axeln så att ytan motsvarar antal minutminut som händelsen sprider sig. En avigsida med minutminut-begreppet är dock att det skalar ner snabbare tåg, så att ju snabbare ett tåg är, desto mindre blir störningsspridningen mätt i minutminuter. Därför anser vi att minutkilometer är ett bättre begrepp.

H3	382
----	-----

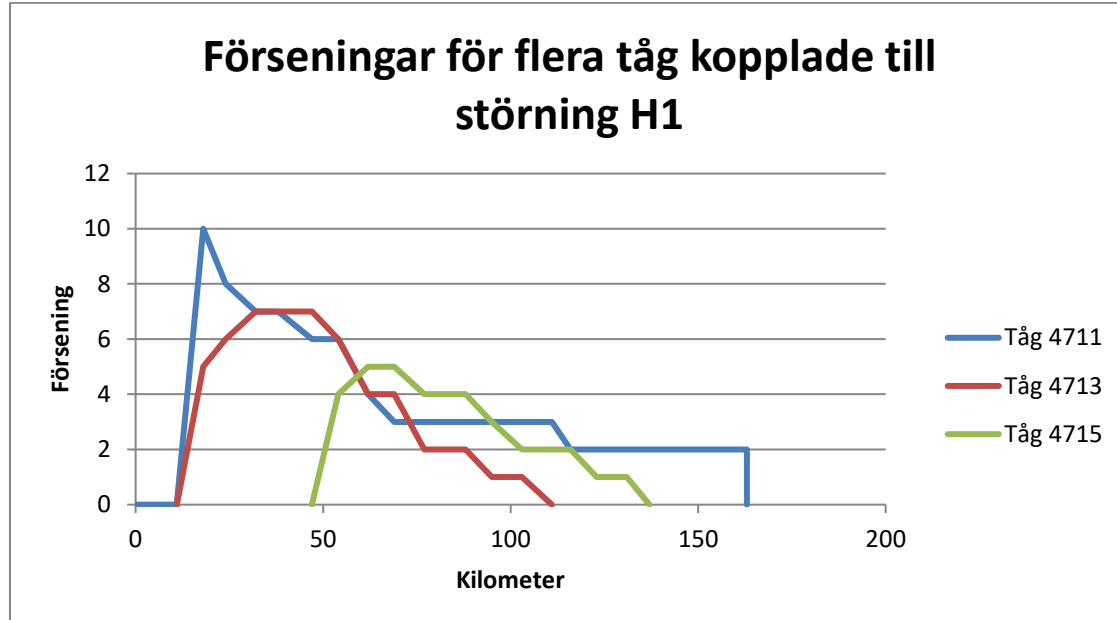
Tabell 8: Spridning av respektive händelse, mätt i minutkilometer.

Tabell 9 visar ett verkligt exempel (motsvarande Tabell 8) för störningar för tåget 544 i 27 nov 2017, fyra registrerade störningar plus glidande småförsening. Slutförseningen på tåget var 115 minuter, medan störningstiden (total merförseningstid) alltså var 124 minuter. Spridningstal (km_bidrag) är olika för de olika störningarna.

Tåguppdrag	Datum	HändelseNr	förseningsbidrag	merförsening	km_bidrag	Antal Händelser
544	den 27 november 2017	småförsening	3	0	1 750,96	0
544	den 27 november 2017	2367952	0	6	674,78	1
544	den 27 november 2017	2368085	0	8	583,32	2
544	den 27 november 2017	2368149	7	5	1 728,49	3
544	den 27 november 2017	2368251	105	105	12 222,99	4
Total			115	124	16 960,53	10

Tabell 9, spridning av respektive händelse och dess förseningsbidrag och merförsening för tåg 544

Flera tåg kan ha störningar som är registrerade till en och samma händelse H1. Det totala spridningsmåttet för denna händelse H1 fås genom att summera alla tågs bidrag till störningsspridningen, enligt Figur 34 och Tabell 10.



Figur 34: Tre olika tågs försening som associerats till händelse H1.

Tåg	Spridning i minutkilometer
4711	582
4713	392

4715	257
Totalt H1	1231

Tabell 10: Spridning av händelse H1, mätt i minutkilometer enligt exempel i

Tabell 11 visar ett verkligt fall av spridning av händelse 221934 i 22 maj 2017 till olika tåg. Fyra norrgående snabbtåg i södra stambanan får registrering av denna händelse med total 669 minuter merförsening.

HändelseNr	Datum	Tåguppdrag	km_bidrag	merförsening	förseningsbidrag
2219034	den 22 maj 2017	546	143 607,57	259	269
2219034	den 22 maj 2017	544	106 214,29	195	195
2219034	den 22 maj 2017	550	93 595,64	162	166
2219034	den 22 maj 2017	542	26 543,86	53	50
Total			369 961,35	669	680

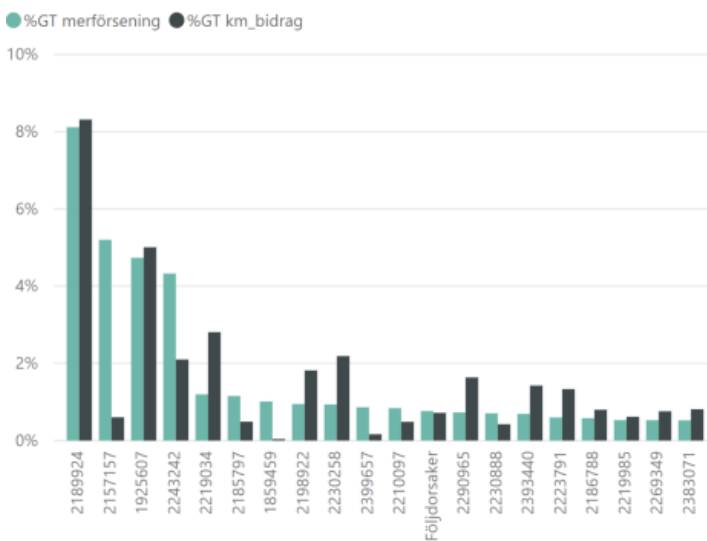
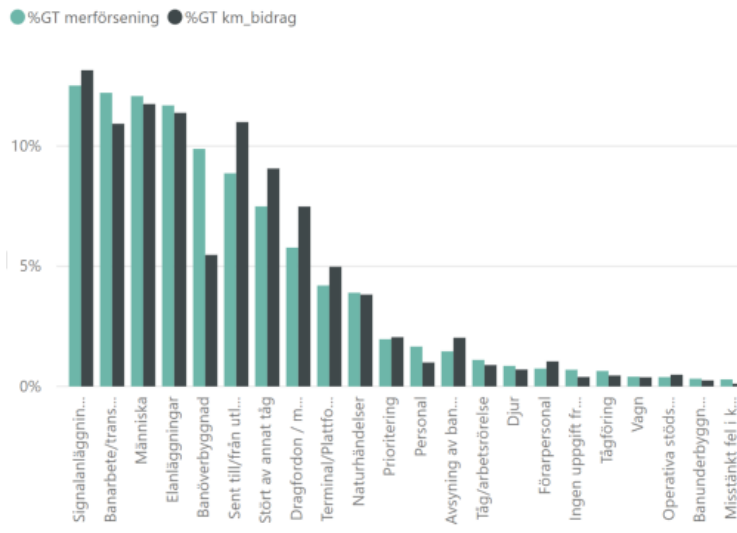
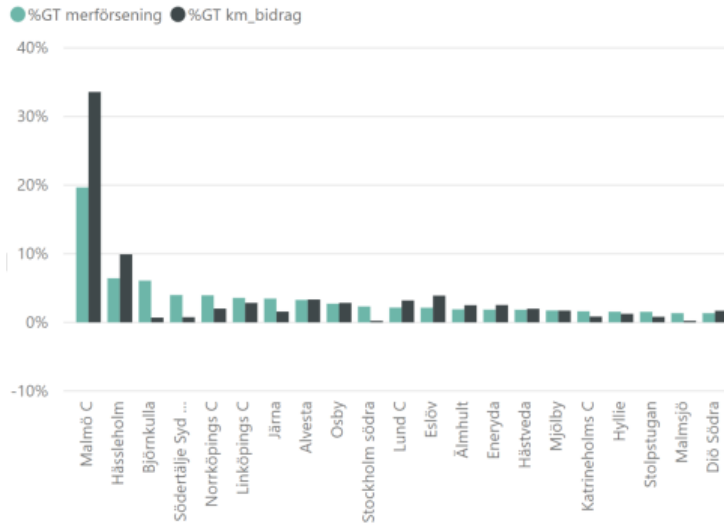
Tabell 11: Spridning av en händelse till flera tåg och händelsens störningsspridning (minutkilometer)

Andra typer av analyser av spridningstal kan vara att jämföra spridningstalen för händelser som inträffar vid olika tider då banor har olika hög beläggning eller att jämföra olika banor med varandra. Detta är dock framtida arbete. Spridningstalen kan användas för att analysera karakteristiken för olika klasser av störningar se Tabell 12.

HändelseNr	Nivå1	Nivå2	merförsening	förseningsbidrag	km_bidrag	Count of resor
2189924	Infrastruktur	Banarbete/transport	4540	1879	1 095 058,27	514
2157157	Infrastruktur	Banöverbyggnad	2909	2537	79 475,94	818
1925607	Olyckor/Tillbud och yttre faktorer	Sent till/från utlandet	2648	906	659 372,48	298
2243242	Infrastruktur	Elanläggningar	2420	2597	276 631,85	11
2219034	Infrastruktur	Elanläggningar	669	680	369 961,35	4
2185797	Olyckor/Tillbud och yttre faktorer	Människa	646	667	64 483,42	5
1859459	Infrastruktur	Banarbete/transport	566	511	2 244,94	174
2198922	Infrastruktur	Signalanläggningar	530	542	239 408,39	6
2230258	Infrastruktur	Elanläggningar	524	493	288 254,46	4
2399657	Infrastruktur	Elanläggningar	484	486	21 472,41	5
2210097	Infrastruktur	Elanläggningar	470	500	63 903,74	4
2290965	Följdorsaker	Stört av annat tåg	408	435	215 392,94	4
2230888	Olyckor/Tillbud och yttre faktorer	Naturhändelser	395	403	55 814,09	9
2393440	Olyckor/Tillbud och yttre faktorer	Människa	387	383	187 747,80	3
Följdorsaker	Följdorsaker	Tågföring	359	207	59 716,39	93

Tabell 12: Topp 15 händelser med högst merförseningsminuter, deras orsak, förseningsbidrag och spridningstal (km_bidrag).

I bilderna nedan, Figur 35, jämförs spridningstal (svarta staplar) och merförsening (gröna staplar) (mätt i procent av totaler av respektive mätetal för att det ska vara jämförbart). Översta diagrammet visar olika platsers totala merförsening respektive spridningstal. Som man kan förvänta sig blir det större spridningstal för händelser tidigt i resan (långt söderut). Mellandiagrammet visar olika orsaksregistreringar på nivå 2, och det understa visar olika händelser.



Figur 35: Jämförelse mellan merförsening minuter och spridningstal (km_bidrag) för olika händelseorsak och plats. ("GT" står för "Grand Total" dvs att respektive bidrag är summerat.)

Från de redovisade exemplen är det svårt att dra en slutsats om spridningstalet är ett värdefullt måttetal som kan ge kompletterande information. En brist i de gjorda analyserna är att data bara gäller snabbtåg på en bana och i en riktning. Vidare analyser behövs på större datamängd för att dra generellare slutsatser om mätetalets användbarhet och nytta.

Exemplen visar att det är möjligt att beräkna dessa spridningstal. En intressant möjlig användning av spridningstalen är att använda dem för att basera kvalitetsavgifter på dem. För operatörer skulle kvalitetsavgifter kunna baseras på hur mycket störningsspridning man orsakar för *andra* operatörer, dvs om störningen drabbar många andra blir avgiften större än om ingen annan drabbas av störningen.

8 Slutsats och nästa steg

I denna studie har vi främst analyserat hur de nya begreppen och mätetalen *förseningsbidrag* och *kritiska händelser* kan användas för att utveckla arbetet med att förbättra punktligheten i järnvägssystemet. Metoder har tagits fram för att beräkna dessa algoritmiskt och automatiskt i större skala. För att avgöra nyttan av begreppen har en fallstudie gjorts på snabbtåg på södra stambanan med data från 2017.

Resultat och slutsatserna från arbetet kan sammanfattas som:

- Det är möjligt att skapa generella algoritmer som automatiskt kan beräkna de nya mätetalen. Därmed finns möjlighet att använda dem i större skala utan för mycket handpåläggning av analytiker.
- Förseningsbidrag och kritiska händelser ger en kompletterande bild för punktlighetsproblematiken i förhållande till traditionella begreppen merförsening och störningstid. Denna kompletterande bild kan användas för att dra nya slutsatser.
- Förseningsbidrag och kritiska händelser ger en ny bild av hur olika störningsorsaker påverkar punktligheten.
- Kritiska händelser ger en detaljerad bild av var punktlighetsproblem uppstår som kan användas både i operativ styrning och för prioritering av åtgärder. Framför allt visas att punktlighetproblem ofta uppstår i slutet av resan, nära slutstationen.
- Småförseningar (mindre än tre minuter) som inte registreras har stor påverkan på punktligheten.
- Mindre störningar (merförsening 3-4 minuter) är ofta punktlighetspåverkande. Det är därför viktigt att arbete med punktlighetsförbättring inte bara fokuserar på händelser som ger stor störningstid. Det är många tåg som ligger nära punktlighetgränsen (nästan punktliga med slutförsening på 6-10 minuter) och för att lyfta dessa tåg gäller det att fokusera på rätt störningar och inte bara på de stora störningarna.
- Förseningsbidrag och kritiska händelser kan användas för att skapa ett effektsamband mellan störningstid och punktlighet.
- För att få största möjliga effekt av åtgärder för att öka punktlighet bör man ta kritiska händelser i beaktande och inte enbart fokusera på minimering av störningstid.
- Förseningsbidrag är en bas för att skapa ett måttetal för spridning av störningar.

- Spridning av störningar kan visualiseras och ge en kompletterande bild till traditionellt sätt att visa spridning baserat på merförsening.
- Att använda ett modernt visualiseringsverktyg (som t.ex. PowerBI) ger möjlighet till dynamiska och effektiva analyser av förseningar och punktlighet.
- Att göra djupanalyser på en någorlunda homogen datamängd ger möjlighet till skarpare och andra slutsatser än om man har ett större och heterogenare datamängd.

Vi bedömer att resultaten i en framtid kan användas på flera olika sätt:

- Daglig eller veckovis utvärdering om "varför tåg blir opunktliga".
- Verktyg för prioritering i den operativa styrningen för att förbättra punktligheten.
- Verktyg för prioritering av åtgärder i t.ex. infrastruktur så att störningsorsaker som har stor punktlighetspåverkan prioriteras högre.
- Återkoppling till tidtabellsplanering om var punktlighetproblem uppstår och var marginaler gör mest nytta.
- Identifiering av "hot spots" som har stor påverkan på punktligheten.
- Skapa generaliserade effektsamband mellan störningstid och punktlighet.
- Fördjupad förståelse för punktlighetsmålen och "hur långt är vi från 95% punktlighet?".
- Ökad förståelse för hur störningar sprids och om det finns klasser eller platser där störningar sprider sig mer från.
- Visualisering av störningars spridning för ökad förståelse om störningars påverkan i nätet. Bättre helhetssyn för tågklarare om störningars och åtgärders effekter utanför hens eget behörighetsområde.
- Störningsspridning kan eventuellt vara underlag för kvalitetsavgifter.
- Interaktiva verktyg ger snabbare och mer dynamisk analys av störningar och förseningar

Baserat på de positiva resultaten i denna studie föreslår vi att arbetet inom området vidareutvecklas och fördjupas. Vi föreslår att vidareutveckling sker inom fem områden:

- **Förseningsbidrag, kritiska händelser och spridning av störningar: Djupanalys.** Inom projekt UTSPRIDD användes de nya begreppen förseningsbidrag och kritiska händelser på snabbtåg på södra stambanan och västra stambanan. Resultaten var lovande, då dessa begrepp på ett nytt sätt identifierar orsaker till opunktlighet. Målet är att tillämpa de i UTSPRIDD utvecklade begreppen och analysmetoderna för att göra dessa analyser i större skala, för andra persontågstyper och andra geografiska sträckningar. Syfte är att säkerställa metodernas giltighet i det mer allmänna fallet.
- **Möjlighet till tillämpning vid Trafikverket.** Resultaten från UTSPRIDD är mycket lovande. Möjligheter till implementation hos Trafikverket bör utredas, speciellt om en utvidgad analys visar på fortsatta intressanta resultat. Man behöver undersöka frågeställningar som datatillgång, mottagarorganisation, aktörer, användningsfall, användning av resultat, förankring hos mottagare, mm.

- **Godstrafik och förseningsbidrag.** De i UTSPRIDD framtagna metoderna och modellerna är inte direkt överförbara på godstrafiken, eftersom godstågen ofta ligger före sin tidtabell och då saknar en del rapportering. Eftersom metoderna från UTSPRIDD givit så lovande resultat för persontrafiken bör det undersökas hur de kan överföras på godstrafiken med de förutsättningar som gäller för den.
- **Effektsamband Störningstid och punktlighet.** Genom metodiken i UTSPRIDD kan ett effektsamband mellan störningstid och punktlighet utvecklas. Initiala analyser gjordes i UTSPRIDD för snabbtåg på södra stambanan. Denna metodik bör utvecklas och prövas för andra typer av persontåg och beräkningar av effektsamband genomförs. Eftersom förseningskarakteristiken skiljer sig mellan olika tågtyper kommer även effektsambanden att variera, men metodiken bör vara densamma.
- **Punktlighet för förbindelser och associationer.** Dagens punktlighetsmått täcker inte att det kan vara viktigt för resenärer att förbindelser hålls och att tåg väntar in varandra. Ur ett strikt punktlighetsperspektiv kan det t.o.m. vara kontraproduktivt att tåg inväntar varandra, men ur ett resenärsperspektiv kan det vara mycket positivt att de väntar. Arbetspaketets mål är att analysera hur punktlighetsmättet kan vidareutvecklas så att förbindelser och associationer täcks in.

Begreppen och mätetalen förseningsbidrag och kritiska händelser har i rapporten visat på god potential för att stärka branschens arbete för att nå 95% punktlighet, och vi finner det av stor relevans att fortsätta utveckla metodiken i dessa banor.

9 Referenser

1. <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/Rapporter/Manatlig-trafikrapport/Transport-pa-jarnvag-i-ratt-tid/Statistik-for-punktlighet/>
2. Gummesson, M., Tillsammans för tåg i tid Resultatrapport 2019, (2019), https://trafikverket.ineko.se/Files/en-US/61192/Ineko.Product.RelatedFiles/2019_089_tillsammans_for_tag_i_tid.pdf
3. Gummesson, M., Störningstid och punktlighet för resandetåg, Trafikverket, (2018).
4. KAJT Projektkatalog 2019-03-31: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/60313/Ineko.Product.RelatedFiles/2019_079_projektkatalog_kajt_2019.pdf
5. Palmqvist, C.W. (2019) Mindre Störningar i Tågtrafiken, Slutrapport.
6. Nelldal, B.-L., Andersson, J., Fröidh, O., Utveckling av utbud och priser på järnvägslinjer i Sverige 1990-2018: Avreglering och konkurrens mellan tåg, flyg och buss samt utvecklingen av förseningarna. Rapport TRITA-ABE-RPT-1845.
7. Kristoffersson, I. Indikatorer för ökad punktlighet på järnväg: slutrapport inom projektet Nypunkt (2019)