

# Mindre Störningar i Tågtrafiken

Slutrapport den 28 februari 2019

Carl-William Palmqvist, LTH

## Sammanfattning

Denna rapport avslutar och sammanfattar forskningsprojektet Mindre Störningar i Tågtrafiken. Syftet har varit att kartlägga, kvantifiera och beskriva de mindre störningarna i tågtrafiken, det så kallade bruset, som ofta inte fångas i konventionella analyser av förseningsstatistik.

Utgångspunkten har varit stora exporter av tågrörelser ur Trafikverkets databas Lupp. Med ca 30 miljoner observationer per år finns det goda möjligheter att dra statistiskt signifikanta slutsatser.

Till dessa har vi kopplat data om väder, tidtabeller, infrastruktur, och resenärsvolym, bland annat, för att förklara hur och varför förseningarna uppstår. Vi har också gjort analyser av tågrörelserna i sig, för att se när och var störningar uppstår, hur de fördelas efter storlek, och för att studera olika typer av interaktioner mellan tågen. Särskilt fokus har varit på tidtabellsplanering, både med tekniska detaljer som placering av gångtidstillägg och dimensionering av uppehållstider, och på processen i sig, baserat på intervjuer med tidtabellsplanerare. Totalt har sju artiklar producerats och presenterats på internationella vetenskapliga konferenser, under projektets gång, varav tre publicerats i journaler.

De mindre störningarna visar sig ha stor betydelse för förseningarna i stort. Totalt utgör gångtids- och uppehållsförseningar på en, två och tre minuter hela 86 % av de förseningstimmar som genereras. Hälften utgörs av förseningar på bara en minut. Risken för förseningar är större vid uppehåll än mellan stationer, och majoriteten av förseningarna uppstår just vid uppehållen, medan nästan all återhämtning sker ute på linjen. Ungefär en fjärdedel av uppehållsförseningarna, åtminstone för pendeltåg, förklaras av resenärsmängden. Andra viktiga orsaker till förseningar är väder, där särskilt snö och extrema temperaturer har en mycket negativ inverkan, oplanerade interaktioner mellan tåg, och vissa delar av tidtabellsplaneringen.

Vad gäller tidtabellsplanering ser vi att marginaler är viktiga, men att de inte alltid behöver vara så stora. Vi ser att en i huvudsak jämn fördelning fungerar bäst, med en liten förskjutning mot andra halvan av resan. Tillägg direkt efter uppehåll är också bra, givet att de är minst en minut långa. Kortare tillägg är snarare kontraproduktivt. Vad gäller interaktioner, ser vi att de i väldigt stor utsträckning sker på ett annat sätt än vad som är angivet i tidtabellen, vilket dels tyder på

förseningar, och dels på en aktiv trafikledning. Planeringsprocessen i sig ser vi har ett antal utvecklingsområden, huvudsakligen avseende verktyg, dokumentation och systematisk uppföljning. Det finns även ett fortsatt behov att utveckla processerna mellan Trafikverket och järnvägsföretagen som söker kapacitet så att rollerna blir mer tydliga.

I våra rekommendationer tar vi upp just dessa utvecklingsområden i planeringsprocessen: verktyg, dokumentation och systematisk uppföljning. Verktygen behöver kunna stötta planerarna mer, särskilt med avseende på konflikthantering och spårplanering, och dokumentationen behöver bli både mer lättillgänglig, och mer relevant. Utvärderingen måste också bli en mer systematisk del av verksamheten, inte ett ansvar som överlämnas till den individuella planeraren utan vidare stöd. Mer tekniskt föreslår vi ett ökat fokus på uppehållstider, som varit relativt försummade, och en jämnare fördelning av marginalerna, med en ännu lite tydligare förskjutning mot resans andra halva än vad som idag är fallet. Vi förespråkar också att praktiken med negativa marginaler upphör, då den systematiskt leder till stora tapp i punktlighet och bevisligen inte fungerar. I en lite vidare bemärkelse rekommenderar vi att planering och uppföljning går över mer till en sekundnivå, snarare än att i stort sett bortse från sekunderna. Det kan leda till ökad punktlighet, kapacitet och kunskap om systemet. Slutligen understryker vi betydelsen av ökad väder- och klimatanpassning av järnvägssystemet. Det är redan mycket sårbart för extremväder och höga temperaturer, två fenomen som kommer tillta i både frekvens och allvar.

Vad gäller forskningen framöver beskriver vi kort fyra konkreta projekt som växt ut ur detta. Dels en direkt fortsättning, med mer fokus på mikrosimulering och uppföljning av tidtabellsåtgärder, dels en studie om uppehållstider i pendeltågstrafiken, dels en tillämpning av metoderna i detta projekt på godstrafik, och slutligen ett projekt som utforskar gränssnittet mellan mikro och makrosimulering, med erfarenhet och data från projektet Mindre Störningar i Tågtrafiken. Vi pekar även ut ett antal riktningar som forskningen skulle kunna fortsätta i. Upphållsförseningar, godstrafik, simulering och klimatanpassning har alla redan nämnts. Även internationella perspektiv, mer fokus på trafikledning med utgångspunkt i samma data om tågrörelser, och slutligen frågor om kultur och ledarskap i både organisationen och branschen, ser vi som intressanta och potentiellt värdefulla att utforska vidare.

Till sist har rapporten sju bilagor i form av de artiklar som producerats under projektets gång.

## **Förord**

Vi vill tacka flera personer för deras samarbete och välvilja till projektet. Alla går inte att nämna, men tack till Kenneth Håkansson, Magnus Wahlborg och Hans Dahlberg för deras engagemang och ovärderliga stöd och guidning. Tack till Lena Winslott Hiselius och Nils Olsson för utmärkt handledning. Tack till Martin Aronsson, Bo-Lennart Nelldal, Britt-Marie Olsson, Magnus Andersson, Elisabet Spross, Per Konrad och Bengt Holmberg för deras arbete i referensgruppen. Tack till Anders F. Nilsson för alla exporter av data, utan vilken projektet varit omöjligt. Tack till Martin Joborn för stödet inom KAJT. Tack till Norio Tomii för värdskap. Tack till Irene, för allt.

# Innehållsförteckning

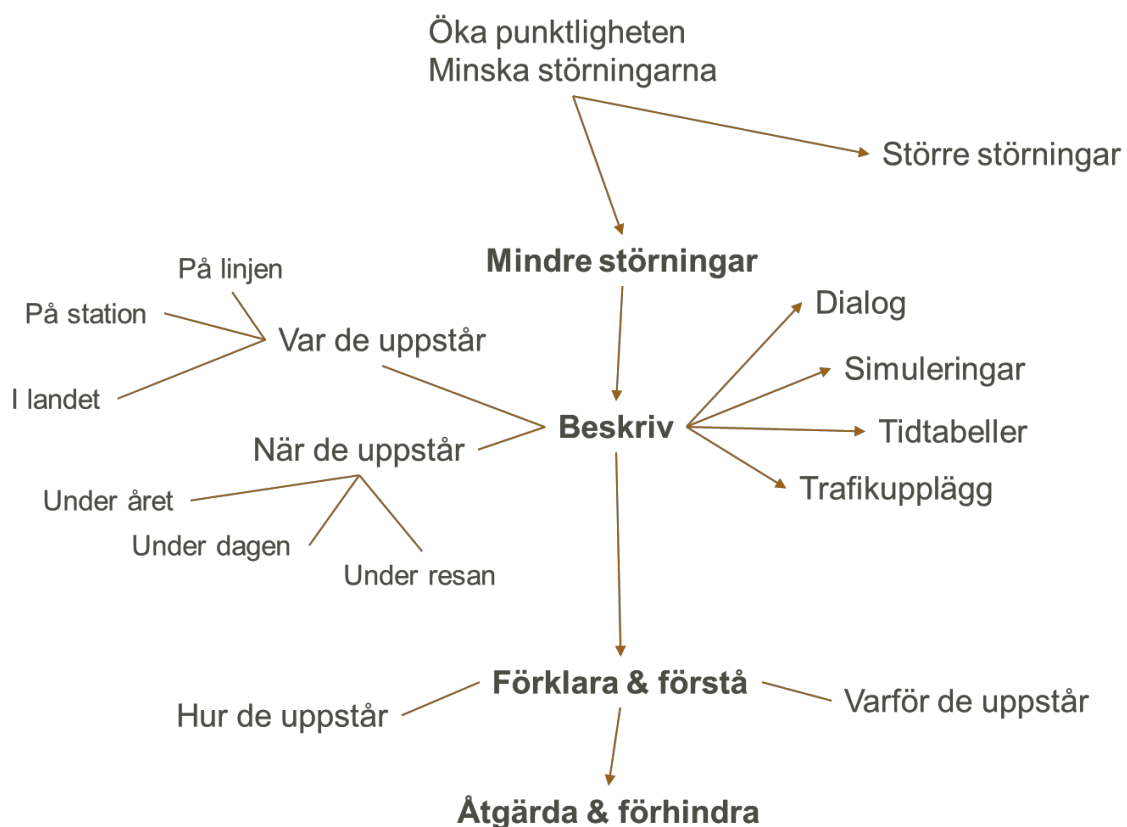
Sammanfattning .....	1
Förord .....	3
Innehållsförteckning .....	4
1 Introduktion .....	6
2 Vetenskaplig produktion .....	8
2.1 Referensgruppsmöten .....	8
2.2 Nationella konferenser .....	8
2.3 Internationella konferenser och tidskrifter .....	9
3 Slutsatser .....	10
3.1 Om förseningar .....	10
3.1.1 Var förseningar uppstår .....	10
3.1.2 När förseningar uppstår .....	15
3.1.3 Varför förseningar uppstår .....	17
3.1.4 Förseningars storlek .....	18
3.2 Tidtabellsplanering .....	19
3.2.1 Marginaler och deras storlek .....	19
3.2.2 Marginalernas placering .....	19
3.2.3 Uppehållstider .....	20
3.2.4 Interaktioner .....	21
3.2.5 Planeringsprocessen .....	22
4 Rekommendationer .....	23
4.1 Tidtabellstekniska rekommendationer .....	23
4.1.1 Mer fokus på uppehållstider .....	23
4.1.2 Tilldelning av gångtidsmarginaler .....	24

4.1.3	Inga negativa gångtidsmarginaler .....	25
4.2	Processorienterade rekommendationer .....	26
4.2.1	Systematisk uppföljning.....	26
4.2.2	Bättre dokumentation .....	26
4.2.3	Bättre verktyg .....	27
4.3	Övriga rekommendationer.....	27
4.3.1	Planera på sekundnivå.....	27
4.3.2	Klimat- och väderanpassning.....	28
5	Fortsatt forskning .....	29
5.1	Fyra områden med behov för mer forskning.....	29
5.2	Tre projekt i planeringsfasen.....	30
5.3	Fyra påbörjade projekt .....	32
	Bilagor .....	34

# 1 Introduktion

Punktligheten i den svenska tågtrafiken är för låg. Branschen har satt målet att 95 % av alla tåg ska vara punktliga vid 2020, en nivå som endast i dagsläget endast uppnås tillfälligtvis för persontåg på korta distanser och är mycket avlägsen för tåg på långa distanser. Som det brukar mätas är gapet mot målet ungefär fem procentenheter stort, och har varit så under lång tid.

En stor del av problemet beror på små störningar. Hälften av alla förseningstimmar kommer från störningar på bara en minut, hela 83 % av dem upp till och med tre minuter, och 90 % vid sex minuter. Dessa små och frekventa störningar samlas upp under resor och leder ofta till större förseningar vid ankomst till uppehåll, och till opunktlighet. På grund av sin ringa storlek får de dock sällan uppmärksamhet i vare sig forskning eller praktiken, och brukar mest benämnas som ett brus i systemet. Ett brus som detta projekt är avsett att studera närmare.



Figur 1 Syfte med och överblick över projektet Mindre Störningar i Tågtrafiken

Vi tar i detta projekt ett empiriskt och kvantitativt angreppssätt. Materialet vi nyttjat bygger i stor del på omfattande exporter ur Trafikverkets databas Lupp, som samlar data över planerade och genomförda tågrörelser. På ett år sker och registreras omkring 30 miljoner sådana rörelser, som går att analysera. Detta material har varit projektets utgångspunkt, och huvudsakliga källa. I början hade vi endast tillgång till 2015 års tågplan för ett enskilt stråk, Skånebanan. I projektets slutskede har vi däremot tillgång till hela det nationella nätet för åren 2011 till och med 2017.

Till detta har vi under arbetets gång kopplat andra datakällor, som väderdata från SMHI, detaljerade tidtabellsdata ur Trainplan, och infrastrukturdata ur Bis, med mera. Vi har även fått tillgång till omfattande data över tågrörelser i Norge och Japan, och är på väg att få det även från Danmark. En avvikelse i metoden skedde i en intervjustudie, som så småningom ledde fram till Artikel 4. Där genomfördes istället intervjuer med tidtabellsplanerare, och materialet analyserades sedan vidare i en mer kvalitativ metod. Mer utförliga metodbeskrivningar finns i respektive artikel eller sektion av rapporten.

Syftet med projektet har varit att beskriva de mindre störningarna i persontågstrafiken, samt att förklara och förstå dem för att slutligen ge rekommendationer över hur de kan åtgärdas och förhindras, se Figur 1. Rena beskrivningar av var och när störningarna uppstår är användbara i dialogen mellan olika järnvägsaktörer, för simulering av trafik, planering av tidtabeller, och justering av trafikupplägg. Djupare analyser för att förklara och förstå störningarna krävs däremot för att kunna åtgärda och förhindra problemen framöver.

Denna rapport avslutar projektet och samlar de konferensbidrag och journalartiklar som producerats. Den redogör för både slutsatser och rekommendationer avseende förseningar och tidtabellskonstruktion, för att slutligen diskutera uppslag för fortsatt forskning.

## **2 Vetenskaplig produktion**

Inom projektet har vi arbetat aktivt med att kommunicera och sprida forskningen. Detta har skett genom referensgruppsmöten, på nationella och internationella konferenser, samt genom vetenskapliga journalpublikationer. Utöver dessa har ett inslag i säsnt i programmet Vetenskapens Värld, på Sveriges Radio P1.

### **2.1 Referensgruppsmöten**

Under projektet har sex stycken referensgruppsmöten hållits, med representanter ur branschen. Möten har alternerat mellan Solna och Malmö eller Lund, och skett vid följande datum: 18 april 2016, 30 november 2016, 8 maj 2017, 21 november 2017, 23 maj 2018, 14 november 2018.

Följande organisationer och personer har deltagit i mötena:

- KTH: Bo-Lennart Nelldal
- LTH: Bengt Holmberg, Lena Hiselius, Nils Olsson, Carl-William Palmqvist
- RISE SICS: Martin Aronsson
- SJ: Britt-Marie Olsson
- Skånetrafiken: Magnus Andersson
- Trafikverket: Kenneth Håkansson, Magnus Wahlborg, Elisabet Spross, Per Konrad

### **2.2 Nationella konferenser**

Forskningen har presenterats vid totalt tolv nationella konferenser, utan peer-review:

- K2 Konferens i Stockholm 5/10/2016.
- KAJT Höstseminarium i Stockholm: 15/11/2016 & 22/11/2018.
- KAJT-dagarna i Borlänge: 26-28/4/2016, 25-27/4/2017 & 16-17/4/2018.
- Nationell Transportkonferens i: Lund 18-20/10/2016, Stockholm 17–18/10/ 2017.
- Nordic Seminar on Railway Technology i Luleå: 14-16/6/2016.
- Persontrafik i Älvsjö: 22-23/10/2018.
- Transportforum i Linköping: 10-11/1/2017 & 10-11/1/2018



## 2.3 Internationella konferenser och tidskrifter

Bidrag har även presenterats vid sju internationella vetenskapliga konferenser. Artikel 1, 3 och 5 har dessutom publicerats i vetenskapliga journaler. Samtliga artiklar finns som bilagor till denna rapport.

Artikel 1. COMPRAIL, 19–21 juli 2016, Madrid. “Delays for passenger trains on a regional railway line in southern Sweden.” Publicerad i *International Journal of Transport Development and Integration*.

Artikel 2. RailLille, 3–7 april 2017, Lille. ”An Empirical Study of Timetable Strategies and Their Effects on Punctuality.”

Artikel 3. PHM, 1–6 oktober 2017, St. Petersburg, FL. “Some Influencing Factors for Passenger Train Punctuality in Sweden.” Publicerad i *International Journal of Prognostics and Health Management*.

Artikel 4. EWGT, 4–7 september 2017, Budapest. “Punctuality problems from the perspective of timetable planners in Sweden.”

Artikel 5. “The Planner’s Perspective on Train Timetable Errors in Sweden.” Publicerad i *Journal of Advanced Transportation*. Omarbetad version av Artikel 4.

Artikel 6. WCTR, 27–31 maj 2019, Mumbai. “Overtakes and dwell time delays for Japanese commuter trains.” Accepterat bidrag, med rekommendation för publikation.

Artikel 7. RailNorrköping, 17–21 juni 2019, Norrköping. ”Dwell Time Delays for Commuter Trains in Stockholm and Tokyo.” Granskning pågår.

ETC, 9-13 oktober 2018, Dublin. “A Comparative Study of Railway Planning, Operations and Delays in Japan and Sweden.” Enbart abstract.

### **3 Slutsatser**

Baserat på forskningen i projektet kan vi dra ett antal slutsatser om både förseningar och tidtabellsplanering. Vi ger omfattande beskrivningar över hur risken för förseningar ser ut både på och mellan station, och längs de olika stråken. Hur de varierar över årets månader, dygnets timmar, och längs resan diskuteras också, liksom upptäckter angående förseningsorsaker som väder, resenärsutbyte, interaktioner mellan tåg och förbättringspotential i tidtabellsplaneringen. Slutsatser kring tidtabellsplanering berör marginaler och deras storlek och placering, uppehållstider, interaktioner mellan tåg, och slutligen själva planeringsprocessen.

#### **3.1 Om förseningar**

Under projektet har vi byggt upp en omfattande databas och publicerat flera artiklar om tågförseningar. Denna sektion delar vi därför upp i tre delar som beskriver: (1) var, (2) när, (3) varför förseningar uppstår, och (4) förseningarnas storlek. En del av resultaten är redan publicerade, och då hänvisar vi i beskrivningarna till relevanta artiklar. Andra delar av beskrivningarna bygger på nya och opublicerade analyser av den databas som byggts upp. Dessa siffror bygger på omkring 150 miljoner observationer av svenska persontåg, under åren 2011–2017. Även om resultaten inte är publicerade, kan de alltså ses som tämligen robusta.

##### **3.1.1 Var förseningar uppstår**

Många förseningar uppstår på stationer där tågen gör uppehåll. Förseningar vid passage av en station är mycket ovanliga, även om de kan förekomma, men vid uppehållen är risken mycket stor för förseningar. Detta såg vi redan i Artikel 1, och undersöker närmare i både Artikel 6 och 7. Tabell 1 visar en färsk sammanställning av statistiken. Bara 22 % av uppehållen klaras på den avsatta tiden, 50 % försenas med en minut, 21 % mer än en minut, medan bara 6 % tar kortare tid än planerat. Vi ser också att volymen av förseningar som sker på uppehållen är hela nio gånger större än återhämtningen, om vi räknar med både små och stora förseningar. Det resulterar i att det förväntade resultatet av att ett tåg gör ett uppehåll är att det fördröjs med i snitt 86 sekunder.

Siffrorna för de minsta förseningar är särredovisade för att systemet för närvarande bara sparar minuttalen, och kastar bort information om sekundtalen, vilket kan leda till vissa feluppskattningar av aktivitetstider och att en del av som går planenligt felaktigt registreras som en försening. Dessa får vi därför vara lite försiktiga med, i avvaktan på att uppgifter på sekundnivå ska tillgängliggöras.

Med tanke på hur stor del av tiderna som befinner sig i detta spann är det angeläget att sådan information produceras.

På linjen sker det också förseningar. Tabell 1 presenterar även översiktlig statistik över gångtidsförseningar. Här är andelen som håller tiden ungefär dubbelt så hög, 39 %, och andelen med mycket små förseningar betydligt mindre, 13 %. Risken för försening är mycket lägre, 3 %, och återhämtning är betydligt vanligare, 71 %. I snitt innebär detta att tåg tar igen omkring 17 sekunder per delsträcka. En snabb överslagsräkning visar då att det behövs i genomsnitt fem delsträckor per uppehåll, för att återhämtningen ska neutralisera förseningarna. Tyvärr visar våra siffror på att det i verkligheten på fem delsträckor bara går drygt två uppehåll.

*Tabell 1. De två övre sektionerna beskriver sannolikheterna för att uppehåll respektive gångtid ska klaras av i tid, med en minuts försening, större försening än så, eller att tåget snarare ska återhämta tid. Värdena i Volym anger andelen av de totala avvikelserna gentemot tidtabell. Medelvärden i sekunder presenteras också för dessa scenarion. Den sista sektionen visar den inbördes fördelningen mellan uppehålls- och gångtidsavvikelser. För att procentsatserna avseende Volym ska summera till 100 % har vi räknat med absolutvärdet av återhämtningen när alla avvikelser från tidtabellen har summerats. Det ska alltså tolkas som positivt att det finns 186 442 h störningstimmar i återhämtningskolumnen, då dessa hjälper till att kompensera för de totalt 193 186 förseningstimmar (95 664 h bestående av förseningar på en minut, plus 97 554 h bestående av större förseningar), och nettot av förseningstimmar som inte återhämtas är alltså 6 744 per år. Ett ännu bättre scenario hade varit där både volymen förseningar och återhämtning varit mindre, så att trafiken följde tidtabellen i högre utsträckning.*

Mått	I tid	+1 minut	Större försening	Återhämtning	Sammanlagt
<b>Upphållsförseningar</b>					
Sannolikhet	22 %	50 %	21 %	6 %	100 %
Volym		43 %	47 %	10 %	100 %
Medelvärde (s)		60 s	155 s	116 s	86 s
<b>Gångtidsförseningar</b>					
Sannolikhet	39 %	13 %	3 %	45 %	100 %
Volym		15 %	14 %	71 %	100 %
Medelvärde (s)		60 s	206 s	78 s	-17 s
<b>Inbördes fördelning</b>					
Årliga störningstimmar		95 664 h	97 522 h	186 442 h	379 628 h (6 744 h netto)
Del på uppehållstid		15 %	17 %	4 %	36 %
Del på gångtid		10 %	9 %	45 %	64 %
Summa av delar		25 %	26 %	49 %	100 %

Fördelningen mellan uppehålls- och gångtidförseningar går att studera vidare. Ser vi till det genomsnittliga antalet störningstimmar, mätt som avvikelse från tidtabell, är det ungefär 380 000 timmar per år. Tabell 1 visar hur dessa timmar fördelas på uppehålls- och gångtid, och på försening kontra återhämtning. Än en gång särredovisar vi de minsta förseningarna, då en del av dessa kan ifrågasättas. Totalt ser vi att återhämtningen nästan, men inte riktigt, lyckas kompensera för de förseningar som uppstår: balansen mellan förseningar och återhämtning är 51:49, snarare än de 50:50 som hade behövts, och nettot är i snitt 6 744 förseningstimmar per år.

Vi ser också att en majoritet av förseningstimmarna uppstår på uppehåll, närmare två tredjedelar. Den absoluta merparten av återhämtningen sker däremot ute på linjen. Slutligen ser vi att det inte går att avskriva de minsta förseningarna, på bara en minut. Hade dessa bara varit en pappersprodukt istället för ett verkligt problem, hade återhämtningen räckt till mer än väl för att kompensera för alla förseningar som uppstår, och trafiken hade i snitt kommit fram före tidtabellen, snarare än att försenas. Så är dock inte fallet, och även de små förseningarna är till stor del faktiska förseningar som orsakar reella problem.

Förseningar och punktlighet varierar mellan nätverkets olika stråk. Denna variation illustreras i Tabell 2 nedan, som täcker de flesta stråken och avser persontrafik under åren 2011–2017. Vissa perifera stråk har exkluderats, där det inte skett några uppehåll. I tabellen avser *punktlighet* ankomst till planerat uppehåll, ej enbart slutstation, och kolumnen *andel av trafik* beskriver stråkets andel av alla tågrörelser. *Andel av opunktlighet* visar hur mycket stråket bidrar till den totala opunktligheten, sett som antalet tåg som inte är punktliga enligt definitionen ovan, och kan jämföras med *andel av trafik*, för att se om den står i proportion till trafiken, eller är över- eller underrepresenterad i statistiken. Detsamma gäller *andel av förseningar*, som här för enkelhets skull inkluderar både uppehålls- och gångtidförseningar.

Vi ser i Tabell 2 att både trafikmängd och punktlighet varierar kraftigt mellan stråken. Genom att jämföra kolumnerna i tabellen kan vi se både var bidraget till förseningar och opunktlighet är som störst, vilket är på stråk 1, 2 och 5, där trafiken också är som störst. Vi kan även se var problemen är oproportionerligt stora, jämfört med trafikmängden. Vad gäller punktlighet, som vi i tabellen räknat på alla planerade uppehåll för tåg som faktiskt anlant, ser vi en kraftig överrepresentation på stråk 19 och 22, båda dominerade av Stockholms pendeltågssystem. Dessa har också oproportionerligt mycket uppehållsförseningar, siffror som dock inte fick plats i tabellen.

Bland förseningarna i stort, i betydelsen förseningstimmar, sticker stråk 2, 24 och 13 ut som överrepresenterade, alla med väsentliga delar i Skåne.

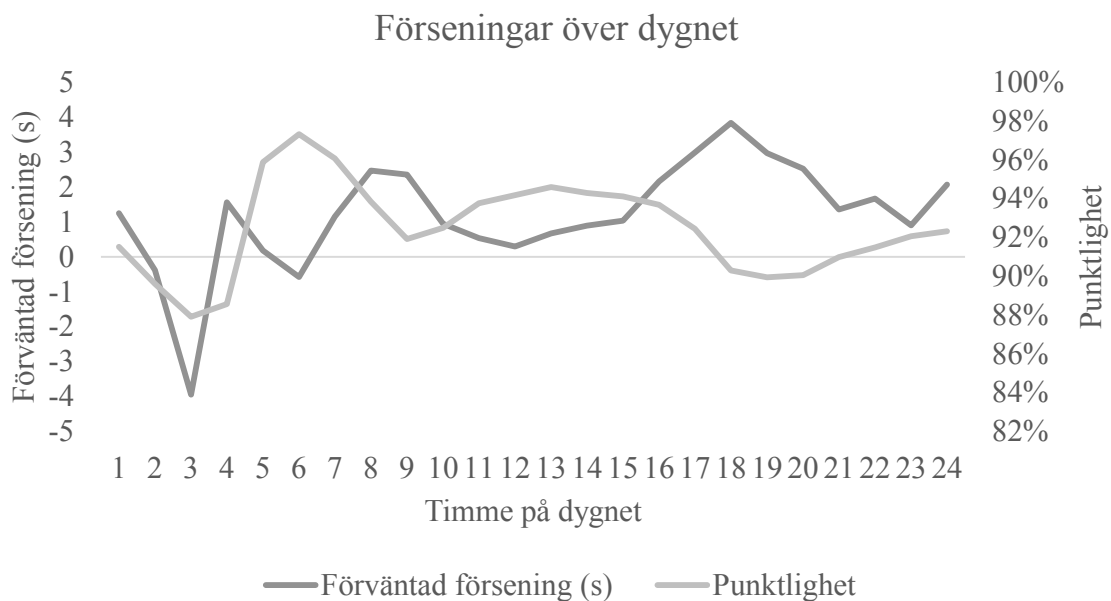
*Tabell 2. Fördelning av trafik, opunktlighet och förseningar över det nationella nätverkets stråk. Siffrorna bygger på persontrafiken under åren 2011–2017, och innehåller alltså inte gods- eller tjänstetåg. Punktlighet definieras här som ankomst till planerat uppehåll (inte enbart slutstation) med mindre än sex minuters försening, och bortser från inställda tåg.*

	Stråk	Punktlighet	Trafik	Andel av	
				Opunktlighet	Försening
1	Västra Stambanan	92,7%	15,6%	11,7%	15,4%
2	Södra Stambanan	90,1%	13,9%	8,8%	15,2%
3	Västkustbanan	94,4%	6,8%	8,1%	7,1%
4	Kust till kustbanan	90,7%	1,9%	2,4%	2,6%
5	Ostkustbanan	95,0%	13,6%	11,2%	10,8%
6	Dalabanan	91,1%	1,0%	1,1%	1,3%
7	Stambanan genom Övre Norrland	73,5%	1,1%	0,5%	1,8%
8	Norra Stambanan	88,8%	1,1%	0,7%	1,5%
9	Godsstråket genom Bergslagen	90,5%	1,6%	1,9%	2,0%
10	Bergslagsbanan	86,7%	1,4%	1,3%	2,2%
11	Norge/Vänerbanan med Nordlänken	94,1%	2,6%	2,5%	2,6%
12	Värmlandsbanan	86,0%	1,5%	1,4%	1,8%
13	Skånebanan	92,7%	2,2%	2,6%	3,3%
14	Jönköpingsbanan	95,2%	1,0%	1,8%	1,4%
15	Älvsborgsbanan	92,9%	0,8%	1,3%	0,6%
16	Mälarbanan	94,1%	4,1%	4,6%	3,9%
17	Svealandsbanan	89,7%	0,8%	0,6%	1,0%
18	(Sala) - Oxelösund	90,8%	0,6%	0,5%	0,8%
19	Nynäsbanan	96,0%	2,5%	5,7%	2,0%
20	Mittbanan	89,0%	1,0%	1,1%	1,2%
21	Malmbanan	72,6%	0,7%	0,3%	1,1%
22	Stockholms närområde	94,2%	6,0%	8,8%	5,1%
23	Göteborgs närområde	92,6%	3,0%	2,3%	2,1%
24	Malmö närområde	91,2%	3,2%	4,2%	4,4%
26	Godsstråket genom Skåne	94,5%	0,2%	0,3%	0,2%
27	Stockholm övrig	89,5%	0,1%	0,0%	0,0%
28	Botniabanan	88,7%	1,0%	0,4%	1,0%
30	Arlanda banan	95,3%	2,1%	1,6%	1,6%
31	Ådalsbanan	85,4%	0,6%	0,3%	0,8%
32	Rååbanan	92,0%	0,3%	0,7%	0,4%

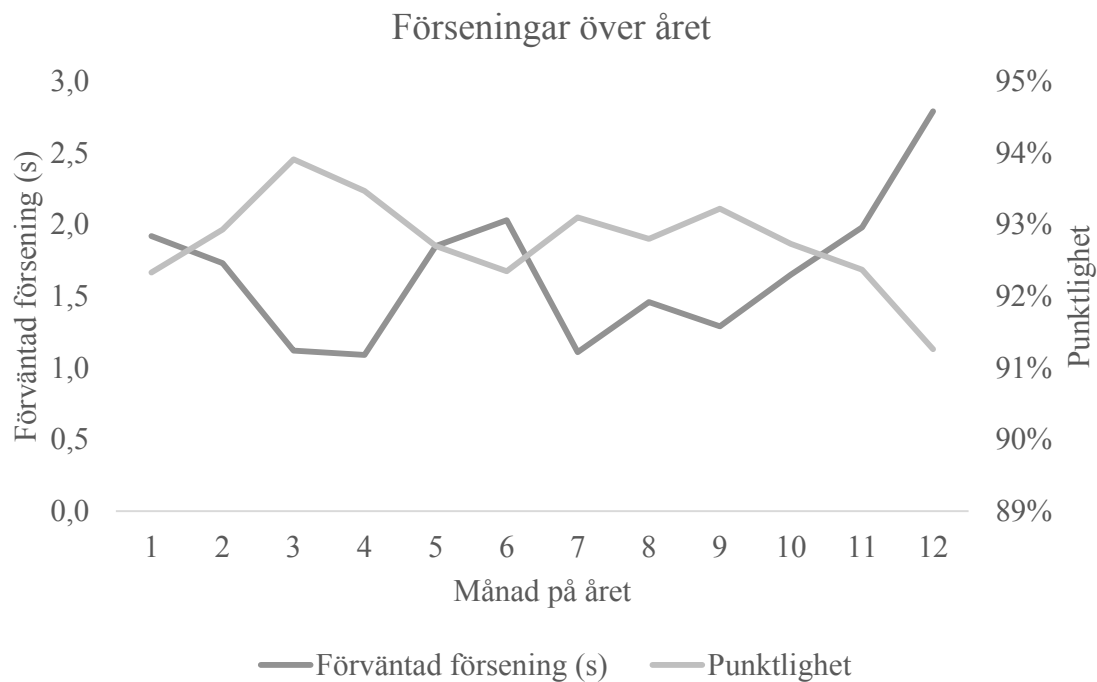
Stråk	Punktlighet	Trafik	Andel av	
			Opunktlighet	Försening
33 Markarydsbanan	96,8%	0,1%	0,2%	0,1%
42 Pitebanan	71,4%	0,0%	0,0%	0,0%
43 (Umeå) - Holmsund	87,5%	0,1%	0,2%	0,1%
44 (Hällnäs) - (Storuman)	86,9%	0,1%	0,0%	0,0%
47 (Mellansel) - (Örnsköldsvik C)	31,3%	0,0%	0,0%	0,0%
53 Västerdalsbanan	84,5%	0,0%	0,0%	0,0%
55 Hargshamnsbanan	73,3%	0,0%	0,0%	0,0%
59 (Södertälje H) -Södertälje C	96,1%	0,3%	0,6%	0,1%
61 (Ängelsberg) - (Snyten)-Kärrgruvan	83,1%	0,0%	0,0%	0,0%
63 Bergslagspendeln	92,4%	0,5%	0,9%	0,5%
65 Stångådalsbanan	90,9%	0,7%	0,6%	0,2%
66 Tjustbanan	94,7%	0,4%	0,3%	0,2%
69 (Kristinehamn) - (Nykroppa), (Daglösen) - Persberg	79,4%	0,0%	0,0%	0,0%
70 Fryksdalsbanan	93,4%	0,4%	0,6%	0,0%
73 Bohusbanan	90,5%	0,7%	1,4%	0,7%
75 Kinnekullbanan	94,4%	0,5%	0,9%	0,0%
77 Viskadalsbanan	92,8%	0,4%	0,6%	0,1%
80 (Nässjö) - (Hultsfred)	98,4%	0,2%	0,2%	0,0%
83 (Jönköping gbg) - (Vaggeryd)	95,8%	0,2%	0,3%	0,0%
84 (Nässjö) - (Halmstad), Torup - Hyltebruk	94,8%	0,5%	0,8%	0,1%
88 Blekingekustbanan	90,8%	0,8%	1,0%	1,5%
90 Ystadbanan	93,9%	1,6%	2,6%	1,4%
98 Öresundsförbindelsen	87,8%	0,3%	0,3%	0,1%
99 Inlandsbanan	84,0%	0,1%	0,1%	0,0%

### 3.1.2 När förseningar uppstår

Risken för förseningar varierar över dygnet. En illustration av detta syns i Figur 1, där den förväntade förseningen och punktligheten har ritats gentemot dygnets 24 timmar. Begreppet förväntad försening väger samman sannolikheten att tåget ska försenas respektive återhämta tid, med den genomsnittliga storleken på försening respektive återhämtning. Här har vi för enkelhetens skull lagt ihop gångtids- och uppehållsförseningar, och återhämtning på den ena kan därför kompensera något för försening på den andra. Punktlighet definieras här som ankomst till planerat uppehåll (inte enbart slutstation) med mindre än sex minuters försening, och bortser från inställda tåg. Figuren visar ökade förseningar och lägre punktlighet både på morgonen, ca kl 8-10, och på eftermiddagen, ca kl 16-21. Frånsett låg punktlighet kl 3-4 på morgonen är problemen värst under kvällsrusningen, särskilt kl 18-19. Bäst går trafiken omkring kl 6 på morgonen, där den är hela nio procentenheter högre än kl 3, bara tre timmar tidigare. Den förväntade förseningen är oftast låg, skiftningarna över dygnet är inom spannet -4 till +4 sekunder, men det finns många tåg som i sin tur gör många rörelser under sina resor, så totalt sett blir förseningarna märkbara. Kopplingen till punktlighet syns också tydligt i figuren.



Figur 2. Relativ risk för förseningar över dygnets 24 timmar. Siffrorna bygger på 150 miljoner observationer av svenska persontåg från 2011–2017, och väger samman sannolikheten att drabbas av en försening med dess genomsnittliga storlek, och motsvarande för återhämtning av förseningstid. Punktlighet definieras här som ankomst till planerat uppehåll (inte enbart slutstation) med mindre än sex minuters försening, och bortser från inställda tåg.



Figur 3. Spridning av förväntad försening och punktlighet över årets 12 månader. Siffrorna bygger på 150 miljoner observationer av svenska persontåg från 2011–2017, och väger samman sannolikheten att drabbas av en försening med dess genomsnittliga storlek, och motsvarande för återhämtning av förseningstid. Punktlighet definieras här som ankomst till planerat uppehåll (inte enbart slutstation) med mindre än sex minuters försening, och bortser från inställda tåg.

Förseningarna varierar även över årets månader, dock i mindre utsträckning. Beräkningar likt dem beskrivna ovan, för variationen över dygnet, har upprepats för årets månader och illustreras i Figur 2. Där syns tydligt att variationerna är mer måttliga. Störst är problemen i december, där punktligheten är tre procentenheter lägre än toppen i mars. Skillnaderna i förväntad försening förefaller små, med enstaka sekunder, men i figuren ser vi att sambandet med punktligheten är mycket tydligt, och korrelationskoefficienten är hela -0.95.

När vi studerar hur förseningar fördelas under resan, finner vi en tämligen jämn spridning. Förseningar på linjen, mellan stationer, sker i snitt lite mer under den första halvan av resan, medan de på stationerna är lite vanligare på den andra halvan. På en skala där 0 innebär att allt sker i början, och 100 i slutet, är värdena i snitt 47 respektive 54. Eftersom förseningar är vanligare på än mellan stationer, hamnar det totala snittet på 52, vilket är nära en helt jämn fördelning. Så även om det finns en tendens till att förseningar växer under resan, är det en mycket svag tendens. Risken för förseningar är alltså i princip lika stor längs hela resan.



### 3.1.3 Varför förseningar uppstår

Under projektet har vi undersökt ett antal faktorer som kan orsaka förseningar, i huvudsak de följande: väder, resenärer, interaktioner och tidtabellsplanering.

Det finns flera väderfenomen som kan orsaka förseningar. I både Artikel 1 och 3 har vi undersökt temperatur, nederbörd, vindhastighet och snödjup, och funnit att de alla bidrar i olika grad. Medan den första artikeln var en pilotstudie baserad på Skånebanan täcker Artikel 3 hela det nationella nätverket över ett år, och presenterar skattningar för alla fyra variabelers effekt. Störst effekt på punktligheten har temperaturen. Både höga och låga temperaturer är förknippade med stora problem för trafikeringen, och vi har identifierat exponentiella samband mellan hur mer extrema temperaturer leder till allt större punktlighetsfall. I ytterligheterna, med temperaturer på plus eller minus trettio, kan punktligheten falla med 50 procentenheter eller mer, och trafiken nästan helt kollapsa.

Snö har också en tydlig effekt på punktligheten. Redan vid så lite som fem centimeter snö var den i genomsnitt 17,5 procentenheter lägre än normalt. Förhållandet är däremot logaritmiskt, så även om mer snö leder till mer problem, så avtar takten. När det gäller vind så tilltar förseningarna med styrkan: vid tio sekundmeter är punktligheten två procentenheter lägre än normalt, och när vi närmar oss storm vid 23 m/s är motsvarande tapp nio procentenheter. Slutligen ser vi att ju mer nederbörd ett tåg passerar, desto sämre blir punktligheten. Här är siffrorna däremot mer blygsamma, och det rör sig om någon eller några procentenheters skillnad. Sammanfattningsvis kan vädret orsaka påtagliga förseningar, och problemen börjar ofta synas vid tämligen normala förhållanden.

Resenärerna bidrar till en del förseningar vid stationsuppehåll. Artikel 7 handlar om just detta, och där finner vi att resenärdata kan förklara ungefär en fjärdedel av variationen i pendeltågens uppehållsförseningar, både i Stockholm och Tokyo. Då de flesta förseningar sker vid uppehållen, är detta en stor pusselbit för att förklara förseningarna totalt sett. Tyvärr är det ofta svårt att få tag i data om resenärsvolymer, men det är viktigt för att kunna anpassa uppehållstiderna på ett bra sätt, och undvika förseningar.

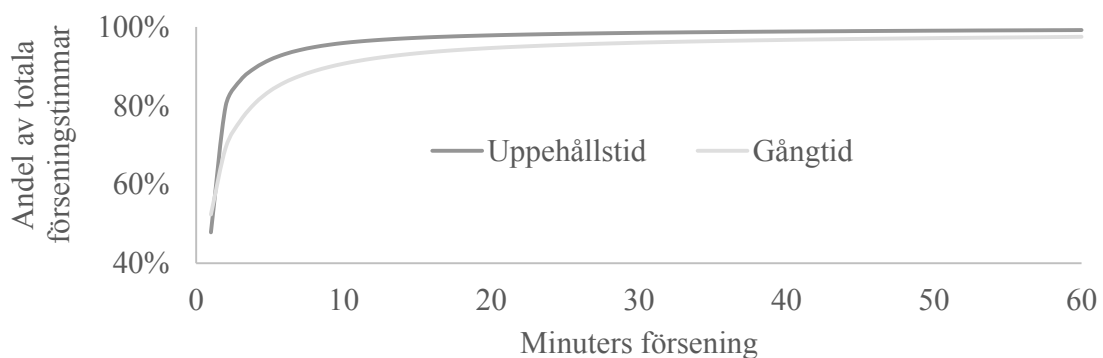
Interaktioner mellan tåg är en annan orsak till förseningar. Både på enkel- och dubbelspår måste tåg interagera med varandra på olika sätt, i huvudsak för att mötas eller passera varandra, och detta kan leda till förseningar. I Artikel 2 och 3 fann vi att varje interaktion mellan tåg på stationer ledde till att punktligheten för tågen föll med ungefär en procentenhet, och på linjen med tre-fyra procentenheter. I Artikel 6 studerade vi interaktionerna närmare, genom att titta på detaljerade data

från ett japanskt järnvägsföretag, och fann där att bara omkring sju procent av alla omkörningar skedde enligt plan, trots att deras trafik håller en punktlighet på 98%. Det är alltså relativt få interaktioner som sker enligt plan, och desto fler som sker oplanerat. Detta bidrar en del till förseningarna.

Det finns också en möjlighet att utveckla tidtabellsplaneringen, för att minska mängden förseningar. Som vi nyss nämnt så kan uppehållstider och interaktioner bidra till förseningar. I Artikel 4 och 5 ser vi även att om planeringen leder till korsande tågvägar, eller till en felaktig spårallokering, så kan även detta bidra till förseningar. Vi har också sett exempel på negativa marginaler, som gör att gångtiderna blir för korta, och hur detta sänker punktligheten med två till fyra procentenheter. Om tidtabellen är mer realistisk till att börja med, kan förseningarna minska.

### 3.1.4 Förseningars storlek

Fokus för detta projekt är, som märks redan i titeln, på mindre störningar. En anledning till detta är att de små, snarare än de stora, utgör de stora volymerna, i och med att de är så många fler. Detta illustreras tydligt i Figur 4, som visar hur de allra minsta förseningarna står för den absoluta merparten av de totala förseningstimmarna, både avseende gång- och uppehållstid. För den senare, består hela 80 % av den totala störningstiden av förseningar på max två minuter, 90 % vid fyra minuter, och 95 % vid åtta minuter. För gångtidförseningar är kurvan något flackare, 80 % nås vid fyra minuter, 90 % vid nio, och 95 % vid 20 minuter. Totalt sett står förseningar på max tre minuter för 83 % av förseningstimmarna, fem minuter för 89 %, 95 % nås vid tolv minuter. Små förseningar, mindre störningar, är alltså oerhört viktiga för förseningarna i stort.



Figur 4. Andel av förseningstimmarna per förseningsstorlek. Notera den branta lutningen i början, som antyder att små störningar utgör merparten av de totala förseningstimmarna.

## **3.2 Tidtabellsplanering**

Vad gäller tidtabellsplanering har vi resultat och slutsatser på i huvudsak fyra områden: marginaler, uppehållstider, interaktioner och kapacitetstilldelningsprocessen. Dessa beskrivs i tur och ordning nedan.

### **3.2.1 Marginaler och deras storlek**

Vi finner att marginaler, i betydelsen gångtidsmarginaler, har en tydlig påverkan på punktligheten. Publicerade resultat kring gångtidsmarginaler återfinns i Artikel 1–3, samtliga återfinns som bilagor till denna rapport. I huvudsak är det viktigt att det finns marginaler, annars ökar risken för förseningar dramatiskt, och punktligheten sjunker. Det finns också utrymme för finjustering, i flera fall ser vi att till synes små förändringar kan få stora effekter.

Marginalernas storlek visar sig vara mindre betydelsefull. I Artikel 1 fann vi att en nivå på runt 10% av gångtiden var mest effektiv, då minskade risken för förseningar tydligt, medan högre nivåer var tämligen ineffektiva. I Artikel 2 uppskattade vi att tio ytterligare procentenheter av marginaler ökar punktligheten med ungefär 1,2 procentenheter. I Artikel 3 såg vi att punktligheten var högst när tilläggen låg på omkring 25–30 % av den beräknade gångtiden, och att högre nivåer inte var associerade med bättre punktlighet. Generellt ser vi också att marginalerna i Sverige är betydligt högre än vad som brukar diskuteras både internt, och i den internationella litteraturen. Där är nivåer kring 3–7 %, kanske 10 %, vanligt förekommande.

Vad vi ser är istället att snabbtågen har nivåer runt 10–15 %, regionalståg runt 20 % och lokaltåg ca 25 %. Även om det finns variationer inom alla kategorier så är den generella nivån betydligt högre än vad som verkar vara den gängse uppfattningen. För att sammanfatta ser vi att nivåer runt 10 % är mest effektiva, där hämtas de stora vinsterna in, och att nyttan avtar på högre nivåer. Detta betyder att marginalerna på svenska tåg generellt är tillräckligt stora, och att man i många fall skulle kunna minska dem något utan större konsekvenser för punktligheten.

### **3.2.2 Marginalernas placering**

Hur marginalerna placeras kan däremot spela stor roll. Generellt är det som sagt viktigt att det finns marginaler: i Artikel 1 såg vi att detta inte bara gäller för resan som helhet, utan även delsträcka för delsträcka. Annars ökar risken för förseningar dramatiskt. I Artikel 2 och 3 studerade vi även ett mått som kallas Weighted Average Distance, WAD, och beskriver var marginalernas tyngdpunkt ligger, längs hela resan. Ett värde nära noll innebär att merparten av dem ligger i början,

och ett värde runt ett innebär att marginalerna koncentrerats i slutet. Studierna visar att vi i Sverige når bäst punktlighet när detta mått ligger omkring 0,6–0,7. Då är tyngdpunkten nära mitten, men lite mer mot slutet. Våra beräkningar tyder på att snittet i Sverige är runt 0.56, även om det varierar från tåg till tåg. Genom att justera det ytterligare lite borde den totala punktligheten kunna ökas med någon tiondels procentenhet. För att sammanfatta bör det alltså finnas lite marginaler överallt, och deras tyngdpunkt bör förskjutas ytterligare lite grann mot resans andra halva.

En ytterligare dimension är att placera marginaler direkt efter uppehåll. Detta för att uppehåll är kända för att orsaka förseningar, som då kan återhämtas med hjälp av det strategiskt placerade tillägget. I Artikel 2 ser vi att denna strategi kan fungera om tilläggen är tillräckligt stora, minst en minut per uppehåll, medan mindre tillägg snarare förvärrar förseningarna. Kanske för att planeraren då tillåter en otillräcklig uppehållstid, men missbedömer tiden som behövs för att kompensera den, eller för att föraren överskattar hur mycket marginal som finns efter uppehållet. Problemen avtar om uppehållstiden är tillräckligt stor till att börja med, utan att behöva kompenseras med gångtidstillägg, och då ökar punktligheten med omkring tre procentenheter. Resultatet är ännu lite bättre om compensationen är tillräckligt stor, och med ett tillägg på minst en minut direkt efter uppehållet så ökar punktligheten i snitt med en procentenhet till.

Slutligen har vi sett att det är viktigt att undvika negativa marginaler. I Artikel 2 fann vi att ungefär 40% av persontågen hade negativa marginaler på minst en delsträcka, under 2015, och att detta drog ner tågens punktlighet med drygt fyra procentenheter. Vi återkom till samma fenomen och tidsperiod i Artikel 3, där vi mätte punktligheten vid alla uppehåll, inte bara vid slutstation, och uppskattade effekten till strax under tre procentenheter. I ett läge där punktligheten ligger fem procentenheter under målnivån, är detta en mycket stor och tydlig effekt. Resonemang om att de negativa marginalerna kompenseras av positiva på nästa delsträcka håller alltså inte i praktiken, utan punktligheten faller klart och tydligt för dessa tåg, med omkring tre-fyra procentenheter.

### **3.2.3 Uppehållstider**

Redan i Artikel 1 uppmärksammade vi betydelsen av att ha rätt uppehållstider. Vi såg ett tydligt samband mellan planerad uppehållstid och risk för förseningar för persontågen på Skånebanan. I artikeln presenterade vi ett räkneexempel på hur uppehållstider skulle kunna omfördelas, för att minska förseningarna. Genom att sätta fyra av fem uppehållstider till relativt korta 50 sekunder, och en femtedel till 210 sekunder, som var mest effektivt för att minska förseningar, uppskattade vi att förseningarna på banan skulle kunna minska med uppemot 80%, utan att förlänga restiderna.

Mot slutet av projektet har vi åter fokuserat mer på uppehållstider. Särskilt Artikel 7 handlar till stor del om hur uppehållstider kan och bör anpassas efter antalet resenärer, med fallstudier från både Stockholm och Tokyo. I det första fallet anpassas uppehållstiderna för pendeltågen generellt inte efter resenärsvolymerna, medan sådana anpassningar är mycket vanliga och helt centrala i Tokyo. Ändå finner vi att trängselns effekter på uppehållstider och -förseningar är mycket likartade.

Vi har också funnit att uppehållstider ofta försummas i svensk tidtabellsplanering. Detta märks i Artikel 4 och 5, där planerare beskriver att de ofta får kritik från trafikledningen om att uppehållstider är för korta, samtidigt som resonemang om att justera och förbättra tiderna uteblir. Det märks också i Artikel 7, där skillnaden i arbetssätt och fokus mellan planerare i Sverige och Japan, där de senare jobbar mycket medvetet med att ständigt finjustera uppehållstiderna, medan man i Sverige länge använt samma schablon och bara i mycket tydliga undantagsfall gör avsteg från denna. Både Artikel 1 och 7 beskriver också hur merparten av förseningarna i Sverige uppstår just på stationer, vilket tyder på att uppehållstiderna inte är robusta eller innehåller samma marginaler som återfinns på linjen.

### **3.2.4 Interaktioner**

En av tidtabellens viktigaste roller är att kontrollera tågs interaktioner med varandra. Detta inkluderar möten och omkörningar, men även möjligheten att byta mellan tåg, och generellt den ordning tågen ankommer och avgår från stationer. I Artikel 2 och 3 kunde vi med ett enkelt mått, huruvida det fanns minst två tåg på samma station eller delsträcka (i samma riktning) samtidigt eller inte, visa att dessa interaktioner sänker tågens punktlighet. Interaktioner på stationer är betydligt vanligare, och i båda artiklarna uppskattar vi att varje sådan interaktion sänker tågens punktlighet med en dryg procentenhet. Interaktioner på linjen är inte alls lika vanliga, men de sänker punktligheten med mellan två och fyra procentenheter per gång. Att punktligheten påverkas på detta sätt tyder på att interaktionerna inte planerats på ett bra sätt, eller på att planen inte följs i verkligheten, kanske för att dess konstruktion inte kommunicerats tillräckligt väl.

I Artikel 6 tittar vi närmare på interaktionerna för att se vad som händer. Artikeln utgår från japanska data, där punktligheten är motsvarande 98%, vi finner ändå att bara 7% av alla omkörningar sker som planerat. Vi har gjort liknande analyser i Sverige, ännu opublicerade, där andelen interaktioner som följer tidtabellen om något är ännu mindre. Det är alltså snarare regel än undantag att möten och omkörningar i praktiken avviker från tidtabellen. Detta beror sannolikt trafikledningen ingriper mer eller mindre aktivt för att styra om interaktionerna, sannolikt för att

tågen inte riktigt följer sina kanaler till att börja med. Men det tyder också på att trafikledningen inte får särskilt mycket stöd av tidtabellen, och att stora delar av den i praktiken inte används. Vad detta har för betydelse och implikationer är det ännu för tidigt att svara på. Klart är ändå att en stor del av alla tåginteraktioner inte sker i enlighet med tidtabellen.

### **3.2.5 Planeringsprocessen**

För Artikel 4 och 5 intervjuade vi tidtabellsplanerare och fann flera utvecklingsområden i processen för tidtabellsplanering. Utifrån intervjuerna framkom det att Trainplan inte har stöd för vare sig konflikthantering eller spårallokering på stationer. Båda dessa begränsningar leder till återkommande och svårupptäckta misstag i planeringen, och till förseningar och problem för trafikledningen. Ett nytt verktyg med fler funktioner håller på att tas fram.

Dokumentationen kan även förbättras i ett bredare perspektiv. Tidtabellsplanerarna beskriver att viktig information kring vilka signalställverk som finns var, och hur de fungerar och måste hanteras tidtabellstekniskt, i princip är dokumenterad i pärmar som planerarna själva måste navigera, tolka och memorera. Det är svårt, och leder till misstag. De riktlinjer som används för planeringen har också hängt med i många år utan större revideringar, de ger väldigt lite stöd i de frågor som planerarna beskriver att de brottas med, och de tolkas dessutom mycket frikostigt.

Kopplat till den otillräckliga dokumentationen, ser vi i Artikel 4 och 5 att det inte sker någon systematisk utvärdering av tidtabellsplaneringen. Det är upp till varje planerare för sig att ta reda på vad som fungerar bra, och vad som behöver förbättras. Samtidigt har de inga verktyg för detta, ingen detaljerad statistik, och för lite tid. De beskriver dessutom att viktiga ansökningarna förändras från år till år, så att de problem och klagomål som kommit upp under året inte är särskilt tillämpbara till nästa år. Detta gör det mycket svårt att få till stånd en systematisk utvärdering, och därmed utveckling, av tidtabellernas kvalitet.

Slutligen ser vi i Artikel 4 och 5 att det finns en otydlighet och konflikt i rollen som tidtabellsplanerare. Å ena sidan har de helhetsansvaret för att tidtabellen går ihop och håller en hög kvalitet. Å andra sidan har de tät kontakt med planerarna på järnvägsföretagen som kör tågen, är närmast resenärerna, och borde veta bäst hur de vill att tidtabellerna ska se ut.

## 4 Rekommendationer

Utifrån projektet har vi ett antal rekommendationer till Trafikverket. Dessa är uppdelade i (1) tidtabellstekniska, (2) processorienterade, och (3) övriga rekommendationer och beskrivs nedan.

### 4.1 Tidtabellstekniska rekommendationer

Projektet utgår i huvudsak från ett planeringsperspektiv, och har varit särskilt intresserat av potentiella åtgärder inom tidtabellsområdet, dvs den operativa trafikledningen har inte ägnats någon större uppmärksamhet i detta projekt. Vi börjar därför med tre rekommendationer av tidtabellsteknisk natur.

#### 4.1.1 Mer fokus på uppehållstider

Vi föreslår att mer fokus i tidtabellsplaneringen läggs på att tilldela lämpliga uppehållstider. Alldeles för länge har dessa hanterats som en sorts restpost, som blir vad de blir, eller som en schablon som tillämpas alldeles för frikostigt, eller i värsta fall som någonting man medvetet tilldelat för lite tid för. Genomgående har en strategi, varit att tågen visserligen blir försenade på uppehållen, men sen tar igen det på linjen där det finns marginaler.

I det här projektet har vi studerat detta som en rimlig och potentiell lösning, men inte funnit bevis för att det fungerar. Förvisso finns det ofta stora marginaler på linjen, men de lyckas inte återställa de förseningar som uppstår på uppehållen. Istället uppstår det systematiskt förseningar på uppehåll, vilket introducerar instabilitet i tidtabellen, rubbar de planerade interaktionerna, och till stor del överlämnar trafikeringen till den operativa ledningen. Oavsett om strategin har fungerat tidigare eller inte, så verkar den inte fungera längre, troligen på grund av den ökade trafikeringen.

Utgångspunkten måste vara att uppehållen ges den tid de tar. Inte den minsta möjliga tiden, eller den tid det tar hälften av gångerna, utan den tid det bör ta för det givna tåget vid det givna uppehållet. Detta innebär ett avsteg från grova schabloner, och innebär att tiderna mycket väl kan variera över dygnet, från station till station, och potentiellt från tågnummer till tågnummer. Det kan mycket väl vara tillåtet att ha längre uppehållstider än vad som är strikt nödvändigt eller beräknat, och att då utnyttja dem som en typ av marginal, men inte att medvetet skapa förseningar för att artificiellt påskynda stationsuppehållen. Självklart går det inte att helt undvika uppehållsförseningar, lika lite som det är realistiskt att ge gångtider som aldrig överskrids, men i nuläget är situationen kraftigt förskjuten mot för korta uppehållstider, och mot uppehållsförseningar snarare än

gångtidsförseningar. Därför rekommenderar vi ett ökat fokus på planering och uppföljning av realistiska uppehållstider.

#### **4.1.2 Tilldelning av gångtidsmarginaler**

Utgångspunkten för det här arbetet var frågan om hur gångtidsmarginaler bör tilldelas. Hur stora de bör vara, och hur de ska placeras. På frågan om storlek är den generella slutsatsen att marginalerna gör nytta, men att de är ineffektiva och generellt större än vad som är motiverat. Samtidigt kan vi inte rekommendera att de bör minskas, samtidigt som punktligheten är så otillräcklig. Totalt sett är tidstilläggen dock generellt större än vad till och med tidtabellsplanerarna är medvetna om, och det finns ofta utrymme att minska dem något, till förmån för till exempel längre uppehållstider. Samtidigt kan det behövas extra tillägg under de närmaste åren, för att hantera ett stort antal banarbeten.

På frågan om placering kan vi däremot ge tydligare rekommendationer. Det viktigaste är att det finns lite marginaler överallt. Att det finns gångtidsmarginaler över huvud taget har nämligen visat sig ha större betydelse än deras eventuella storlek. Detta gäller även på mer detaljerad nivå, delsträcka för delsträcka. Det är alltså bättre att fördela gångtidsmarginaler av olika slag utbrett över hela sträckan, än att koncentrera den på en eller ett fåtal delsträckor.

Utöver att det finns lite marginaler längs hela sträckan, är det önskvärt att tyngdpunkten ligger på andra halvan av resan. En sedan länge pågående debatt är om det är mest fördelaktigt att ha marginaler i början eller i slutet av resan. Finns de i slutet är det mer sannolikt att de kommer till användning, men en försening i början följer å andra sidan med under lång tid, och drabbar både resenärer som ska till eller från mellanliggande stationer, och omgivande trafik. Finns marginalerna mest i början har man förstås den motsatta situationen: risken är att marginalen slösas bort i början och behövs i slutet, fördelen är att tidiga förseningar kompenseras och att sena förseningar ändå inte följer med så länge. Från våra undersökningar av vad som fungerat i praktiken, är rekommendationen att ha lite mer mot slutet, än mot början. Det som fungerat bäst är när tyngdpunkten ligger strax efter resans mittpunkt, ca 60–70 % in i hela resan. Detta är som sagt underordnat betydelsen av att ha lite marginaler överallt, men när det väl finns, är denna fördelning att föredra.



### 4.1.3 Inga negativa gångtidsmarginaler

Kopplat till rekommendationerna ovan vill vi göra ännu en rekommendation: att inte tillåta negativa gångtidsmarginaler. Detta kan å ena sidan låta trivialt och besynnerligt, att något sådant skulle finnas. För andra låter negativa marginaler kanske självklart och harmlöst. Fenomenet bottnar till stor del i att tidtabellsplanerare av olika anledningar vill ha hela minuttal i tidtabellen. I vissa fall kan det krävas för att få säkerställa rätt tider för tågmöten, för att få rätt avgångstid i den publikt annonserade tidtabellen, och för att efterföljande system ska fungera, men detta är undantagsfall, och i många andra fall behöver inte tiderna vara på hela minuter. För att uppnå tider på hela minuttal krävs det att man ibland antingen lägger till eller tar bort sekunder, en önskan som leder till en del oönskade effekter och effektivitetsförluster. Om man bara lägger till tid så kan det i vissa fall leda till relativt stora påslag, som över en hel resa summerar till ansenliga tider. Därför väljer man ibland att istället ta bort några sekunder och skapar negativa marginaler. Här ska tågen gå snabbare i tidtabellen, än vad som är tekniskt möjligt.

Ett annat scenario är att det är trångt i en sektion, och att ett till tåg skulle behöva få plats, men inte riktigt gör det. Då kan det hända att tidtabellsplaneraren lägger till negativa marginaler på ett eller två tåg, så att de ser ut att få plats. I verkligheten vet man att tågen ändå inte riktigt kommer gå som planerat, och att det finns marginaler på andra ställen under resan, ofta direkt efter, som tågen kan utnyttja för att hämta igen förseningen som uppstår.

Det här är ett av de fenomen vi återkommit till gång på gång under projektet, och varje gång är slutsatsen att det inte fungerar, och leder till sämre punktlighet. I praktiken är det alltså inte bara en tillfällig försening, som snabbt återhämtas, utan punktligheten försämras varaktigt. Vår rekommendation är därför tydlig: tillåt inte negativa gångtidsmarginaler. Det är mycket bättre att minska lite grann på marginaler lite tidigare i resan, och det borde som sagt finnas lite marginaler överallt, så att man träffar de viktiga punkterna i tidtabellen. Och får tågen inte plats, får man flytta på dem eller stryka något. Att tilldela negativa marginaler introducerar systematiska och varaktiga förseningar, och ska inte tolereras. I dagsläget har ungefär 40% av persontågen negativa marginaler på minst en delsträcka, och dessa tåg har i snitt omkring en punktlighet som är fyra procentenheter lägre än övriga tåg. I Artikel 2 uppskattar vi att den totala punktligheten skulle stiga med ungefär 1,25 procentenheter bara de negativa marginalerna försvann.

## **4.2 Processorienterade rekommendationer**

Vi har även identifierat ett par områden och rekommendationer av mer processorienterad art, även om dessa också till viss del berör tidtabellsplanering. Här presenterar vi fyra sådana.

### **4.2.1 Systematisk uppföljning**

En rekommendation handlar om systematisk uppföljning. I nuläget är det upp till varje enskild tidtabellsplanerare att följa upp och utvärdera hur tidtabellen fungerar, och hur de ska förbättra den framöver. Samtidigt har de varken tid, kunskap eller verktyg för att göra detta, som är en mycket mångfacetterad och krävande uppgift. Ett steg på vägen skulle vara att införa en rutin av systematisk uppföljning. Denna kan utformas och utvecklas på många olika sätt, men det är viktigt att det blir en väsentlig del av arbetsuppgifterna och rutinerna. Det är också viktigt att denna uppföljning sker av och med tidtabellsplanerarna själva, inte i huvudsak av analytiker eller chefer på andra avdelningar. Lämpligt kan också vara att involvera motsvarande planerare på järnvägsföretagen, även om processen inte får bero på deras eventuella medverkan. Utan systematisk uppföljning går det inte att förvänta sig systematiska förbättringar. Ett systematiskt arbete pågår inom branschsamarbetet Tillsammans för tåg i tid (TTT) utifrån ett antal så kallade effektområden, men dessa fokuserar inte på tidtabellsplanering, och inkluderar inte tidtabellsplanerare.

### **4.2.2 Bättre dokumentation**

Kopplat till föregående punkt rekommenderar vi att dokumentationen kring tidtabellsplanering förbättras avsevärt. Planerarna vittnar om att de själva måste hålla koll på hur olika ställverk fungerar, vilka som finns och var, och att dokumentationen ofta finns i pappersformat i pärmar. Detta är mycket komplicerat, och skulle kunna hanteras mycket lättare, om den relevanta informationen skrevs ner, uppdaterades och tillhandahölls på ett bättre sätt, helst direkt i planeringsverktyget. De formella riktlinjer som styr arbetet är också allvarligt utdaterade, och har bara en svag relevans för avvägningar och beslut man faktiskt arbetar med. Överlämningar till nya planerare sker till stor del muntligt, över en dag eller två, och mycket av kunskapsöverföringen sker informellt. Det leder dels till att erfarenhet går förlorad, samtidigt som rykten och felaktiga uppfattningar kan spridas och vara svåra att rota ut. Som ett led i att ha systematisk uppföljning och förbättring är det därför viktigt med en bättre, och mer tillgänglig, dokumentation. Ett arbete med att ta fram detta pågår sedan en tid tillbaka.

### **4.2.3 Bättre verktyg**

Slutligen måste vi understryka behovet av nya och mer ändamålsenliga verktyg. Det nuvarande verktyget infördes runt millennieskiftet och har inte förändrats mycket sedan dess. Flera av de misstag som tidtabellsplanerarna begår, som leder till systematiska förseningar och en teoretiskt okörbar tidtabell, beror på utebliven funktionalitet i verktyget. Uppenbara exempel på detta är att upptäcka konflikter mellan tåg, att hantera spårplanering på stationer, och att informera om lutningar och olika ställverks förutsättningar. Versionshantering, synkning mot andra datasystem, simulering, att enkelt kunna skapa nya tågnummer och modifiera grupper av tåg, är andra exempel på viktiga funktioner. Nu tar verktyget för mycket tid i anspråk, samtidigt som det inte ger nödvändigt stöd, för att det ska finnas tid och möjlighet att skapa en bra tidtabell. Ett omfattande utvecklingsarbete pågår inom projektet Marknadsanpassad Planering av Kapacitet (MPK) för att förbättra både arbetssätt, stöd och verktyg. Detta kommer att kunna åtgärda många av dessa problem, men det är viktigt att de faktiskt införs och implementeras.

## **4.3 Övriga rekommendationer**

Utöver de ovanstående har vi ett par övriga rekommendationer.

### **4.3.1 Planera på sekundnivå**

Flera av de tidtabellstekniska problemen och rekommendationerna vi nämnt ovan botten i att tidtabellsplaneringen sker på minutnivå, istället för sekundnivå. Att uppehållstider uppfattas som restposter beror ofta på att planerare vill åstadkomma en avgångstid på hel minut. Det samma gäller många negativa marginaler, som orsakas av en uppfattning, rätt eller fel, att vissa tider ska hamna på jämna minuter. En stor del av de positiva marginalerna uppstår eller placeras också av samma anledning, för att runda upp till hela minuter.

Förutom ett fåtal fall där efterföljande tekniska system kan behöva ses över för att hantera avrundningar på rätt sätt, så har detta inget egenvärde, och det leder alltså till förseningar å ena sidan, och slöseri å den andra. I båda fallen lägger tidtabellskonstruktörer dessutom arbetstid och mental kapacitet på sådant som inte bidrar med något värde, istället för på att skapa en bra tidtabell. Det gör det också svårare för lokförare och trafikledning att framföra trafiken på ett bra sätt, eftersom de får återkoppling på att de ligger före eller efter plan först när avvikelsen är en minut eller mer. Då är det ofta svårare att hantera och återställa situationen, än om återkopplingen kommit tidigare. I Japan planeras och körs järnvägen i 5-, 10- eller 15-sekundersintervall (beroende på

företag) istället för hela minuter, och deras system är varken nyare eller mer komplicerade än våra. Det bör alltså vara fullt möjligt att planera och styra på en mer detaljerad nivå, och därmed vinna både punktlighet och kapacitet.

#### **4.3.2 Klimat- och väderanpassning**

Att klimatet förändras är välkänt, likaså att vädret ofta ställer till problem för järnvägen, och vi vill yrka på att anläggningen anpassas för att bättre hantera detta. Redan idag orsakar tämligen normala vädervariationer stora förseningar i tågtrafiken, och problemen ökar exponentiellt för varje temperaturgrad. Det behöver alltså inte bli mycket varmare på somrarna för att trafiken helt ska kollapsa, och varmare kommer det bli. Likaså måste vinterproblemen åtgärdas och hanteras bättre, även om det blir varmare kommer vintern inte försvinna, och om inget görs kommer den fortsätta orsaka stora förseningar. Detta behöver åtgärdas, och järnvägen behöver anpassas till ett föränderligt klimat. Exakt vad som ska göras har vi inte undersökt här, men vi identifierar och understryker behovet, och i nästa kapitel beskriver vi några frågeställningar som skulle kunna leda närmare mot svaren.

## 5 Fortsatt forskning

Arbetet pekar på ett antal olika områden som intressanta för fortsatt forskning. Det har också lett till ett antal konkreta projekt. Här beskriver vi först fyra områden där det i varierande omfattning pågår och startas upp forskningsprojekt, men där behovet fortfarande är stort. Sedan listas fyra projekt inom olika områden som befinner sig i olika skeenden av planering och förberedelser. Slutligen fyra projekt med anknytning till Mist som redan beviljats och påbörjats.

### 5.1 Fyra områden med behov för mer forskning

En av de stora upptäckterna i projektet är betydelsen av uppehållsförseningar. En stor del av alla merförseningar uppstår vid uppehåll. Samtidigt är en av de tydligaste skillnaderna när vi intervjuat tidtabellsplanerare i Sverige och Japan, sannolikt det land i världen med högst punktlighet, just medvetenheten om uppehållstider. I Sverige är de tämligen försummade: en restpost, en schablon, eller någonting man medvetet sätter för lågt. I Japan är det en av de viktigaste parametrarna man jobbar med: den justeras i 5-sekundersintervall, varieras tåg för tåg, plats för plats, och följs regelbundet upp och justeras under innevarande tågplan. I kombination tyder dessa upptäckter på att uppehållen bör få betydligt mer fokus och uppmärksamhet, i såväl forskning som praktik.

En av de stora avgränsningarna i projektet har varit att bortse från godståg. Till stor del för att person- och godstrafik har helt olika förhållningssätt till tidtabeller. Dels vad gäller planering, där persontrafik kan planeras relativt väl på en ett- eller flerårig horisont, medan godstransportörer ofta skulle vilja anpassa sina upplägg med några veckors framförhållning. Dels vad gäller trafikering, där persontåg inte kan avgå tidigt från stationer, för att inte åka ifrån sina passagerare, medan det för godståg ofta är önskvärt att avgå så fort tåget är redo vid bangården. Denna avgränsning kan vara möjlig och motiverad i ett forskningsprojekt, men inte i verksamheten. Godstågen står för ungefär 15 % av järnvägstrafiken i Sverige, och att den inte fungerar bra drabbar såväl godstransportörer, industri och näringsliv, som persontrafiken. Därför vore det angeläget att studera förhållandet mellan godståg och tidtabeller närmare, så att situationen kan förbättras. Både avseende planeringsprocessen och trafikeringen. Till viss del görs detta inom projektet Fr8Rail2, som beskrivs i Sektion 5.3, men behovet finns för flera studier.

Simulering får en allt större och viktigare roll i järnvägsbranschen, både i forskning och praktik. Med allt större datorkraft och datatillgång blir det möjligt att simulera mera. Både i trafikledning och tidtabellsplanering, för att bara nämna två användningsområden, är det mycket värdefullt att

kunna göra bra simuleringar. I projektet har vi tagit fram och sammanställt stora datamängder, samt nyckeltal och expertis, som kan användas både som input till, och för att kalibrera och validera olika simuleringsmodeller. Detta är viktigt för att de ska gå att använda på ett praktiskt och ändamålsenligt sätt, och ge resultat som är pålitliga och användbara. I nästa avsnitt, 8.2, nämns ett par projekt som berör simulering, men de är bara en början.

Flera av rekommendationerna i denna rapport handlar väsentligen om kulturen i ledarskapet, organisationen och branschen. I intervjuer med tidtabellsplanerare har flera sådana aspekter kommit upp, både om deras delade roll gentemot Trafikverket och järnvägsföretagen, och om deras omfattande ansvar å ena sidan, och deras begränsade möjligheter å den andra. Frågor som tydliggörande, professionalisering och utvecklandet av yrkesroller är viktiga och väl utforskade inom andra branscher. Möjligheterna, metoderna och betydelsen av att skapa en punktlighetskultur kan också studeras. I Japan sägs det, till exempel, att mycket av deras fokus på punktlighet kommer från en mycket utpräglad säkerhetskultur, något som många skulle påstå att vi har även i Sverige. Det vore intressant och värdefullt att se hur en liknande utveckling skulle kunna ske här.

## **5.2 Tre projekt i planeringsfasen**

Projektet Mist har huvudsakligen utgått från ett planerings-, snarare än trafikledningsperspektiv. I och med att vi nu kan identifiera interaktioner i historiska data, situationer när tågordningen, möten, eller omkörningar förändras gentemot planen, kan vi däremot börja titta även på trafikledning. Dessa händelser förutsätter någon typ av trafikledningsbeslut, antingen proaktiva eller reaktiva, och med den erfarenhet och databas som byggt upp i Mist kan vi nu identifiera vilka tåg som påverkas av dessa beslut, och kvantifiera effekten på förseningarna. Vi kan således börja identifiera och utvärdera beslut och strategier hos trafikledningen, med hjälp av historiska data. Detta är användbart dels för att förbättra Trafikledningens kvalitet och trafikens punktlighet, och dels för att informera simuleringsmodeller om hur trafikledningen faktiskt fungerar, och därmed kunna kalibrera och validera även trafikledningsmodulerna i dessa program. Vi planerar därför ett doktorandprojekt, UTTRA (Utvärdering av Trafikledning), som syftar till just detta.

Järnväg finns i många länder, men har längre präglats av nationella monopol och konservativa organisationskulturer. I projektet har vi haft omfattande och produktiva utbyten med både Norge och Japan, men det finns en större potential. Utöver dessa två har vi byggt upp kontakter med

Danmark, Storbritannien, Schweiz och Nederländerna, alla länder med mestadels jämförbara förutsättningar och resultat, men med lite olika sätt att arbeta och se på saker. Här finns en stor potential att utnyttja för organisatoriska frågor, tidtabellskonstruktion och -processer, trafikledningserfarenheter, infrastrukturdesign och -strategi, och samkörning av modeller för både statistik och simulering. Som förebild finns det en stor grupp forskare på Imperial College London som jobbar tätt samman med järnvägar världen över för benchmarking och kunskapsutbyten, vilket är mycket uppskattat och värdefullt för de olika organisationerna. Vi har nu snart data från Sverige, Norge och Danmark, och kan därmed studera gränstrafik och hur de olika systemen interagerar med varandra, på ett sätt som inget av länderna kunnat göra tidigare. Vi kan också ta fram statistik över hur till exempel väder och tåginteraktioner orsakar förseningar i de olika länderna, och därmed producera mer korrekta och tillförlitliga uppskattningar, liksom att studera vad olika beslut och strategier inom tidtabellsplanering och trafikledning får för konsekvenser för förseningar och punktlighet. Förberedelser för ett sådant större projekt pågår, i diskussion med andra lärosäten och infrastrukturhållare.

Betydelsen av klimat- och väderanpassning går inte att understryka nog tydligt. Detta framgår tydligt i forskning och media i stort, men även i detta projekts resultat. Vi har tydligt visat att järnvägen inte är robust för vädrets variationer, även inom relativt normala förhållanden. Sambanden mellan punktlighet visar också tydligt att problemen ökar exponentiellt för varje grad. Denna situation måste bemötas, och anläggningen måste anpassas. Runt detta finns det mycket forskning i andra sektorer och länder, bland annat under benämningen *adaptation pathways*, och mycket vi kan undersöka även i Sverige. Vad det är, exakt, som fallerar, hur dessa brister kan åtgärdas, var problemen är störst och förväntas öka mest, när åtgärder kan och måste genomföras, och hur vi undviker att satsa på fel saker, är bara några av frågeställningarna som kan och måste besvaras. Denna typ av frågeställningar berör inte bara Trafikverket, utan även finansiärer som InfraSweden2030 och Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, och vi förbereder för sådana ansökningar.

### 5.3 Fyra påbörjade projekt

MiST2 (Mindre Störningar i Tågtrafiken, del 2) tar vid där Mist slutar. Fokus är fortfarande på störningar i persontrafiken, men skiftar mer från insamling av data och arbete direkt med denna, till gränssnittet mellan empiri och simulering. En licens till mikrosimuleringsprogrammet RailSys ska inskaffas, och projektet syftar till att bättre validera och kalibrera den svenska RailSys-modellen utifrån empiriska data som tagits fram i Mist. Projektet ska också utvärdera en del utvecklingsprojekt som skett inom tidtabellsplaneringen på Trafikverket, särskilt de nya konstruktionsregler som införts på Värmlandsbanan och Södra Stambanan, för att dra lärdomar av dessa och bidra till vidare implementering. Internationella utblickar kommer fortsatt ha en roll, till länder som Norge, Danmark, Schweiz, Nederländerna, Storbritannien och Japan. Fokus i dessa utblickar kommer vara på empiriska data, förseningar, tidtabellsplanering och till viss del trafikledning. Vi har redan tillgång till mycket omfattande data från Norge och Japan, och är på god väg med Danmark och Storbritannien.

USP (Uppehållsförseningar i Stockholms Pendeltågstrafik) är ett mindre projekt finansierat av K2 (Nationellt Kunskapscentrum för Kollektivtrafik) som tittat närmare på uppehållsförseningar i pendeltågstrafiken, och särskilt med avseende på resenärsutbyten. Projektet har genomförts i samarbete med SLL, MTR Pendeltåg, KTH och Trafikverket, och använt kompletterande data från SLL. Dessa data beskriver detaljerade gång- och uppehållstider, på sekundnivå, och antalet av- och påstigande vid varje uppehåll. Materialet baseras på sensorer i dörrarna på en åttondel av pendeltågsvagnarna, som roterar i omloppet och på så sätt skapar en bild över hela pendeltågssystemet. Projektet har även innehållit jämförelser med pendeltågstrafiken i Tokyo, och dragit nytta av de två besöken i Japan, och skett i samarbete med Chiba Institute of Technology och ett anonymt järnvägsföretag i Tokyo. Detta har inneburit observationer i fält, intervjuer med tidtabellsplanerare, och omfattande dataanalyser på material om tidtabeller, uppehållstider och resenärsmängder. Studien presenteras i en vetenskaplig artikel, som samproducerats i projekten USP och Mist, som presenteras vid konferensen RailNorrköping i juni, 2019. Artikeln finns bifogad till denna rapport, som Artikel 7.

PLASA2 är ett Shift2Rail-projekt som drivs av DB Analytics, Hacon och Trafikverket. KTH och LTH är länkade tredje parter till Trafikverket, och bidrar i planering och utförande. Projektet är baserat kring en makrosimuleringsmodell, PRISM, som på ett mycket snabbt och effektivt sätt kan simulera trafik i stora nationella nätverk. Modellen är i huvudsak utvecklad av DB Analytics,



och Trafikverket vill tillämpa och anpassa den för svenska förhållanden och frågeställningar. Genom arbetet som gjorts i Mist har vi på LTH blivit inkopplade för att hjälpa till med indata till, och kalibrering samt validering av modellen. Kalibrering och validering sker både avseende mikrosimuleringsverktyget RailSys, och gentemot historiska data, med den expertis och databas som byggts upp genom Mist.

Fr8Rail2 är ett annat Shift2Rail-projekt med ett stort konsortium, där LTH tillsammans med RISE SICS, KTH, Linköpings Universitet, Blekinge Tekniska Högskola och VTI är länkade tredje part till Trafikverket. Syftet för projektet är till stor del att studera gränssnittet mellan bangård och nätverk. Bakgrunden är att godstrafiken i Sverige har ett helt annat förhållningssätt till tidtabeller än persontrafiken, samtidigt som godstrafiken både har låg punktlighet och orsakar merförseeningar för persontågen, och att planering och drift av bangårdar till stor del sker separat från nätverket. Uppdraget till LTH är att mer utförligt beskriva hur godstrafiken fungerat i verkligheten, i relation till planeringen, med hjälp av historiska data som samlats i Mists databas. En andra del av uppdraget är att hjälpa till med utvärderingen av en demonstrator som utvecklas av andra länkade tredje parter. Även detta sker med hjälp av expertis och förseningsfördelningar som utvecklats under Mist.

## **Bilagor**

Med slutrapporten bifogas de artiklar och konferensbidrag som producerats under projektet:

Artikel 1. Delays for Passenger Trains on a Regional Railway Line in Southern Sweden

Artikel 2. An Empirical Study of Timetable Strategies and Their Effects on Punctuality

Artikel 3. Some Influencing Factors for Passenger Train Punctuality in Sweden

Artikel 4. Punctuality problems from the perspective of timetable planners in Sweden

Artikel 5. The Planners' Perspective on Train Timetable Errors in Sweden

Artikel 6. Overtakes and Dwell Time Delays for Japanese Commuter Trains

Artikel 7. Dwell Time Delays for Commuter Trains in Stockholm and Tokyo