Gröna Tåget

Kapacitetsanalys av Södra stambanan

Effekter av ökad trafik och
ökad hastighet från 200 till 250 km/h

HANS SIPILÄ
JENNIFER WARG

Stockholm 2012

Publikation 1203
ISBN 978-91-7501-288-9

KTH Järnvägsgruppen

Kapacitetsanalys av Södra stambanan

–

Effekter av ökad trafik och ökad hastighet från 200 till 250 km/h

Hans Sipilä
Jennifer Warg

Stockholm 2012
KTH Järnvägsgruppen

Publikation 1203
ISBN 978–91–7501–288–9
www.gronataget.se
www.railwaygroup.kth.se

Skolan för Arkitektur och samhällsbyggnad
Institutionen för Transportvetenskap
Avdelningen för trafik och logistik
SE–100 44 Stockholm

Sammanfattning

Metod för att ta fram linjeförseningar med syfte att modellera primärstörningar presenteras och tillämpas i simuleringar på Södra stambanan. De fördelningar som beräknas baseras på verklig data med tågpassageregistreringar. Huvudfördelningar tas fram för delsträckor och olika tåggrupper, därefter reduceras dessa i olika nivåer och används som indata i simuleringar. Syftet är att uppnå en viss överensstämmelse mellan verkligt och simulerat utfall.

Reduceringen av fördelningarna görs i fyra nivåer där 20, 40, 60 och 80 % av de registreringar som ger en merförsening relativt planerad tidtabell används. Variationen görs för person- och godståg var för sig vilker ger 16 fall. Utvärdering av hur väl simulerade värden överensstämmer med verkligt utfall sker med hjälp av rotmedelkvadratfelet (RMSE). Resultaten visar att med de antagna förutsättningarna kan 60 % användas av persontåg och 40 % av godståg. Riktningarna är inte oberoende, samma värde används för båda riktningar och alla delsträckor i simuleringarna.

Störningsfördelningarna och övriga resultat tillämpas i en analys av höjda snabbtågshastigheter kombinerad med ökat trafikutbud på Södra stambanan mellan Katrineholm och Hässleholm. Snabbtågshastigheterna som analyseras är dels nuvarande 200 km/h och framtida 250 km/h med Gröna tåget. Tidtabellsanalys i TVEM och RailSys visar att banan är högt belastad redan i referensalternativet för dagens trafik (T11) och att flexibiliteten i tidtabellsläggningen är låg.

Simulering visar på svårigheter att upprätthålla punktlighetsnivån som för några trafikupplägg, framförallt snabbtågen, redan är låg från början. Med fler regional- och pendeltåg samt fler uppehåll och högre turtäthet för några av trafikuppläggen, sjunker flexibiliteten och även punktlighetsutvecklingen påverkas negativt. Dessa effekter förstärks när nya snabbtåg införs och skillnaderna i medelhastighet ökar.

För att möjliggöra trafiken som prognostiseras för år 2020 krävs många förbigångar vilket bidrar till att skillnader mellan medelhastigheterna ökar. Punktlighetsnivån för de förbigångna tågen kan ofta hållas på en relativt hög nivå p.g.a. alla tidtabellslagda uppehåll som även kan utnyttjas för att minska eventuella förseningar. Däremot drabbas försenade tåg utan eller med små tidtabellsbaserade tillägg och förseningarna ökar delvis kraftigt.

I referensalternativet för år 2020 med höjd hastighet minskar punktligheten för Gröna tåget som snabbtåg med 21 procentenheter på den betraktade sträckan till 62 % i Hässleholm. För att motverka effekterna av hastighetshöjningen och trafikökningen testas bl.a. infrastruktur- och tidtabellsåtgärder. Syftet är att belysa vilka åtgärder som ger högre flexibilitet i tidtabellsläggningen och tydliga effekter ur förseningssynpunkt.

Mest effekt ger tidtabellstillägg för snabbtågen mellan Alvesta och Hässleholm, en sträcka där förseningarna växer tydligt. På det avsnittet är tidtabellsflexibiliteten låg, hastighetsskillnaderna stora och omkörningsmöjligheterna få. Tillägget som krävs för att nå en tydlig stabilisering av snabbtågens punktlighetsnivå är dock nästan så stort att effekten av minskade restider genom snabbare tåg jämnas ut på det delavsnittet där störst restidsvinst kan nås.

Även lägre uppehållsförseningar genom Gröna tågets förbättrade resandeutbyte ger märkbara effekter på punktlighetsnivån. Minskade uppehållsförseningar med Gröna tåget kan eliminera de negativa effekterna på punktligheten som hastighetshöjningen i sig orsakar. Framförallt kombinerad med andra åtgärder kan tydliga förbättringar uppnås. Ingen av åtgärderna medför dock tillräckligt bra effekter för att skapa ett tillfredsställande system med bra återhämtningsförmåga när snabbtågshastigheten höjs samtidigt som trafikutbudet utökas.

Förord

Trafikverket stödjer ett forskningsprogram om kapacitetsanalys och simulering vid Järnvägsgruppen på avdelningen för trafik och logistik på KTH. Järnvägsgruppen har kunnat bygga upp en god kompetens och forskningsmiljö för kapacitetsanalyser och bl.a. implementerat simuleringsprogrammet RailSys i Sverige. Tidigare genomförda simuleringsprojekt vid KTH har bl.a. behandlat kapacitet- och punktlighetsförbättrande åtgärder på Nynäsbanan, Svealandsbanan och för snabbtågstrafiken på Västra stambanan.

Gröna tåget är ett forsknings- och utvecklingsprojekt där såväl högskolor som infrastrukturförvaltare, järnvägsföretag och tågtillverkare engageras i ett gemensamt program. Programmet genomförs under perioden 2005–2012 och målet har varit att ta fram en konceptspecifikation för ett nytt attraktivt snabbtåg. I delprojektet Marknad och trafik har huvudsyftet varit att utveckla tågkonceptet för att uppfylla en attraktiv och effektiv trafikering med hänsyn till de kapacitetsproblem som finns idag och förväntas i framtiden. Kapacitetsanalys är en viktig del i analysen av trafikeringskoncept för ett nytt snabbtåg.

För innehåll och slutsatser i denna arbetsrapport svarar författarna. Rapporten har använts som underlagsmaterial för Gröna tågets slutrapporter[1]. Hans Sipilä har arbetat med delen som behandlar modellering av störningar i simuleringar. Arbetet med simuleringar av nya trafikupplägg på Södra stambanan har utförts av Jennifer Warg (Vectura/KTH) på uppdrag av KTH. Gröna tåget används som snabbtåg i de nya uppläggen som jämförs mot upplägg med dagens snabbtåg (X 2000).

Stockholm i maj 2012

Hans Sipilä
Redaktör

[1] Fröidh, O., Green Train. Basis for a Scandinavian high-speed train concept. Final report, part A. 2012

Innehåll

1 Inledning **1**

2 Modellering av linjeförseningar **3**
2.1 Inledning . . . 3
2.1.1 Syfte och bakgrund . . . 3
2.1.2 Användning av störningar i en simuleringsmodell . . . 4
2.2 Södra stambanan . . . 7
2.3 Metod . . . 10
2.3.1 Orsakskodad data . . . 10
2.3.2 Generering av primärförseningar för simuleringar . . . 11
2.3.3 Anpassning av fördelningar . . . 14
2.3.4 Modell för att hantera in- och utdata i RailSys . . . 14
2.4 Resultat . . . 15
2.4.1 Prestationsmått . . . 15
2.4.2 Simuleringsfall . . . 16
2.4.3 Jämförelser mellan in- och utförseningar . . . 20
2.4.4 Placering av linjestörningar . . . 23
2.5 Slutsatser . . . 25

3 Analys och utvärdering av tidtabeller med Gröna tåget **27**
3.1 Inledning . . . 27
3.1.1 Syfte . . . 27
3.1.2 Förutsättningar . . . 27
3.1.3 Metod . . . 30
3.2 Referensalternativ . . . 39
3.2.1 Egenskaper för trafikutbud och infrastruktur . . . 39
3.2.2 GT2020 . . . 40
3.2.3 JA2020 . . . 47
3.2.4 JA2011 . . . 50
3.3 Utredningsalternativ . . . 55
3.3.1 UA1 Godståg i 120 km/h . . . 55
3.3.2 UA2 Lägre påförda uppehållsstörningar för snabbtåg . . . 59
3.3.3 UA3 Skip-stop för regional- och pendeltåg . . . 60

3.3.4 UA4 Två godstågslägen per timme under persontrafikens maxtimme . . . 64
3.3.5 UA5 Ändrat trafikutbud för Gröna tåget . . . 66
3.3.6 UA6 Utökning av spår på stationer med förbigångsmöjlighet 67
3.3.7 UA7 Kortare avstånd mellan förbigångsstationer . . . 67
3.3.8 UA8 Längre godståg . . . 69
3.3.9 UA9 Tillägg för snabbtågen . . . 69
3.4 Samverkan mellan turtäthet för trafikupplägg och övrig trafik . . . 72
3.5 Jämförelse av utredningsalternativ . . . 73
3.6 Kombination av åtgärder . . . 78
3.7 Slutsatser . . . 81
3.7.1 Tidtabellsanalys i TVEM och RailSys . . . 81
3.7.2 Simulering . . . 83
3.7.3 Sammanfattning av resultaten . . . 84
3.7.4 Fortsatt forskning och utredning . . . 85

Referenser **87**

1 Inledning

För kalibrering och validering av en simuleringsmodell används ofta tidigare data från liknande eller samma verksamhet. Inom tågtrafik består detta i grunden av registreringar av tågpassager utefter punkter på en bana. Normalt sker registrering vid stationer där tågnummer och klockslag ger avvikelse relativt planerad tidtabell. Registreringar under en viss tid kan användas för att beräkna produktionsutfall för ett område och för aktuella tågkategorier. Vanliga utfallsmått är punktlighet, medelvärden etc. och ofta synliggörs systematiska fenomen, t.ex. större ändringar i något utfallsmått på en specifik sträcka.

Det finns även möjlighet att studera trafiken utifrån ett återställningsperspektiv, d.v.s. jämförelser mellan in- och utförseningar. Det intressanta är t.ex. om det går att hitta ett gränsintervall för införseningar där ena fallet medför väsentligt bättre förutsättningar för återställning jämfört med det andra. I förlängningen kan en sådan analys bidra till att peka ut de områden eller sträckor där t.ex. tidtabellsåtgärder krävs för att minska sannolikheten för förseningar.

Vid analyser och beräkningar krävs en tillräcklig mängd förseningsdata för att ge en bättre generell uppfattning och mer tillförlitlig indata till simuleringar. Om graden av varians är låg fungerar även en mindre datamängd, men för att konstatera det behöver en större mängd kontrolleras. Oftast är dock variansen så pass hög att data för en längre period behövs.

I rapporten presenteras dels en metod för att uppskatta primära linjestörningar ur vanlig förseningsdata (registrering av tågpassager) och även olika sätt för att göra jämförelser och analyser av verkligt eller simulerat utfall. Simuleringsmodellen baseras på Södra stambanans avsnitt mellan Katrineholm och Hässleholm och delar av anslutande linjer.

Resultaten används delvis även i rapportens andra del där en analys och utvärdering av olika tidtabeller med Gröna tåget görs. Flera olika scenarier definieras och utifrån dessa tas principtidtabeller fram och simuleras. Det handlar bl.a. om utökad persontågstrafik, fler snabbtåg och högre hastigheter, fler regional- och pendeltåg med utökade uppehåll. Utbudet som principtidtabellerna baseras på representerar en maxtimme i en högtrafikperdiod. Simuleringarna görs för fler timmar.

Resultaten ska kunna visa hur ökade hastighetsskillnader med blandad trafik påverkar bankapaciteten. Dessutom redogörs för några möjliga åtgärder som kan vara lämpliga för att kompensera de för tågföringen negativa effekter som hastighetshöjningen kan medföra. Det rör sig t.ex. om nya förbigångsmöjligheter, anpassade uppehållsmönster etc.

Analysen görs för södergående riktning mellan Katrineholm och Hässleholm. Resultaten bedöms även kunna användas i norrgående riktning, trafikutbudet är jämförbart med södergående riktning. Viss hänsyn behöver dock tas avseende tillgång och placering på lämpliga förbigångsstationer. Slutsatserna i rapporten presenteras var för sig inom respektive del. När tågens punktlighet nämns eller presenteras i diagram avses alltid punktlighet på 5-minutersnivå, d.v.s. andelen tåg som är mindre än sex minuter försenade (sekunder trunkeras).

2 Modellering av linjeförseningar

2.1 Inledning

2.1.1 Syfte och bakgrund

Tidigare genomförda simuleringsprojekt vid KTH har påvisat betydelsen av att tillämpa en realistisk störningsmodellering [7, 8]. Det betyder bl.a. att tågens avgångar från de, i simuleringsmodellen definierade startstationerna, behöver varieras enligt olika störningsfördelningar. I en simuleringsmodell kan en startstation dels spegla en verklig sådan eller bestå av en randpunkt i modellen.

Utöver startförseningar (införseningar) används ofta även stokastiska störningar vid stationsuppehåll för persontåg. Syftest med dessa är att efterlikna den variation som uppkommer p.g.a. olika passagerarbelastning. Uppehållsstörningar kan även användas för fordons- eller infrastrukturrelaterade fel som resulterar i förlängda stationstider.

Syftet med en kalibrering är normalt att få tillräcklig överensstämmelse mellan verkligt utfall och simulering. Flera olika parameterkombinationer kan ge samma utfall, därför behöver även en validering göras för att se hur simuleringsmodellen svarar på ändrade förutsättningar. Givet att infrastruktur, fordon och tidtabell inte varieras, finns främst tre parametrar som kan ha stor inverkan på resultaten.

- Slumpgenererade störningar
- Relativ trafikledningsprioritet mellan olika tåg
- Tillåten användning av tidtabellsmarginaler

I rapporten presenteras en möjlig metod för att uppskatta de störningar som påförs tågen mellan stationer, d.v.s. på linjesträckor. Störningarna ger i många fall en körtid som är längre än den schemalagda och ger därmed förseningsökning. Orsaken kan vara att ett tåg av någon anledning inte kan köras enligt normal dynamisk hastighetsprofil, vilket t.ex. kan bero på fordons-, väder- eller infrastrukturrelaterade problem. De övriga två parametrarna varieras inte.

2.1.2 Användning av störningar i en simuleringsmodell

Grovt indelat finns två typer av förseningsorsaker inom tågtrafik. En försening uppstår p.g.a. en primär eller sekundär orsak. I huvudsak räknas förseningar som orsakas av att tågen stör varandra, t.ex. tät eller hindrande trafik, som sekundära. Om en planerad tidtabell är helt konfliktfri och tågen alltid går enligt tidtabell, d.v.s inga primärstörningar inträffar, uppkommer inga sekundärförseningar. Normalt sett är dock tidtabeller sällan helt konfliktfria om hänsyn tas till beläggningstider av signalsträckor, ställ- och upplåsningstider i ställverk etc. Huvudsyftet med simulering är att utifrån givna förutsättningar generera de sekundära förseningarna.

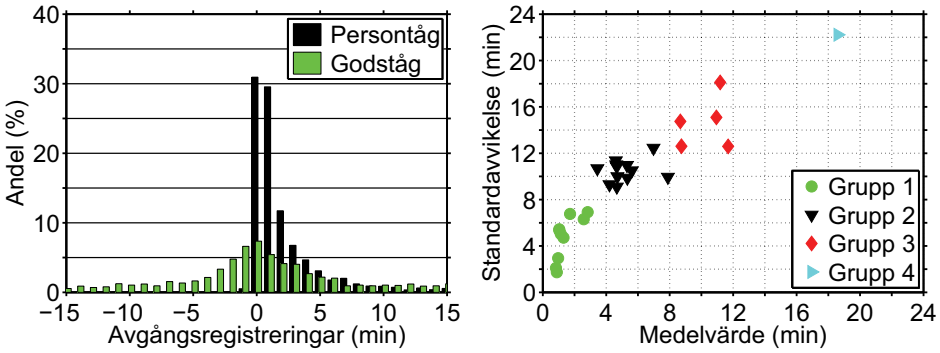
Enkelt uttryckt är primärförseningar de störningar som inte har sekundära orsaker. Till dessa räknas t.ex. infrastruktur- och fordonsfel, väderförhållanden och förlängda av- och påstigningstider. Primärstörningar modelleras inte automatiskt, utan de behöver definieras som invärden till simuleringen. Normalt används tre typer av störningar som påverkar tågen oberoende av trafiksituation.

- Instörningar används när tåg skapas inom eller vid randen till det simulerade området.
- Uppehållsstörningar innebär att av- och påstigningstider för passagerartåg kan variera.
- Linjestörningar påverkar tågen mellan stationer och förlänger oftast körtiden.

Eftersom instörningar bl.a. reglerar tågens ankomst i systemet kan de fördelningar varifrån slumpvärden dras ifrån skapas direkt från registrerad data. Det innebär att sekundärstörningar som sker vid randen bidrar till fördelningen vilket i teorin medför en överskattning av fördelningens medelvärde. Effekten uppkommer främst på platser där in- och utflöde i modellen sker på en enkelspårig linje.

Godståg uppvisar ofta relativt stor variation, vilket innebär att en gruppering kan göras om en tillräcklig mängd registreringar påvisar tydliga skillnader mellan olika tåg eller tidsintervall (figur 2.1). Eftersom tågen i simuleringsmodellen inte normalt kan ligga före sin planerade tidtabell, antas tidiga ankomst- eller avgångsvärden vara enligt tidtabell. Samma princip har tillämpats i tidigare simuleringsprojekt [7, 8, 10].

Generellt uppvisar godståg en stor variation i sin trafikering jämfört med persontåg och det är även vanligt förekommande att de ligger före sin tidtabell. Figur 2.1 visar exempel på en karakteristisk skillnad i avgångsfördelningen mellan person- och godståg.



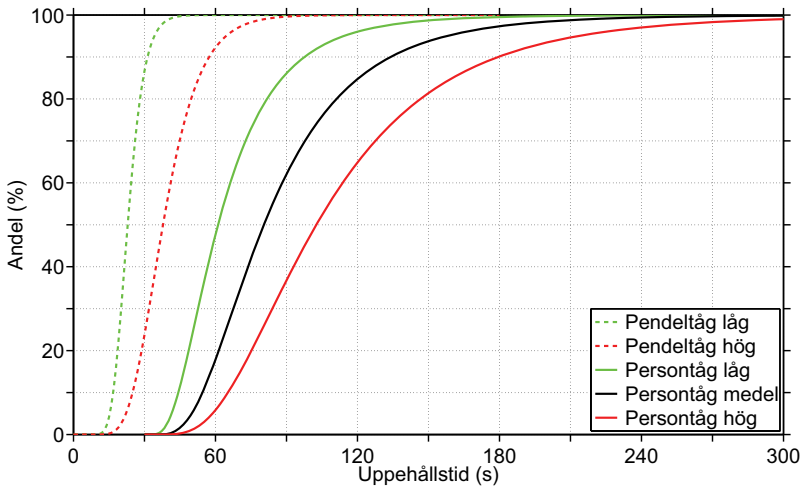
Figur 2.1: Avgångsregistreringar i Hässleholm för norrgående tåg (vänster), positiva värden anger försening. Exempel på införseningsgruppering för godståg baserat på förseningarnas medel- och standardavvikelsevärden (höger).

Uppehållsstörningar används för att få en variation i av- och påstigningstider, det ger möjlighet till både ökning och minskning av en försening. Hänsyn tas då till stationstyp och tågkategori, bl.a. påverkar antal dörrar och deras inbördes placering passagerarutbytestiden.

Verkliga uppehållstider är svåra att uppskatta från vanlig registrerad passagedata, om den inte ges på spårledningsnivå som även är kopplad till signalernas status. De uppehållsstörningar som används är hämtade från tidigare projekt och baseras på manuella mätningar vid stationer av varierande storlek och karaktär.

Figur 2.2 visar några av de uppehållsfördelningar som används för persontåg. Nivåerna representerar olika mängd av- och påstigande vid stationer. I exemplet adderas slumpade värden till minsta tiden 30 sekunder. Beroende av hur lång planerad uppehållstid ett tåg har kan, med en viss sannolikhet, en minskning eller ökning av en försening inträffa.

För pendeltåg och vissa regionaltågsuppehåll vid mindre stationer eller hållplatser används någon av de två fördelningar som betecknas med *pendeltåg*. I de är minsta möjliga uppehållstid en sekund. Fördelningarna kommer alltid att minst ge ett värde på några sekunder.



Figur 2.2: Exempel på uppehållsfördelningar. För persontågen adderas slumpat värde till minsta möjliga uppehållstid 30 sekunder.

Under körning mellan stationer (tidpunkter) används linjestörningar för att uppnå en variation i förhållandet mellan planerad och verklig körtid. Beroende på olika typer av marginaler behöver inte en slumpgenererad linjestörning nödvändigtvis innebära att den planerade körtiden överskrids. Huvudsyftet är dock att efterlikna infrastrukturfel, varierande fordonsprestanda, väderrelaterade problem samt till viss del även förarbeteende.

Trafikledningsprioritet är ett relativt mått och används för att ge vissa tågkategorier företräde framför andra. Prioriteten kan höjas eller sänkas vid definierade förseningsgränser. Om trafikledningsbeslut enbart baseras på prioritetstal får normalt ett högre prioriterat tåg alltid företräde relativt ett tåg med lägre prioritet vid en förväntad konflikt. Det går även att vikta prioritetsbaserade beslut mot beräknad total försening i en konflikt, vilket gör att prioritetstalens värde minskar.

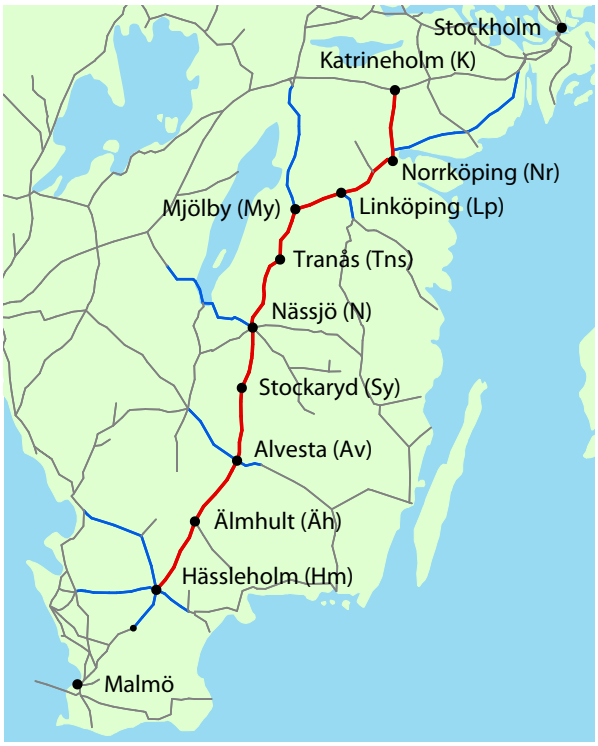
Ytterligare en faktor som påverkar resultaten är hur stor andel av olika marginaler i tidtabeller som kan utnyttjas för att minska uppkomna förseningar. Det här berör framförallt godståg där antaganden görs om vikt, längd och största tillåtna hastighet (sth) inför en simulering.

Godstågens tidtabellsmarginaler har stor variation, vilket innebär att det inte finns någon självklar inställning för den procentandel av marginalen som kan användas för att reducera förseningar. Konfigurationer avseende vikt, längd och största tillåtna hastighet varierar betydligt mer än motsvarande parametrar för persontåg.

2.2 Södra stambanan

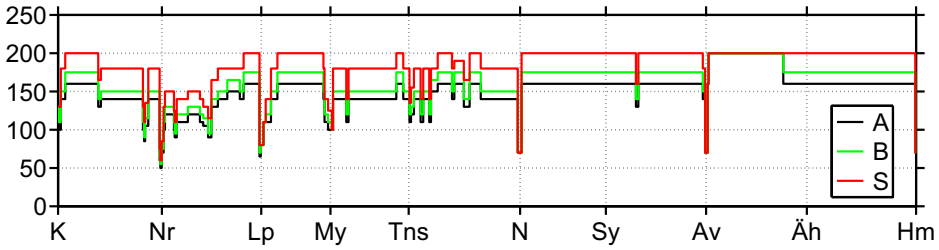
Huvudsyftet med projektet är att estimera linjestörningar från registrerad data och använda de i simuleringsprogrammet RailSys. Metoden används på ett delområde av Södra stambanan, sträckan Katrineholm–Hässleholm (figur 2.3). Trafiken är blandad, både avseende tågkategorier och hastigheter. Persontrafiken består av pendeltåg, regionaltåg och snabbtåg i varierande utsträckning. Av den totala mängden tåg har persontågen en hög andel, framförallt i norra delen av området.

På sträckan Mjölby–Hässleholm är godstrafiken omfattande, många tåg kommer från eller ska till Hallsberg. För att få med effekten av anslutande enkelspårssträckor och korsande trafik är modellen utvidgad till närmaste station på dessa anslutande banor. Modellens södra begränsningspunkt är Höör, vilket innebär att Hässleholm ligger innanför randen.



Figur 2.3: Södra stambanan simuleringsmodell, huvudsträcka i rött. Även delar av de blå banorna innefattas i syfte att få ett realistiskt in- och utflöde. Avstånd Katrineholm–Hässleholm 400 km.

Hastigheterna på banan varierar, både avseende tågkategori och delsträcka. De längsta sträckorna med hög kontinuerlig hastighet finns på banans södra del mellan Nässjö och Hässleholm (figur 2.4). Hastighetsprofilen har en större variation på banans norra del, begränsande faktor är i huvudsak kurvradier. Eftersom de flesta godståg inte nämnvärt överskrider hastigheten 100 km/h, har den statiska hastighetsprofilen inte samma begränsande inverkan som för snabbare persontåg. Däremot påverkar stigningar framförallt tunga godståg, lutningarna på Södra stambanan är dock relativt sett måttliga.



Figur 2.4: Statisk hastighetsprofil (km/h) för Södra stambanan mellan Katrineholm och Hässleholm. Standardprofil (A) och 10 % (B) respektive 30 % (S) hastighetsöverskridande.

Simulerad tidtabell baseras på en normal torsdag år 2010 enligt tidtabell T10. Hela sträckan trafikeras av X2000- och InterCity-tåg, det finns även flera regionaltågsupplägg som använder delar av sträckan. Tabell 2.1 visar den gruppindelning som används vid bearbetning av registrerad data inför simuleringar. I de flesta fall kan siffrorna för antal tåg översättas till antal tåg per dygn (typdygn).

Godstågsgrupperna uppvisar en större variation från dygn till dygn. För att även få med nattgrupper är varje simuleringscykel 32 timmar lång, vilket innebär att vissa tåg repeteras. I de fallen finns bara ett av tågen med i en utvärderingsgrupp. Grupperna *Gods dag* och *Gods natt* innehåller tåg som går på sträckan Mjölby–Hässleholm. En stor mängd av godstågen går relativt korta distanser på Södra stambanan och hamnar i gruppen *Gods kort*.

Drygt hälften av tågen i simuleringsmodellen ligger i någon av utvärderingsgrupperna. Resten är tåg på sidobanor som korsar Södra stambanan eller inte trafikerar den alls (figur 2.3). Det finns även repetitioner av tåg och ofullständiga tåg som tidsmässigt ligger nära de start- och sluttider som begränsar en simuleringscykel. Totala antalet tåg i modellen är 804. Tågen är inlagda enligt de tider som finns i Trafikverkets officiella tidtabell (T10), tidsjustering sker i första hand vid de stationer som finns definierade i figur 2.3 och vid platser med schemalagda uppehåll.

Tabell 2.1: Indelning för tåggrupper i simulering. Trafikeringsmönster för hel grupp anges med •. Mindre andel anges med ∘. Rikitning: söderut + norrut.

Grupp	K	Nr	Lp	My	Tns	N	Sy	Av	Äh	Hm	Tåg/riktning
Snabbtåg	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	13+13
InterCity/Natt	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	6+6
Regional 1	∘	•	•								23+21
Regional 2	•	•	∘								11+11
Regional 3					•	•					10+10
Regional 4						•	•	∘			7+7
Regional 5								•	•	•	16+16
Pendel		•	•	•	∘						47+46
Gods dag	∘	∘	∘	•	•	•	•	•	•	•	9+10
Gods natt	∘	∘	∘	•	•	•	•	•	•	•	16+10
Gods kort	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	45+48
Gods post	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4+4

De tågkonfigurationer som används i simuleringarna baseras i princip på samma data som används i körtidsberäkningsverktyget PcGTP (Trafikverket). Huvudsakligen definieras dragkraftsdiagram, vikt kompletterat med adhesionsvikt och tillskott för dynamisk vikt, längd och koefficienter för mekaniskt motstånd samt rull- och luftmotstånd. Förutom teknisk prestanda begränsas hastigheten även av en tågspecifik största tillåtna hastighet och en angiven statisk hastighetsprofil.

Förutsatt att önskad schemalagd körtid överskrider den i RailSys beräknade tekniskt minsta möjliga körtiden blir skillnaden tillgänglig som en körtidsmarginal. Normalt används ett förartillägg som är 3 % av den minsta möjliga tiden och hanterar mindre variationer i förarbeteende. Resten av marginalen kan bestå av olika typer av tillägg. Syftet med tidtabellsmarginaler är att hantera mindre störningar som inträffar under körning eller uppehåll. Mer specifikt kan det handla om att ge bättre förutsättningar för att uppfylla anslutningar mellan tåg, bättre precision vid ankomst till trångsektorer etc.

Persontågens konfigurationer är oftast kända, vilket ger en bra överensstämmelse i körtider. Godstågen uppvisar stor variation, framförallt avseende längd och vikt men även hastighet. Godstågens medelvärden för längd och vikt på Södra stambanan hösten 2008 var drygt 400 m respektive 1000 ton[4]. Schemalagda förbigångar av godståg är vanliga och kan skapa marginaler när förbigångar, p.g.a. operativa skäl inte behöver genomföras. Det är inte ovanligt att förbigångar flyttas till andra stationer eller att godståg som från början inte har schemalagda förbigångar drabbas av det i verkligheten.

I verkligheten och simuleringar kan marginalerna utnyttjas för att minska förseningar. Hur stor andel som i praktiken kan användas varierar, enligt tidigare simuleringsstudie kan den tillåtna andelen sättas kring 70–80 % för persontåg och 30–40 % för godståg [7]. Eftersom persontågen i många fall inte har lika stora relativa marginaler jämfört med godståg, ger en ökning eller sänkning av andelen större utslag för godståg än persontåg.

2.3 Metod

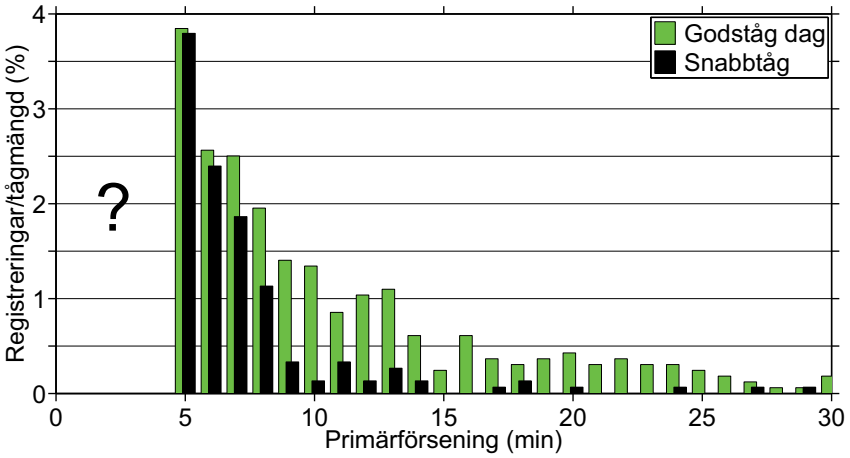
Registrering av tågpassager sker, som tidigare nämnts, normalt vid stationer och andra platser med schemalagda uppehåll. Tanken är att använda registreringarna för att skapa fördelningar ur vilka linjeförseningar slumpas på tåggrupper och på fördefinierade sträckor. Datan som används utgår från automatiska registreringar. Orsakskodad data som kräver manuell hantering används till jämförelser men inte som indata till simuleringar.

2.3.1 Orsakskodad data

Utöver de automatiska registreringarna sker även manuell rapportering där förseningar kopplas till fördefinierade orsaker. I normalfallet krävs en orsakskodning om förseningsökningen mellan två intilliggande registreringspunkter är minst fem minuter. På den analyserade delen av Södra stambanan är medelavståndet mellan registreringspunkterna drygt åtta kilometer. Förutsatt att schemalagda körtider är rimliga med hänsyn till aktuell tågtyp är en förseningsökning på fem minuter betydande för det avståndet. Effekten ökar med högre hastighet.

En följdeffekt av fem minutersgränsen är att mindre primärförseningar som sker lokalt kring två stationer och sträckan mellan dem inte framgår, även om flera tåg kan drabbas. Dessutom kan flera måttliga förseningsökningar för samma tåg som sker på olika sträckor sakna orsak, trots att den totala förseningen redan i ett relativt tidigt skede kan vara stor.

Tåg som av någon anledning inte uppnår normal prestanda, t.ex. försämrad acceleration eller hastighetsbegränsning, kan drabbas av förseningsökningar som inte behöver orsakskodas men sammantaget är betydande. En liknande situation uppstår om fordonstyp inte överensstämmer med den som tågläget är skapat för. Figur 2.5 visar andelen tåg med primärförseningar för två tåggrupper bestående av cirka 1500 tåg var.



Figur 2.5: Andel orsakskodade primärförseningar för två tåggrupper, Mjölby–Hässleholm.

2.3.2 Generering av primärförseningar för simuleringar

Eftersom de orsakskodade förseningarna inte ger någon information för intervallet 1–4 minuter behöver antaganden göras. En möjlighet är att använda befintlig orsakskodad data och göra ett antagande för intervallet under fem minuter, t.ex. extrapolation.

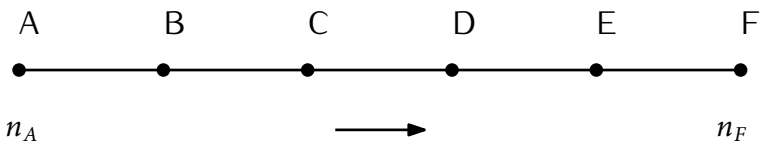
Alternativt kan en blandning mellan orsakskodade primärförseningar och registrerad data användas för att söka efter ett förhållande mellan primär- och totalförseningar. Ett tredje alternativ är att studera förhållandet mellan sekundär- och primärkodade förseningar och tillämpa det sambandet på låga minuter.

En annan möjlighet är att helt bortse från orsakskodade förseningar och enbart använda registrerad data. I princip görs fördelningar för olika tåggrupper som baseras på skillnaden i registreringarna mellan stationerna som definierar varje delsträcka.

Fördelningen ger ett övergripande prestationsmått för aktuell tåggrupp och ger en uppfattning om hur stor andel av tågen som försenas eller kör in ett visst antal minuter, alternativt förblir oförändrade. Däremot ger inte den typen av fördelning information om sannolikheten för ytterligare merförsening, givet t.ex. en införsening. De uppgifterna kan dock bestämmas från samma data.

Tågpassagedata finns för alla stationer angivna i figur 2.3 och även för aktuella stationer på anslutande banor som begränsar simuleringsmodellen. Perioden är från januari till och med juni 2008, d.v.s. i princip tidtabellsperioden T08.2. Eftersom simulerad tidtabell representerar en normal vardag används inte data för lördagar, söndagar och övriga helg- och klämdagar.

Den erhållna datan från Trafikverket är ordnad efter respektive station, ytterligare bearbetning krävs då för att länka tågnummer mot varandra och få den i ett format för hela sträckan (Katrineholm–Höör) där varje individuellt tåg kan följas. Principen för en delsträcka visas i figur 2.6, de registrerade värdena n_A and n_F jämförs för alla tågpassager i aktuell grupp.



Figur 2.6: Länkad passagedata för delsträcka från station A till F med tillhörande registreringar n_A and n_F.

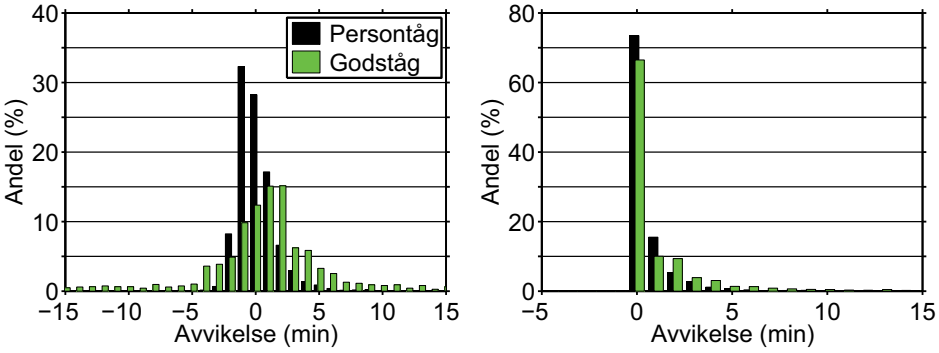
Skillnaden mellan de registrerade värdena (t) bestämms och kan innebära en förseningsökning eller minskning, alternativt oförändrat. I den datan som används innebär positiva registreringar ($n > 0$) en försening, tåg före tidtabellen har ett negativt tidsvärde ($n < 0$). Alla passager bidrar normalt till den empiriska fördelningen som blir resultatet för varje delsträcka och grupp. Tröskelvärden används för att filtrera bort tåg med stora avvikelser relativt planerad tidtabell eller stora förseningsökningar. I fördelningen hanteras tåg som kör in tid eller ligger före sin tidtabell som om de är i tid. Processen kan sammanfattas enligt

$$
\begin{aligned}
n_A \geq 0 \quad &\Longrightarrow \quad t = \begin{cases} n_F - n_A & \text{om } n_A \leq n_F \\ 0 & \text{om } n_A > n_F \end{cases} \\
n_A < 0 \quad &\Longrightarrow \quad t = \max\{0, n_F\}
\end{aligned}
$$

Datan som används har upplösningen en minut. Värdena är trunkerade vilket innebär att en registrering på minut T i verkligheten inträffat inom intervallet $T + 00\text{s} \leq T \leq T + 59\text{s}$. Om skillnader i registreringar mäts på korta avstånd, vilket motsvarar en kort körtid, kan felen i vissa fall bli betydande. En beräknad skillnad på T minuter ligger inom intervallet $T - 59\text{s} \leq T \leq T + 59\text{s}$. De fördelningar som blir indata till simuleringar är beräknade på avstånd mellan 30 och 50 km, det relativa felet minskar med avståndet.

När störd tågtrafik simuleras finns det en flytande gräns på hur stora förseningar som kan hanteras på ett realistiskt sätt. Nätets förutsättningar och mängden tåg avgör. Störningar som i verkligheten kräver speciella trafiklösningar är svåra att efterlikna och därför behöver de pålagda störningarnas maxvärden begränsas. Det gäller främst linje- och uppehållsstörningar, tåg med stora införseningar är i sig inget problem i en simulering. Stora punktförseningar kan innebära att spridningseffekten till andra tåg blir orimligt stor jämfört med verklig trafik.

De fördelningar som beräknas först beskriver hur stor andel av tågen i en grupp som avviker från schemalagd körtid på respektive delsträcka inlusive uppehåll, figur 2.7. Den verkliga fördelningen visar avvikelsen utan hänsyn till om tågen ligger före eller efter sin tidtabell. Planerade uppehåll för godståg kan ofta ställas in, antingen beroende på att aktuellt tåg inte ligger i närheten av sin planerade tidslucka eller att behovet inte finns av andra skäl vissa dagar. På liknande sätt uppstår även uppehåll för förbigång ad-hoc, d.v.s. i daglig drift och med kort varsel, vilket förlänger körtiden.



Figur 2.7: Avvikelse från planerad körtid Tranås–Nässjö, tidtabell T08.2 med två tåggrupper. Verklig fördelning (vänster) och anpassad fördelning för simulering (höger).

I de fördelningar som är anpassade för simuleringar representerar alla fall där verklig körtid är mindre än eller överensstämmer med den planerade att en förseningsökning inte kan ha inträffat på den delsträckan. När linjestörningar slumpas inför simuleringar bildar dessa fall sannolikheten för att ingen pålagd försening skapas. Lokalt kan förstås en förseningsökning på en del av sträckan senare utjämnas av en förseningsminskning eller tvärtom. Tågens möjlighet att minska uppkomna förseningar i simuleringarna styrs av andra parametrar.

2.3.3 Anpassning av fördelningar

De fördelningar som beräknas enligt figur 2.7 innehåller, som tidigare nämnts, både sekundär- och primärförseningar. Dessutom försvinner de förseningar som kan pareras innan sträckans slut. Ett antagande som görs är att nivån på primärförseningarna är mindre än de totala förseningarna som visas i figur 2.7. Metoden går ut på att reducera dessa fördelningar med en konstant andel i hela intervallet. Fördelningarna är trunkerade vid 20 minuter, vilket blir det största värdet som kan slumpas när de fördefinierade störningarna beräknas.

Den reducering som görs innebär att en viss andel (R) av förseningarna på respektive minutnivå (m) betraktas som primärrelaterade. Den totala tågmängden som varje fördelning baseras på hålls lika när andelsnivåerna ändras. Praktiskt innebär det att mängden tåg som inte får någon linjestörning växer. Om ursprungliga mängden registreringar betecknas med N och de anpassade med n kan hela processen skrivas som

$$m = 0 \quad \Longrightarrow \quad n_0 = N_0 + \sum_{m=1}^{m_{\max}} (1 - R) \cdot N_m$$

$$m > 0 \quad \Longrightarrow \quad n_m = R \cdot N_m$$

Fördelningarna varieras i fyra nivåer för person- och godståg var för sig. Det ger 16 olika kombinationer och simuleringar enligt tabell 2.2. Fördelningarna görs för de tåggrupper som finns i tabell 2.1. Nivåerna är valda för att täcka en stor del av det område där nivån för primärförseningarna kan förväntas ligga och även för att skillnaden från steg till steg ska ge en synbar effekt på resultaten [7].

Tabell 2.2: Fördelningsnivåer (R) i procent, persontåg (P) och godståg (G)

Tåg-	Simuleringsfall															
kategori	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
P	20	20	20	20	40	40	40	40	60	60	60	60	80	80	80	80
G	20	40	60	80	20	40	60	80	20	40	60	80	20	40	60	80

2.3.4 Modell för att hantera in- och utdata i RailSys

Ett delsyfte med projektet är att få en metod för att bearbeta en stor mängd förseningsdata och relativt enkelt kunna variera de störningar som genereras innan simuleringar. Det är möjligt att göra alla förseningar, platsdefinitioner och tåggrupper direkt i RailSys men hanteringen är omständig, speciellt i de fall som kräver

variationer i flera steg. Utöver detta är även möjligheten för att kontrollera slumptalsfröt i de olika stegen begränsad. Om tillräckligt många simuleringscykler används minskar betydelsen av vilket slumptalsfrö som används.

Stora nätverk kan ha långa cykeltider och det är oftast intressant att hålla antalet simulerade cykler på en rimlig nivå. En fördel är om det finns en kontroll på att endast de fördelningar som varieras ger nya värden och allt övrigt kan hållas lika. Slumpfelet i jämförelserna blir mindre och effekten av ändringarna kan identifieras lättare.

Efter simuleringar exporteras rådata från RailSys och hanteras delvis i samma struktur som indatan. Det ger dels flexibilitet i utvärderingen av olika parametrar jämfört med RailSys egen utvärderingsmodul, dessutom kan inte alla mått erhållas ur RailSys. I och med att införseningarna är kända och lagrade i strukturer innan simuleringarna underlättas jämförelser som baseras på att specifikt skilja ut t.ex. sekundärförseningar från totalförseningar.

Hanteringen av utdatan ger också möjlighet att söka efter systematiska händelser i simuleringarna som lokalt kan ha en stor påverkan på resultatet för enstaka eller grupper av tåg. I vissa fall kan det röra sig om en realistisk situation men det kan också bero på att simuleringsprogrammet gör en lösning som sett i ett verkligt perspektiv är ologisk. Även om de flesta beslut som programmet gör är relativt lättolkade med avseende på prioritetstal, förseningströsklar etc. går det ibland att hitta fall där konsekvenserna blir stora för något eller några tåg.

2.4 Resultat

2.4.1 Prestationsmått

Simuleringarna som görs jämförs mot verkligt utfall. Syftet är att se hur mycket inställningarna enligt tabell 2.2 påverkar resultaten och vilket eller vilka av dessa som ger en bra överensstämmelse. Sex tåggrupper används i respektive riktning (tabell 2.1), de är valda så att minst tre utvärderingsstationer ingår i varje grupp.

Utvärderingen sker mot förseningarnas medelvärden och dess standardavvikelser för varje utvärderingsgrupp och vid respektive station. Det går också att jämföra tågens punktlighet men det bör i så fall göras för flera nivåer för att få en bättre uppfattning. Punktlighet för enbart en nivå, t.ex. andel tåg med maximalt fem minuters försening, ger en förenklad bild eftersom det är svårt att uttala sig om tågens egentliga förseningar.

2.4.2 Simuleringsfall

När simuleringsresultat jämförs mot verkligt utfall används roten ur medelkvadratfelet (RMSE) vid varje utvärderingsstation som indikator på hur bra eller dåligt punkterna överensstämmer. Detta görs både för medelvärden och standardavvikelser. Om simulerade och verkliga värden betecknas med X respektive Y, skrivs RMSE enligt

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(X_i - Y_i)^2}$$

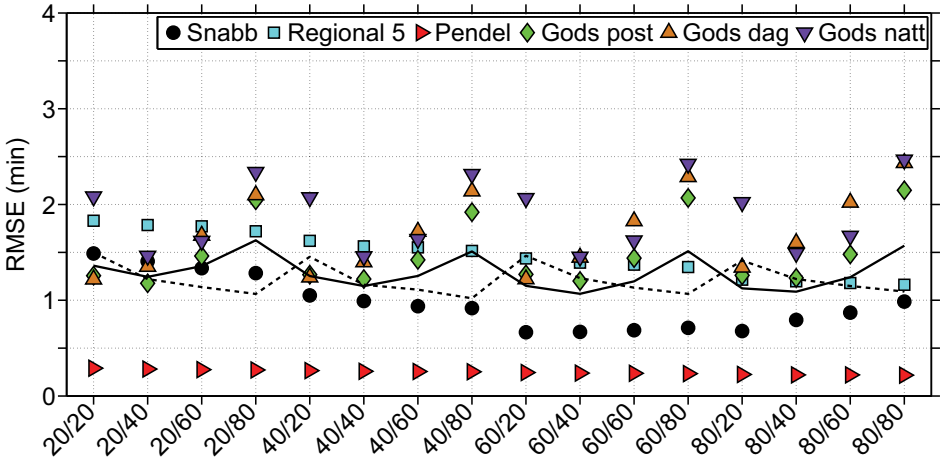
Resultaten för respektive riktning visas i figur 2.8 och 2.8. I södergående riktning är det tydligt att för godståg uppnås bra överensstämmelse på nivåerna 40 respektive 60 %. Eftersom godstågsgruppernas fördelningar oftast har en högre störningssannolikhet än motsvarande fördelningar för persontåg, blir skillnaden mellan nivåerna större.

Persontågsgrupperna uppvisar mindre variation och en bra överensstämmelse ligger på nivån 60 %. Pendeltågsgruppen har redan i ursprungsläget fördelningar med liten sannolikhet för störningar. Reduceringarna som görs ger då ingen större effekt och de störningar som slumpas fångas antagligen upp av befintlig tidtabellsmarginal. Sammantaget kan t.ex. simuleringsfall 60/40 relativt sett ge en bra kombination avseende förseningsnivåer.

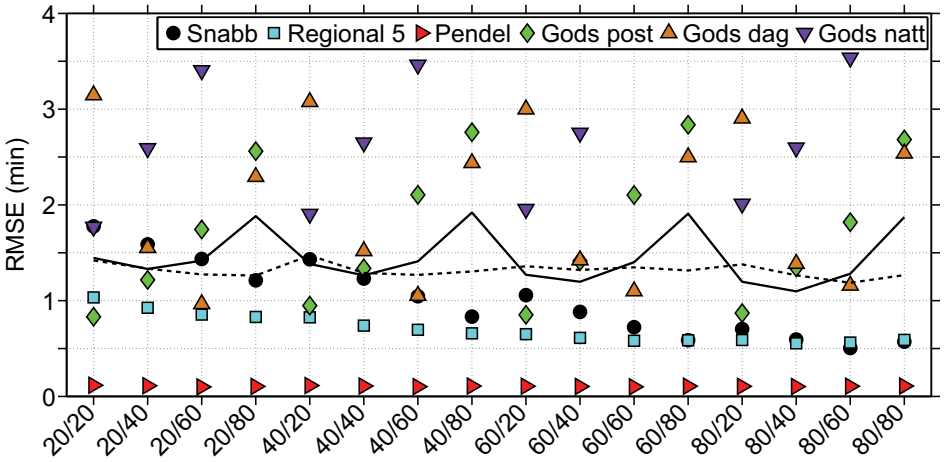
Variationen är betydligt större i norrgående riktning enligt figur 2.9, framförallt för godstågsgrupperna. Förklaringen är att de störningsfördelningar som används för linjeförseningar redan i ursprungsläget har högre medelvärden än motsvarande fördelningar i södergående riktning. Den reduktion som görs enligt tabell 2.2 ger, som tidigare nämnts, en relativt stor effekt.

Gruppen *Gods natt* har den största variationen mellan varje nivå. Fördelningar på nivån 80 % ger den sämsta överensstämmelsen för godstågsgrupperna avseende medelvärden. Det är svårt att bedöma vilken av nivåerna 20 eller 40 % som är att föredra. Hänsyn kan tas till tågmängden i respektive grupp, *Gods post* innehåller t.ex. mindre än hälften så många tåg som de övriga godsgrupperna i norrgående riktning. Tågmängden kan utgöra en viktningsparameter i bedömningen av nivåerna i tabell 2.2, vilket gör att nivån 40 % framstår som något bättre trots att skillnaden är liten.

Persontågsgrupperna har, som i södergående riktning, liten variation mellan respektive nivå. RMSE blir bättre för fallen på 60 och 80 %. Skillnaden mellan att välja fall 60/40 eller 80/40 är marginell. Även i norrgående riktning är pendeltågsgruppen i princip oberoende av vilken nivå som används.

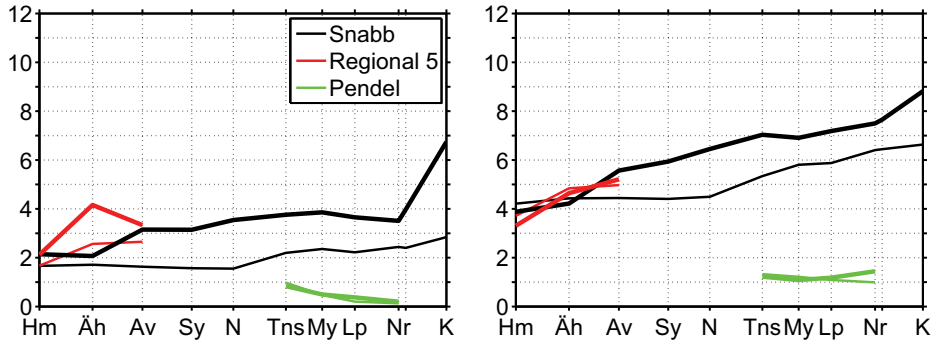


Figur 2.8: RMSE för medelvärden i södergående riktning. Punkternas medelvärden: heldragen linje för medelvärde, streckad linje för standardavvikelse.

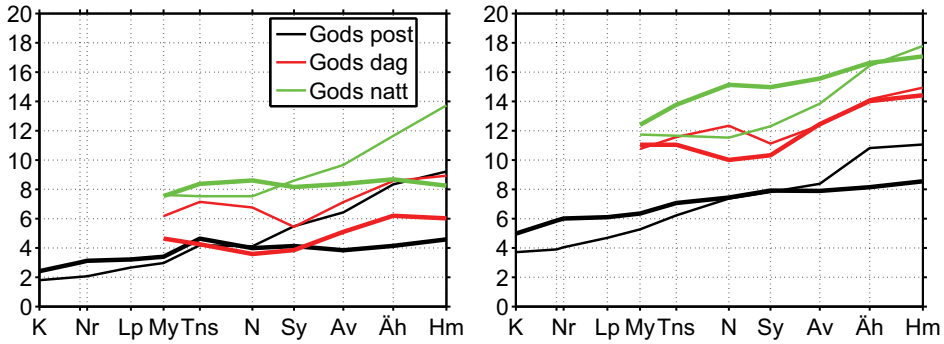


Figur 2.9: RMSE för medelvärden i norrgående riktning. Punkternas medelvärden: heldragen linje för medelvärde, streckad linje för standardavvikelse.

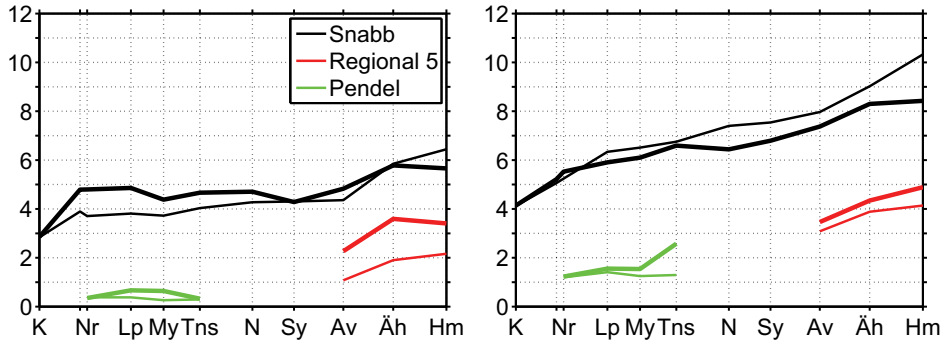
Eftersom nivåkombinationerna är riktningsoberoende i respektive fall är det nödvändigt att betrakta de båda riktningarna samtidigt för att bestämma ett bästa fall. Fall 10 framstår i det läget som det bra alternativ och innebär nivån 60 % för persontåg och 40 % för godståg. Resultaten kan också presenteras längs hela sträckan. Det ger en bättre överblick över hur bra eller dåligt de olika fallen motsvarar verkliga data. Figur 2.10–2.15 visar medelvärden och standardavvikelser för några av fallen enligt tabell 2.2.



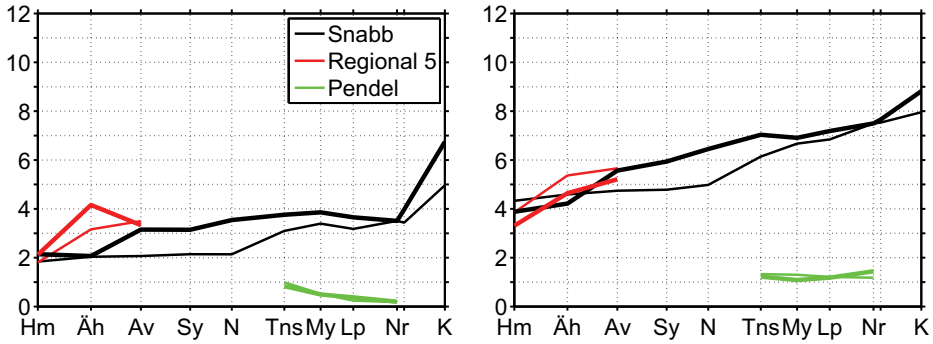
Figur 2.10: Persontåg norrut, fall 20/20. Simulerat utfall (tunna linjer), verkligt utfall (tjocka linjer). Medelvärde (vänster) och standardavvikelse (höger).



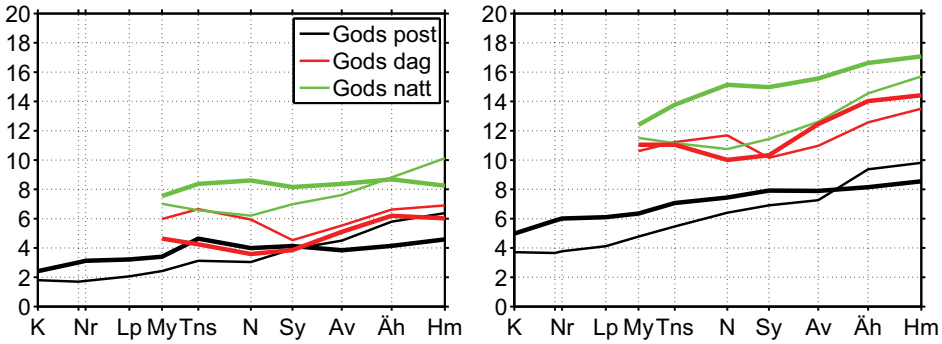
Figur 2.11: Godståg söderut, fall 80/80. Simulerat utfall (tunna linjer), verkligt utfall (tjocka linjer). Medelvärde (vänster) och standardavvikelse (höger).



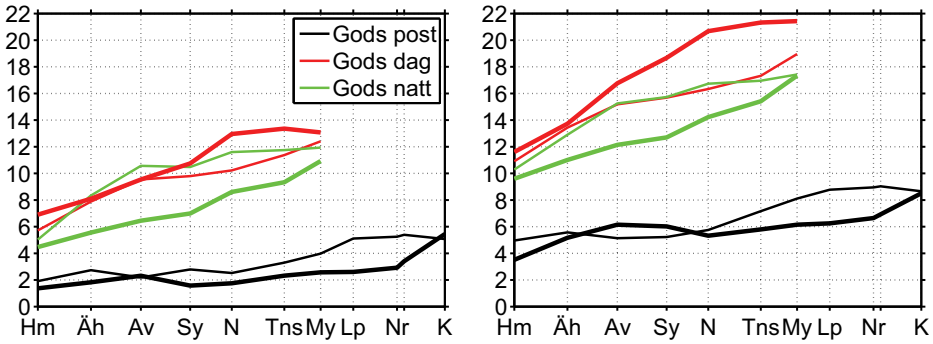
Figur 2.12: Persontåg söderut, fall 60/40. Simulerat utfall (tunna linjer), verkligt utfall (tjocka linjer). Medelvärde (vänster) och standardavvikelse (höger).



Figur 2.13: Persontåg norrut, fall 60/40. Simulerat utfall (tunna linjer), verkligt utfall (tjocka linjer). Medelvärde (vänster) och standardavvikelse (höger).



Figur 2.14: Godståg söderut, fall 60/40. Simulerat utfall (tunna linjer), verkligt utfall (tjocka linjer). Medelvärde (vänster) och standardavvikelse (höger).



Figur 2.15: Godståg norrut, fall 60/40. Simulerat utfall (tunna linjer), verkligt utfall (tjocka linjer). Medelvärde (vänster) och standardavvikelse (höger).

2.4.3 Jämförelser mellan in- och utförseningar

Ytterligare jämförelser mellan verkligt och simulerat utfall kan göras genom att studera utförseningar givet en införseningsnivå. Tidtabellens egenskaper kombinerat med operativa förutsättningar påverkar tågens förmåga att stå emot förseningar. Möjligheterna till att helt återställa eller minska en försening förutsätter att de tidstabellsmarginaler som finns i varierande grad kan utnyttjas. Hög belastning minskar ofta möjligheterna till att använda dessa marginaler fullt ut. Tabell 2.3 visar antal registreringar för verklig och simulerad data som ligger inom olika införseningsintervaller i figur 2.16 och 2.17.

Tabell 2.3: Antal observationer för införseningsintervallen i figur 2.16 och 2.17

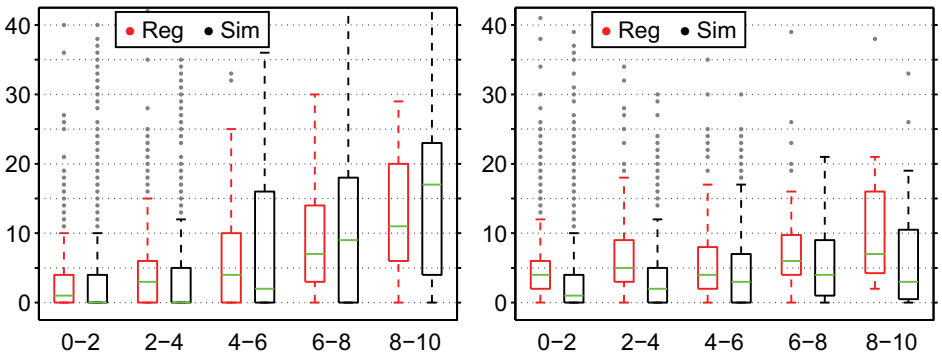
	Snabbtåg söderut					Snabbtåg norrut				
	0–2	2–4	4–6	6–8	8–10	0–2	2–4	4–6	6–8	8–10
Reg	715	290	143	81	46	899	230	106	39	23
Sim	1368	522	245	145	97	1872	324	147	70	24

	Godståg söderut					Godståg norrut				
	0–12	12–24	24–36	36–48	48–60	0–12	12–24	24–36	36–48	48–60
Reg	1271	146	69	29	22	1150	125	40	33	22
Sim	4515	594	234	142	49	4071	449	89	72	55

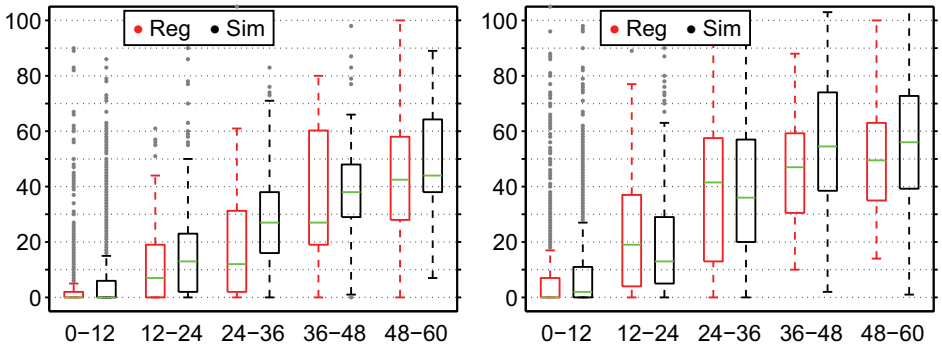
Figur 2.16 visar spridningen och medianvärdet på de utförseningar (y) snabbtågen har fördelat efter införseningsintervaller (x). På de lägre intervallerna får ett flertal tåg ingen eller en liten utförsening. De högre införseningsintervallen ger en större spridning på utvärdet, vilket delvis beror på att det finns relativt få registreringar jämfört med de lägre intervallen.

Motsvarande utvärdering för godstågen belyser den varians som finns i verklig trafik och de svårigheter det medför i en simuleringsmodell. Till skillnad mot det verkliga fallet går godstågen inte före sin tidtabell i simuleringarna. Däremot finns i många fall möjlighet till betydande förseningsminskningar p.g.a. minskade eller uteblivna uppehållstider för förbigång.

Även det motsatta gäller, d.v.s. godstågen drabbas av förbigångsuppehåll som inte finns i den planerade tidtabellen och får en förseningsökning. Uppehåll som innefattar växling bidrar också till variansen i godstågens tidhållning. Tåg som gått före sin planerade tidtabell hamnar i första intervallet och bidrar till det stora antalet registreringar som finns där jämfört med de övriga intervallen.



Figur 2.16: Utförsening för snabbtåg Katrineholm–Hässleholm uppdelat i införseningsintervaller (min), verkligt och simulerat utfall enligt fall 60/40 (Reg/Sim). Riktning söderut (vänster) och norrut (höger).



Figur 2.17: Utförsening för godståg Mjölby–Hässleholm uppdelat i införseningsintervaller (min), verkligt och simulerat utfall enligt fall 60/40 (Reg/Sim). Riktning söderut (vänster) och norrut (höger).

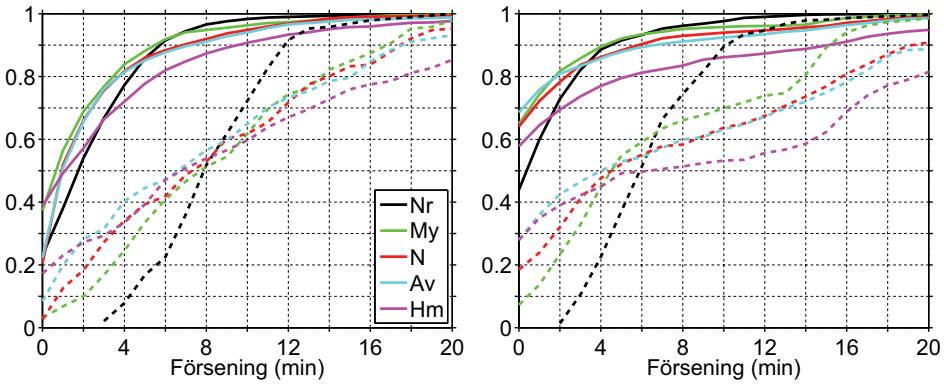
En liknande princip används för att visa hur förseningarna ändras längs hela sträckan. Fördelningskurvor grupperade i införseningsintervaller ger information om hur stor andel av tågen i respektive grupp som ligger över eller under en viss förseningsnivå vid angivna stationer. Tabell 2.4 visar mängden registreringar för verkligt och simulerat utfall i respektive införseningsintervall enligt figur 2.18 och 2.19. Den stora mängden registreringar i första intervallet för norrgående godståg i Hässleholm illustreras i figur 2.1, där ungefär hälften av de visade avgångarna ligger före planerad avgångstid.

Tabell 2.4: Antal observationer för införseningsintervallen i figur 2.18 och 2.19

	Snabbtåg		Godståg		
	0–5	5–10	0–20	20–40	40–60
Reg	1083	191	1242	74	46
Sim	2005	372	4425	213	98

Södergående snabbtåg i intervallet 0–5 min uppvisar endast små förändringar mellan de visade stationerna (figur 2.18). En viss förbättring sker mellan Norrköping och Mjölby, tågen kan använda sig av de tidtabellstillägg som finns på sträckan och reducera mindre förseningar. På sista delsträckan mellan Alvesta och Hässleholm sker, speciellt i det simulerade fallet, en försämring för många tåg. Det framgår även i figur 2.12 där en tydlig förseningsökning uppträder på sträckan.

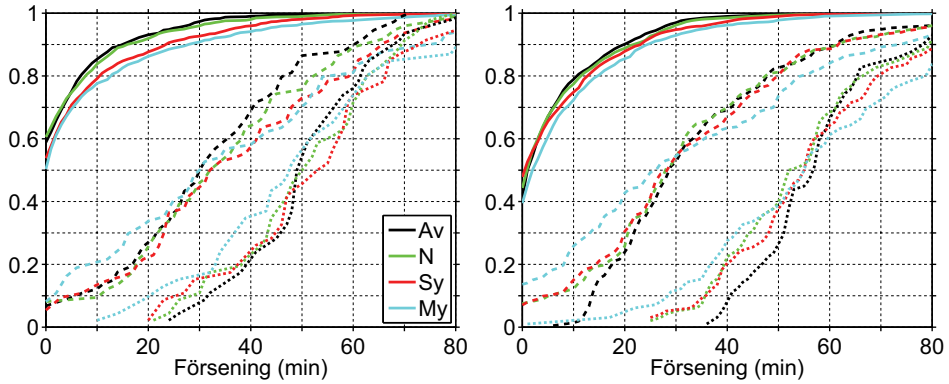
För tågen i intervallet 5–10 min syns en tydlig försämring mellan Norrköping och Mjölby över en viss förseningsgräns. En trolig förklaring är att tågordningen ändras mellan snabbtågen och pendeltågen i Östergötland. Förbigångsmöjligheterna är begränsade i verkligheten och i simuleringarna saknas de helt. Även i det högre inforseningsintervallet framgår försämringen mellan Alvesta och Hässleholm.



Figur 2.18: Avgångsfördelningar vid vissa stationer för södergående snabbtåg baserat på införseningsintervaller i Katrineholm, 0–5 min heldragna linjer, 5–10 min streckade linjer. Verkligt utfall (vänster) och simulerat utfall (höger).

Liknande fördelningar visas för norrgående godståg i figur 2.19. Den stora mängden registreringar i båda fallen finns i det lägsta införseningsintervallet. Inom respektive intervall sker inga större förändringar, tågen i införseningsintervallet 40–60 min uppvisar en något bättre återhämtning för verkligt utfall än i det simulerade fallet.

Många av de planerade uppehållen som sker för godståg kan ställas in i verkligheten, det har inte modellerats fullt ut i simuleringarna där tågen alltid gör ett uppehåll. Om ingen förbigång sker måste tågen bromsa till stillastående och därefter accelerera, själva uppehållstiden är noll sekunder. Godstågen drabbas även av oplanerade förbigångar, vilket gör att effekten av den tidsvinst som kan göras vid en indragen förbigång jämnas ut om uppehållet flyttas några stationer framåt.



Figur 2.19: Avgångsfördelningar vid vissa stationer för norrgående godståg baserat på införseningsintervaller i Hässleholm, 0–20 min heldragna linjer, 20–40 min streckade linjer, 40–60 min prickade linjer. Verkligt utfall (vänster) och simulerat utfall (höger).

2.4.4 Placering av linjestörningar

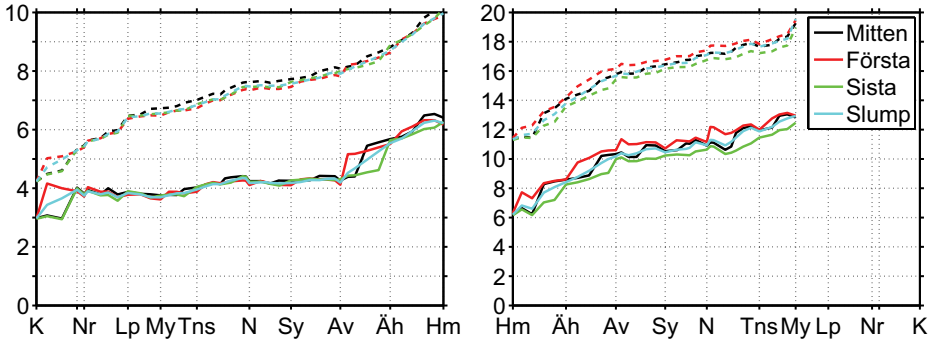
Beräkning av linjestörningar sker enligt indelning i figur 2.3. Delsträckorna består av 2–7 stationer exklusive de stationer som bildar gränspunkter, d.v.s första och sista station. En stor andel av tågen trafikerar minst en delsträcka vilket i de flesta fall möjliggör länkning av tågnummer och ruttsökning utifrån förseningsdata för de stationer som finns i figur 2.3 kompletterat med stationer på anslutande banor.

I simuleringsmodellen appliceras linjestörningarna punktvis på en linjesträcka mellan två på varandra följande stationer. I de simuleringar som presenteras i rapporten används, beroende på hur många mellanliggande stationer som finns, en linjesträcka som ligger i mitten eller nära mitten. Samma princip har tillämpats i flera tidigare genomförda simuleringsstudier vid KTH.

Även om förseningsdata för all stationer bearbetas, innebär den dåliga upplösningen (trunkering till hela minuter) att det kan vara svårt att uppskatta förseningar för varje enskild linjesträcka. I extremfallet kan två tåg ha en verklig körtidsskillnad på nästan två minuter men ändå få samma körtid om den bestäms utifrån förseningsdata.

I syfte att studera skillnaden med olika ansatser avseende placering av linjestörningar, jämförs resultatet för fyra simuleringar i figur 2.20. Första fallet avser den tidigare nämnda ansatsen där pålagda störningar läggs i eller nära mitten på respektive delsträcka. I de två följande fallen används första respektive sista linjesträcka som störningspunkt.

Sista alternativet består av likformig slumpning, d.v.s. varje linjesträcka har samma sannolikhet att bli en störningspunkt. De fyra fallen har i övrigt identiska störningar i varje simuleringscykel. Enda skillnaden är placeringen av linjestörningarna.



Figur 2.20: Simuleringsresultat med linjeförseningar pålagda på olika sträckor, södergående snabbtåg (vänster) och norrgående godståg (höger). Medelvärde (heldragen linje), standardavvikelse (streckad linje).

Det framgår ur figur 2.20 att skillnaderna mellan de olika fallen är små. Om en störning inträffar tidigt på en delsträcka kan ett tåg delvis använda eventuellt tidtabellstillägg för att reducera effekten av förseningen fram till delsträckans slut. Eftersom tågen i simuleringarna normalt inte kan ligga före sin tidtabell, blir effekten av tidtabellstilläggen att tågen kör något långsammare än vad som är möjligt.

I det avseendet kan det därför vara en fördel att drabbas av en störning tidigt på en delsträcka och ha möjlighet att använda en större del av tillägget för att köra in tid. Det beror dock även på hur stor andel av tilläggen som kan användas i simuleringarna.

En störning som inträffar på sista linjesträckan kan, enligt liknande resonemang, innebära en större försening vid delsträckans slut än om motsvarande störning ligger på första linjesträckan. Omvänt kan sägas att sannolikheten för sekundära förseningar på delsträckan kan öka något om linjestörningarna inträffar i början.

En från början konfliktfri tidtabell behöver i simuleringen störas med primära störningar för att eventuella sekundära störningar ska uppstå. I verkligheten kan störningar uppstå längs hela delsträckan, ur det perspektivet är alternativet med slumpning av linjesträckor mest realistiskt och ger en jämn spridning.

2.5 Slutsatser

Resultaten visar att primära linjestörningar på dubbelspåriga linjer kan estimeras från registrerad förseningsdata. I det här fallet är indelningen i delsträckor relativt grov, förmodligen uppnås en förbättring om data finns för alla stationer även om själva störningarna inte definieras för varje linjesträcka. Det blir då möjligt att lättare avgöra om ett schemalagt uppehåll för godståg är flyttat eller helt indraget, alternativt att oplanerade uppehåll genomförts. En sådan händelse modelleras normalt på annat sätt och inte som en primär linjestörning.

Ett problem med den data som använts är att ankomstregistreringar endast finns om tågen har ett schemalagt uppehåll. För persontåg innebär det inget större problem eftersom oplanerade uppehåll, liknande de för godståg, är relativt sällsynta. Däremot blir det svårare att identifiera oplanerade uppehåll som inträffat för godståg. En förändring i tågföljden som skett på två linjesträckor med tre stationer inblandade kan indikera detta.

Enklast är dock om all data kan fås med både ankomst- och avgångsregistreringar vid varje station, oavsett om det finns schemalagda uppehåll eller inte. Det skulle inte enbart innebära bättre förutsättningar för indatabearbetning inför simuleringar utan underlättar även analys av den verkliga trafiken.

Det finns många anledningar till skillnader mellan simulerade och verkliga resultat. En uppenbar sådan är att tidtabell och förseningsdata inte representerar samma period. Även om tidtabellerna (tågplanerna) inte nödvändigtvis varierar speciellt mycket från år till år finns det ändå skillnader, i synnerhet för godståg.

I RailSys finns inget stöd för att enkelt skapa tåg som ligger före sin egentliga tidtabell. Många godståg uppvisar en stor varians från dag till dag avseende tidhållning. Det är i många fall lika vanligt med tidiga godståg som sena. Avsaknaden av tidiga tåg är en begränsning i de simuleringar som gjorts hittills.

Ett tänkbart sätt att modellera detta är att tidigarelägga alla godståg i den simulerade tidtabellen och anpassa införseningsfördelningar. På det sättet kan avgångarna fås att efterlikna exemplet i figur 2.1. Preliminära försök har gjorts på en del av den modellen som beskrivs här, resultat visar att relativt god överensstämmelse kan uppnås för godståg och påverkan på persontågen är liten. Flertalet godståg har lägre trafikledningsprioritet än persontåg i simuleringarna, vilket bidrar till att persontågen inte påverkas nämnvärt i simuleringarna.

3 Analys och utvärdering av tidtabeller med Gröna tåget

3.1 Inledning

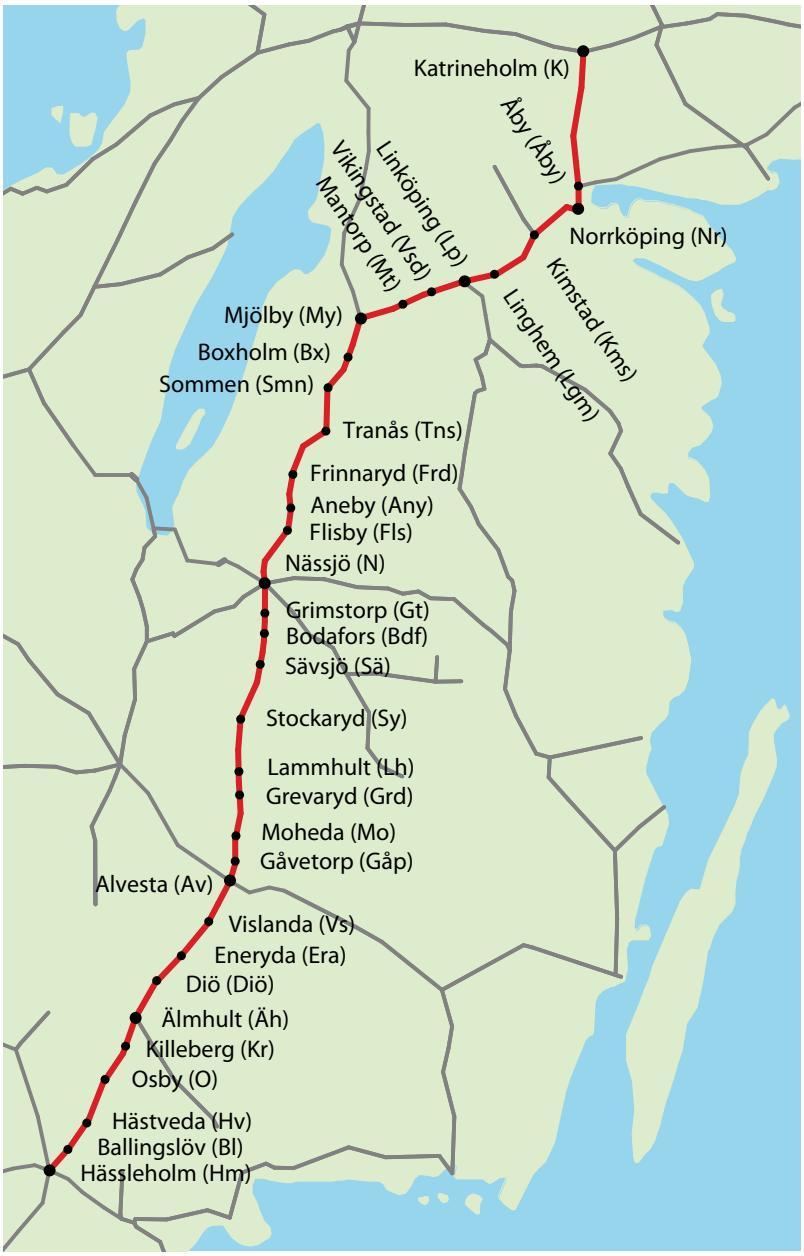
3.1.1 Syfte

Den här analysen syftar till att bedöma hur kapacitetssituationen på Södra stambanan (SSB) påverkas om dagens snabbtåg med största tillåtna hastighet (sth) 200 km/h (X 2000) ersätts av snabbtåg med sth 250 km/h (Gröna tåget) och vilka effekter olika åtgärder (förändringar i tidtabellen, infrastruktur, uppehållsmönster o.s.v.) ger på punktlighet och restider. Resultaten ska kunna visa hur ökade hastighetsskillnader på upprustade banor med blandad trafik påverkar bankapaciteten och vilka åtgärder som kan vara lämpliga för att kompensera de för tågföringen negativa effekter som hastighetshöjningen kan medföra. Analysen använder sig av slutsatser som har dragits i tidigare avsnitt.

3.1.2 Förutsättningar

Avgränsning

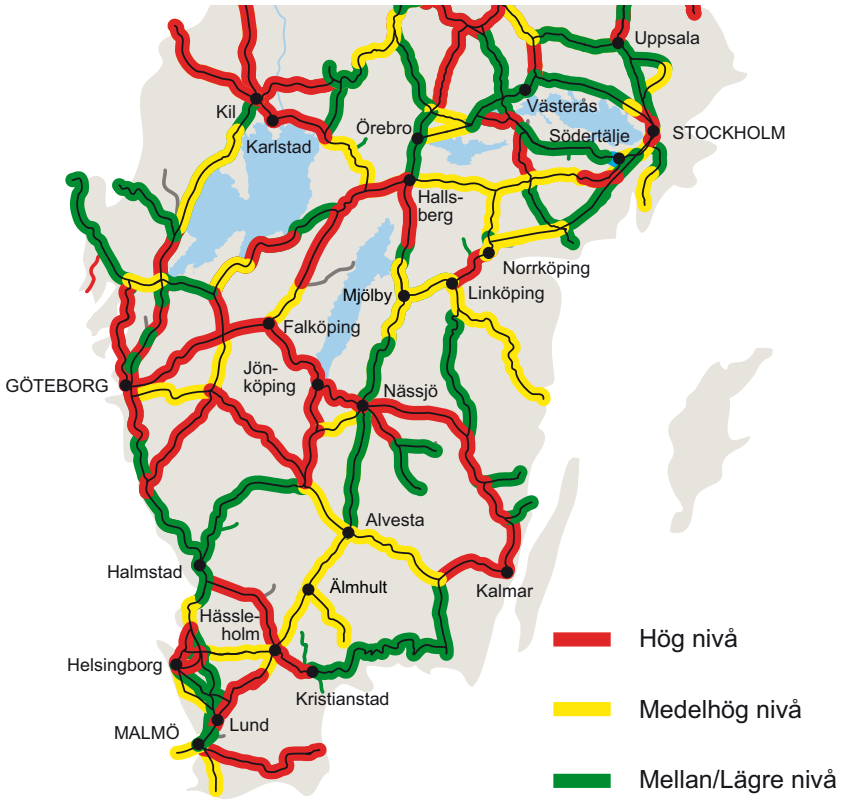
Analysen omfattar Södra stambanan i södergående riktning mellan Katrineholm och Hässleholm. Trafikutbudet i norrgående riktning är jämförbart med den södergående trafiken. Resultaten bedöms kunna användas även för norrgående riktning men hänsyn måste tas till skillnader i infrastrukturen (t.ex. på vilken sida förbigångsspår är placerade), förseningsfördelningar och fördelningen över dagen. Trafiktoppen kan mer eller mindre sammanfalla för olika trafikupplägg. Dessa aspekter undersöks inte i utredningen. Figur 3.1 visar de stationer och hållplatser som används i analysen och i resultatdiagram för södergående trafik.



Figur 3.1: Karta för delen Katrineholm–Hässleholm med stationer och hållplatser för resandeutbyte samt stationer med förbigångsmöjlighet i tidtabellsanalyser och simuleringar.

Problembeskrivning – kapacitetssituationen idag och i framtiden

Den analyserade sträckan mellan Katrineholm och Hässleholm är idag hårt belastad och efterfrågan på utökad trafik finns. Trafiken är blandad med olika maxhastigheter, uppehållsmönster och fordonsprestanda. Baserad på trafikefterfrågan (järnvägsföretagens ansökningar) i relation till beräknat kapacitetsutnyttjande enligt UIC 406 bedömer Trafikverket att kapacitetsbegränsningarna är stora mellan Norrköping och Linköping idag (figur 3.2). För resterande avsnitt på Södra stambanan bedöms begränsningarna till stor del vara medelstora, framförallt under de två mest belastade timmarna på dagen [12], när lägre/medelhöga belastningar endast kan nås på sträckan Tranås—Alvesta på den betraktade sträckan



Figur 3.2: Kapacitetsbegränsningar för max 2 timmar hösten 2011 inklusive den analyserade sträckan (källa: Trafikverket [12]).

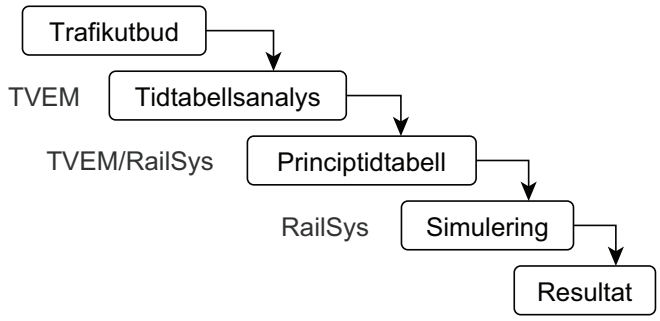
I tågplan T11, som gällde från december 2010 och ett år framåt, har avsnittet mellan Norrköping och Mjölby förklarats överbelastat under några tidsintervaller på dagen [13]. Några tåglägen som hade sökts fick ändrade tidtabeller. För tågplan T12 tog operatören SJ AB tillbaka ansökan för tre ytterligare snabbtågsförbindelser på sträckan Stockholm—Malmö p.g.a. att kapacitetssituationen skulle kräva 20–30 minuter tillägg [15].

Trafikverket bedömer att begränsningarna ökar fram till år 2015, så att de exempelvis når en medelstor nivå även mellan Nässjö och Alvesta [14]. Kapacitetsbristen kan leda till att trafiken inte kan utföras enligt den tidtabell som önskas, att förseningarna ökar och att återställningsförmågan vid störningar minskar. Sannolikheten för merförseningar för persontåg har bedömnts vara medelhög mellan Norrköping och Hässleholm. Motsvarande gäller delvis även för godståg, på sträckan Mjöby–Nässjö är sannolikheten hög.

I samband med ökad efterfrågan och nya trafikupplägg i framtiden kommer även kapacitetssituationen att ändras. Den här studien ska visa hur en ökning av snabbtågens hastighet och därmed ökade hastighetsskillnader på banan påverkar kapaciteten och vilka åtgärder som kan sättas in för att förbättra situationen.

3.1.3 Metod

Figur 3.3 visar hur analysen genomförs. Trafikutbud skapas för olika scenarion, därefter genomförs tidtabellsanalyser i syfte att utforma principtidtabeller som används i simulering. Med hjälp av resultaten utvärderas systemets stabilitet med hänsyn till punktlighet. Inte för alla alternativ genomförs samtliga steg. I det här kapitlet förklaras de olika stegen i metoden närmare. Indata, utredningsalternativ och de använda datorprogrammen RailSys och TVEM beskrivs.



Figur 3.3: Översiktlig beskrivning av metod som används i analysen.

Indata

Trafik

Trafiken som används i analysen utformas från tågplan T11 och planer för framtida trafik. Principtidtabeller med styv trafik, d.v.s. med regelbundet återkommande tåglägen varje eller varannan timme för samtliga trafikupplägg, skapas för samtliga referens- och utredningsalternativ. Som analysår för framtida trafik med Gröna tåget i stället för dagens snabbtåg X 2000 valdes år 2020. Analyserna genomförs för persontrafikens högtrafik, d.v.s. för de två timmarna då flest persontåg trafikerar den studerade sträckan. Avgångarna på Södra stambanan systematiseras enligt tabell 3.1 och beskrivs närmare i följande avsnitt.

Referensår 2011

Snabbtågen (GTR och GTF), trafikeras idag med X 2000 och har som huvuduppgift att erbjuda snabba förbindelser mellan Stockholm och Malmö/Köpenhamn. GTR har ett uppehållsmönster motsvarande dagens X 2000, med uppehåll i Norrköping, Linköping, Mjölby, Nässjö, Alvesta och Hässleholm. I analysens principtidtabell för referensåret 2011 går tågen en gång i timmen. Trafikutbudet för år 2011 beskrivs även i figur 3.4.

Med GTF avses ett nationellt upplägg med uppgift att erbjuda minimal restid mellan Stockholm och Malmö. Antalet uppehåll är reducerat jämfört med GTR i syfte att minska restiden. Upplägget motsvarar X 2000 med tågnummer 501 som bara stannar i Hässleholm och Lund på den analyserade sträckan. Tågen kompletterar det reguljära trafikutbudet genom att gå mellan två avgångar med vanligt uppehållsmönster på eftermiddagen. En avgång varannan timme överstiger dagens utbud men är lämpligt att välja för en analys av högtrafikperioden.

InterCity-trafiken från Stockholm till Malmö körs idag av två operatörer med 2–3 avgångar var per dag. Avgångarna ligger nära inpå varandra under morgonens maxtimme, därefter glesare. I studien sammanfattas uppläggen med begreppet IC-tåg med ett tåg varannan timme. Uppehållsmönster och tider för resandeutbyte samt tågens prestanda och maxhastigheter skiljer sig mellan och även inom trafikuppläggen. För analysen används ett IC-tåg med maxhastighet 160 km/h och anpassad uppehållsmönster (två minuter annonserad uppehållstid i Norrköping, Linköping, Nässjö, Alvesta och Hässleholm).

Tabell 3.1: Sammanställning av trafikupplägg och turtäthet för persontåg som trafikerar hela eller delar av sträckan Katrineholm–Hässleholm

Upplägg/Fordon	Sträcka	Nr[1]	2011	2020
GTR[2] X 2000/S250	Snabbtåg med reguljära uppehåll Stockholm–Malmö/Köpenhamn	521	1	1
GTF X 2000/S250	Snabbtåg med färre uppehåll Stockholm–Malmö/Köpenhamn	501	0.5	1
IC RC-6v	Motsvarar dagens InterCity Stockholm–Malmö	201	0.5[3]	1
Krösatåg X61	Nässjö–Alvesta Nässjö–Stockaryd	18521 18523	0.5[4] 0.5	1[5] 0.5
Öresundståg X31	Kalmar–Köpenhamn	11031	1	1
Pågatåg X61	Pågatåg Nordost Växjö–Hässleholm	11131	0	1
Regionaltåg i Östergötland X40 X50	Stockholm–Katrineholm–Linköping Stockholm–Nyköping–Linköping Stockholm–Nyköping–Norrköping Uven: Uppsala–Västerås– Eskilstuna–Norrköping/Linköping	255 219 221 2085 2103	1 0.5 0.5 0.5 0.5	1 0.5 0.5 0.5 0.5
Pendeltåg i Östergötland (Ötraf) X61	Norrköping–Nässjö–Jönköping Norrköping–Tranås Norrköping–Mjölby	8713 8717 8715	1 1 1	1 2 1[6]

[1] Representativt tågnummer i tågplan T10
[2] Beteckning GT (Gröna tåget) används även för X 2000 i de alternativen som trafikeras med X 2000 istället för Gröna tåget
[3] Två operatörer kör idag varsitt tåg ungefär en timme efter varandra, i övrigt med lägre frekvens
[4] Går idag med lägre frekvens
[5] Från januari 2013: 11–12 dubbelturer Jönköping–Växjö med nya uppehåll i Lammhult och Moheda
[6] Uppläggen till Mjölby och Tranås fortsätter från Mjölby till Motala

Pendeltågstrafiken i Östergötland (Ötraf) bygger på 20-minuterstrafik på sträckan Norrköping–Mjölby där samtliga tåg gör uppehåll på alla mellanstationer med möjlighet för resandeutbyte. Ett tåg i timmen går vidare till Jönköping och trafikerar den analyserade sträckan fram till Nässjö. Några enstaka avgångar går till Tranås och övriga vänder i Mjölby. I principtidtabellen antas att ett tåg per timme vänder i Mjölby, ett i Tranås och ett fortsätter till Jönköping. Fordon X61 används.

Norra delen av den analyserade sträckan trafikeras av olika regionaltågsupplägg som vänder i Norrköping eller Linköping. Utöver tåg från/till Stockholm som går via Katrineholm eller Nyköping, finns även tåg som kommer från eller går till Uppsala/Västerås/Eskilstuna via Katrineholm (Uven). Trafiken är oregelbunden och tidtabellstiderna varierar. Turtätheten förenklas enligt tabell 3.1. Regionaltågstrafik från Stockholm trafikeras idag mestadels med fordon X40 och Uven med X50, dessa används i samtliga alternativ.

Krösatågen trafikerar idag Södra stambanan på sträckan Nässjö–Alvesta. Samtliga tåg trafikerar sträckan Nässjö—Stockaryd, tre av sju avgångar fortsätter till Alvesta. Krösatågen gör uppehåll på tre platser som inte trafikeras av något annat trafiksystem (Bodafors, Stockaryd och Sävsjö). Trafiken är oregelbunden med 1–3 timmar mellan avgångarna. För referensåret sammanfattas trafiken till en avgång varannan timme för både vändande tåg och sådana som fortsätter till Alvesta.

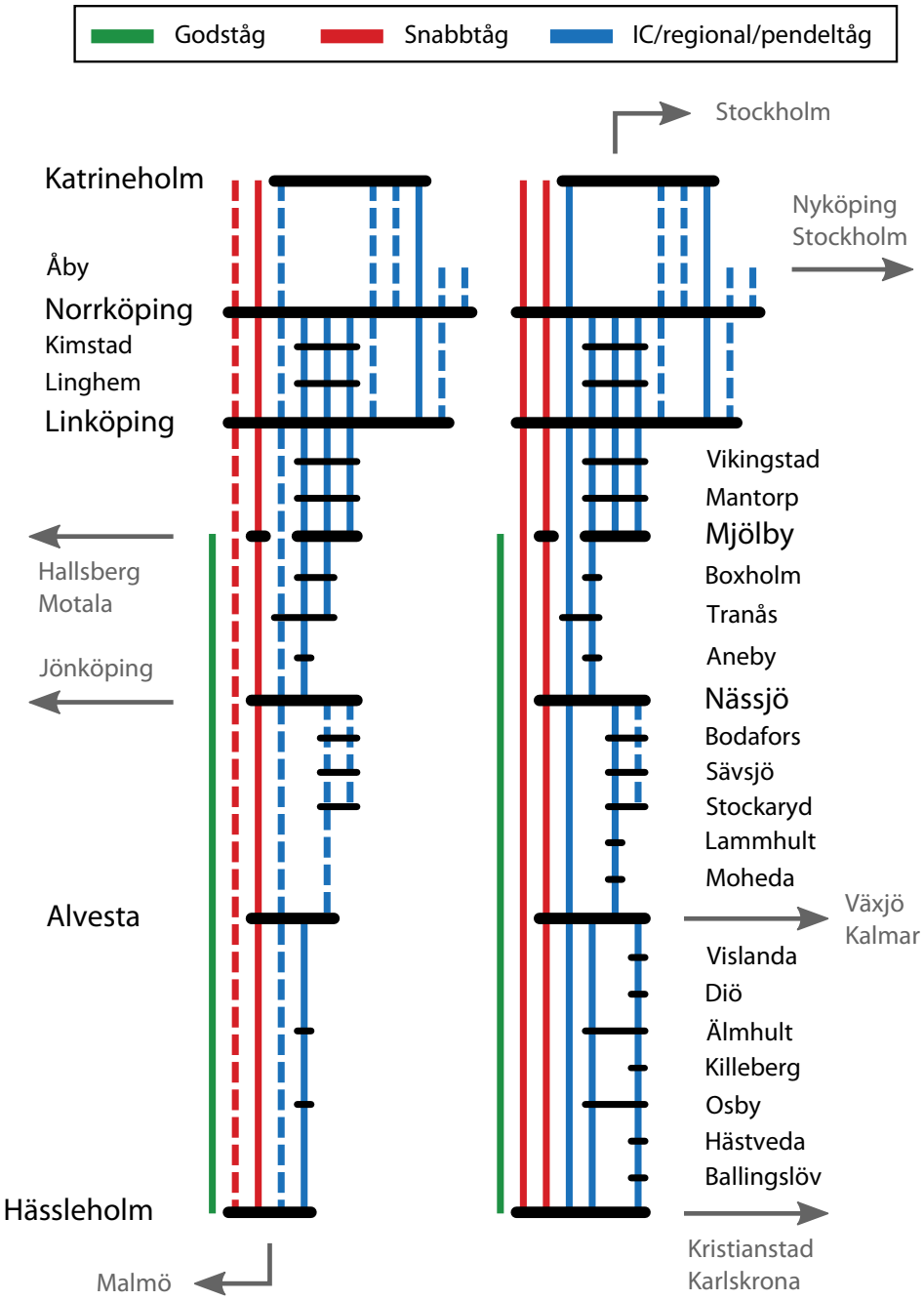
Öresundstågen mellan Kalmar och Köpenhamn använder delen mellan Alvesta och Hässleholm i det analyserade området av Södra stambanan. Turtätheten är ett tåg per timme. Sträckan trafikeras idag av ett stort antal godståg av varierande karaktär. Här görs en avvägning och godstågen modelleras enbart mellan Mjölby och Hässleholm som är ett av de tunga godsstråken i Sverige. Kravet för principtidtabellen är minst ett läge per timme under persontrafikens rusningstid.

Analysår 2020

Trafikutbudet för år 2020 baserar bl.a. på Skånetrafikens *Tågstrategi 2037* [11], Trafikverkets projekt om Pågatåg Nordost och Krösatåg samt projektet *TSS – Tågstopp Södra stambanan* (Regionförbundet södra Småland) [2]. Avgångarna för non-stop snabbtågen (GTF) samt IC-tågen ökas från varannan till varje timme. För Krösatågens trafikutbud söderut från Nässjö antas en ökning till ett tåg per timme under högtrafik till Alvesta[1] [2]. Nya uppehåll tillkommer i Moheda och Lammhult.

Trafiken på södra delen av den analyserade sträckan kompletteras dessutom med *Pågatåg Nordost*, ett nytt trafikupplägg mellan Alvesta och Hässleholm [1]. Jämfört med övriga upplägg gör tågen fler uppehåll på sträckan. I analyserna antas Pågatåg Nordost bedrivas med fordon X61. Under utredningens avslutning påbörjades en diskussion om ändrat marknadsnamn till Krösatåg med fordon X11, men detta har inte analyserats. Även år 2020 är kravet att ett godstågsläge ska finnas mellan Mjölby och Hässleholm under persontrafikens maxtimme. Trafikutbudet för år 2011 och år 2020 beskrivs i figur 3.4.

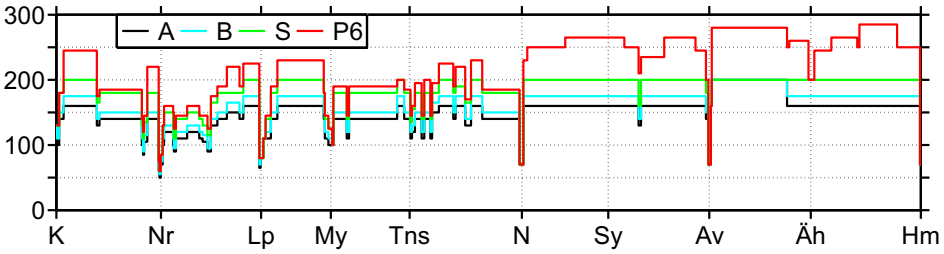
[1] Clas Carlsson, Länstrafiken Kronoberg (mailkontakt mars 2011). Nya regionaltågsstationer, trafikering Krösatåg.
[2] Maria Wedin, Trafikverket (mailkontakt 14/3-2011). Trafikering Jönköpingsbanan.



Figur 3.4: Trafikutbud för år 2011 (vänster) och år 2020 (höger). Heldragen linje avser turtäthet med ett tåg per timme och streckad linje ett tåg varannan timme.

Infrastruktur

Infrastrukturmodellen avser Södra stambanan och aktuell sträcka år 2010. Statisk hastighetsprofil för Gröna tåget baseras på hastighetshöjningar som uppnås genom högre anordnad rälsförhöjning (h_a) och rälsförhöjningsbrist (h_b). Beräkningarna baseras på de cirkulärkurvor (kurvradier) som finns på nuvarande bana [9]. Hastighetsprofil P6, enligt figur 3.5 med h_a = 160 mm och h_b = 275 mm används för Gröna tåget.



Figur 3.5: Statisk hastighetsprofil (km/h) för delen Katrineholm–Hässleholm, Gröna tåget använder profil P6.

Infrastrukturmodellen omfattar de nya hållplatserna som planeras och byggs för nuvarande på sträckan mellan Nässjö och Alvesta (Lammhult och Moheda) samt mellan Alvesta och Hässleholm (Vislanda, Diö, Killeberg, Hästveda och Ballingslöv). Uppehåll sker på huvudtågspåret på samtliga nya stationer [1, 2][3] [4]

Tidtabell och körtider

Körtider beräknas med RailSys och används både i simuleringar och som underlag i TVEM. Ny statisk hastighetsprofil med högre rälsförhöjning tillämpas bara för Gröna tåget. De övriga tågens maxhastigheter överskrider inte 200 km/h. Tidtabellstillägg varierar för delavsnitt och trafikupplägg. I analysen används ett procentuellt tillägg på körtiden för varje trafikupplägg baserad på motsvarande trafiksystem i tågplan T10 enligt tabell 3.2.

Tilläggstiden i T10 baserar bland annat på den ansträngda kapacitetssituationen på sträckan, planerade banarbeten samt buffert för användning av andra fordonstyper. I analysen är tilläggen något lägre. Fordonstyper antas inte variera och tillägg p.g.a. kapacitetssituationen är del av analysen och ingår därmed inte i grundtillägget.

[3] Clas Carlsson, Länstrafiken Kronoberg (mailkontakt mars 2011). Nya regionaltågsstationer, trafikering Krösatåg.
[4] Henrik Törnqvist, Trafikverket (mailkontakt 8/3-2011). Nya regionaltågsstationer.

Tabell 3.2: Procentuellt tidtabellstillägg i tågplan T10 (medelvärde) samt i analys

	X 2000	GT	IC	Krösa	Ötraf	Öresund	Reg. Östergötl.	Påga
T10	10	–	16	18	12	8	19	–
Analys	8	9	13	10	10	10	13	3

Vid val av tillägg tas hänsyn till att de modellerade störningar baseras på tågplan T08.2. Procentsatsen för Gröna tåget motsvarar det absoluta tidstillägget som antas för X 2000. Tidtabellstiden består av den tekniskt minsta möjliga körtiden vilken kompletteras med de här beskrivna tilläggen. Uppehållstider hämtas från tågplan T10.

Modellering av störningar

I simuleringarna används tidtabeller med störningar skapade enligt den metod som beskrivs i avsnitt 2. Nivå 60/40 enligt tabell 2.2 används för person- och godståg undantaget sträckan Alvesta—Hässleholm där nivå 40/20 används. Den lägre störningsnivån motiveras av en stor andel förseningar orsakade av banarbeten under den period från vilken förseningsdata används.

Gröna tåget använder motsvarande förseningsfördelningar som X 2000. I simuleringarna kan 62 % av tilläget användas för att reducera förseningar. Enligt en i Sverige vanligt använd definition räknas alla tåg som är mindre än sex minuter försenade som punktliga. Detta motsvarar femminutersnivån p.g.a. den sekundtrunkering som sker när tågens passager registreras.

Analysverktyg TVEM

TVEM (Timetable Variant Evaluation Model) är uppbyggd i Matlab och används för att analysera trafiksammansättningens och infrastrukturens effekter på kapaciteten [6]. För en given infrastruktur och valda trafikförutsättningar tar programmet fram en mängd tänkbara tidtabeller vilka sedan kan användas som indata till RailSys. En vanlig tillämpning i TVEM är att det outnyttjade utrymmet som blir kvar efter att system med regelbundna intervall skapats används för godstågslägen.

I syfte att under hög belastning hitta körbara tidtabeller kan konflikter lösas genom användning av förbigångar samt tidstillägg. Resultaten ger en indikation på systemets flexibilitet, möjligheterna för tidtabellsläggning med valda förutsättningar samt hur stor restkapacitet det finns.

Tidtabellsförslagen kan analyseras med hjälp av olika prestationsmått för att få fram de mest lämpliga alternativen. Kriterier kan t.ex. vara minsta tidtabellstid för ett eller flera tågsystem, maximering av antal godstågslägen och så vidare. Variabler som används i TVEM är

- Infrastruktur: antal spår på stationer, avstånd mellan stationer
- Fordon och körtider: tidstillägg, maximalt accepterat tidstillägg
- Tidtabell: frekvens, styvt eller ej styvt trafiksystem, headway, uppehåll, uppehållstid, tågordning

I analysen används körtider och tillägg utifrån tågplan T11. Minsta tidsavståndet mellan två tåg (headway) definieras till fem minuter. På grund av begränsningar i TVEM omfattar analysen endast följande trafiktsystem på respektive alternativspecifika sätt (antal per timme, fordonstyp, uppehåll):

- Tre pendeltåg i Östergötland
- Två snabbtåg på hela sträckan, ett direkt och ett med uppehåll
- Ett IC-tåg på hela sträckan
- Ett, alternativt två, godståg mellan Mjölby och Hässleholm

För varken pendeltågen eller snabbtåg GTF tillåts tidstillägg utöver de som definierades i tabell 3.2. För det andra snabbtågsupplägget (GTR) får max 5 % läggas till, för IC-tågen 20 % och godstågen 200 %. Beroende på de valda förutsättningarna varierar såväl antalet TVEM-genererade tidtabeller och antalet möjliga godståg i respektive tidtabell.

Lösningarna påverkas av infrastrukturen samt fordonens körtider men även av bl.a. mängden upplägg och deras turtäthet, uppehållsmönster och graden av styva tidsintervaller. Med hjälp av TVEM analyseras trafikuppläggen avseende följande egenskaper:

- Relativt jämna tidsavstånd mellan pendeltågens avgångar i Östergötland (minst 15 och max 25 minuter, 3 avgångar per timme)
- Antal godstågslägen
- Minimalt tidstillägg för snabbtågen
- Tidtabellstid för IC-tågen
- Tidtabellstid för godstågen (medelvärde)

Pendeltågen i Östergötland bör gå med jämna tidsavstånd. På grund av den snäva tidtabellen och hastighetsskillnaderna kräver detta tidstillägg för snabbtågen. Tidstillägg innebär dock restidsförlängning och bör därför undvikas. Med hjälp av den beskrivna metoden väljs det bästa tidtabellsalternativet, vilken därefter genereras i RailSys där även övriga tåggrupper definieras.

Tidtabellsläggning och simulering i RailSys

Vald TVEM-tidtabell läggs in i RailSys och kompletteras med tåg som inte ingår i TVEM-analysen med hänsyn till headwaytider, önskade turintervaller mm. Avgångstider för trafikupplägg som uppfyller liknande uppgifter definieras utifrån ett marknadsperspektiv i så stor utsträckning som möjligt. Det innebär t.ex. att trafikupplägg som är nästintill identiska, förutom olika vändstationer, går med styv tidtabell. Kolonnkörning för trafikupplägg med liknande uppgifter (t.ex. snabb- och regionaltågen i Östergötland) undviks om möjligt.

Principtidtabellen läggs för fem timmar och simulering genomförs för 200 cykler. För att analysera förseningsutfallen väljs avgångar som samverkar med andra tåg. Valet av tidtabellen styr resultaten i hög grad. Samtliga alternativa tidtabeller baseras därför, i så stor utsträckning som möjligt, på den tidtabell som representerar huvudjämförelsealternativet. TVEM-tidtabellen som enligt tidigare nämnda kriterier är en bra lösning används som hjälpmedel.

3.2 Referensalternativ

Huvudalternativet i analysen är GT2020, ett framtida trafikutbud för år 2020 med Gröna tåget som snabbtåg. För att analysera effekten av nya snabbare tåg, med topphastighet 250 km/h, jämfört med nuvarande (200 km/h) samt ändringar i trafikutbud jämförs alternativet med två referensalternativ i vilka X 2000 används som snabbtåg (tabell 3.3).

Tabell 3.3: Referensalternativ i simuleringar uppdelat i huvudalternativ och jämförelsealternativ

Referensalternativ	Topphastighet	Trafikvolym
JA2011	200 km/h (X 2000)	År 2011
JA2020	200 km/h (X 2000)	År 2020
GT2020 (huvudalternativ)	250 km/h (Gröna tåget)	År 2020

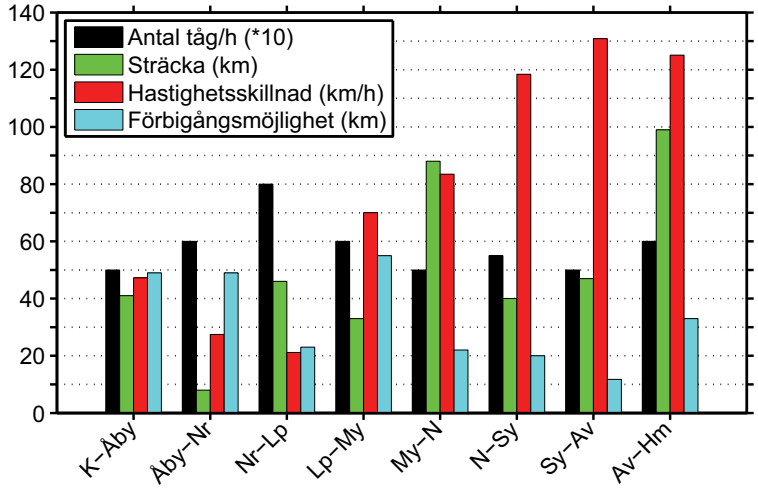
Baserat på GT2020 definieras utredningsalternativ som syftar till att neutralisera effekten av höjda hastigheter för snabbtågen. Med hjälp av tidtabells- och kapacitetsanalys samt simulering jämförs åtgärderna och deras påverkan på banans kapacitet. Möjligheten att uppnå ytterligare förbättringar undersöks genom att betrakta kombinationer av åtgärder.

3.2.1 Egenskaper för trafikutbud och infrastruktur

Sträckan mellan Katrineholm och Hässleholm kan delas in i åtta avsnitt med oförändrat trafikutbud. T.ex. slutar första avsnittet i Åby där banan från Nyköping ansluter och ger ett in- och utflöde av tåg till delen Katrineholm–Norrköping.

Figur 3.6 visar delavsnitten och deras egenskaper. Trafikmängden anges i antal tåg per timme enligt trafikutbud för år 2020. Sträckan mellan stationer med förbigångssmöjlighet ges av det genomsnittliga avståndet mellan två stationer som har minst ett extra spår som kan användas för förbigång av gods- eller persontåg.

Hastighetsskillnad avser differensen mellan snabbaste och långsammaste tåg och baseras på restiden för aktuellt avsnitt inklusive uppehåll på mellanliggande stationer och avsnittets sista station. Tågens fiktiva uppehåll vid slutstationer räknas inte in. För godståg bidrar inbromsnings- och accelerationstid vid schemalagda uppehåll i GT2020, däremot inte själva uppehållstiden. Även för persontåg bortses från förlängd uppehållstid p.g.a. schemalagd förbigång.



Figur 3.6: Egenskaper för delavsnitt, hastighetsskillnad avser långsammaste och snabbaste tåg.

Största mängden tåg per timme finns mellan Norrköping och Linköping. Övriga avsnitt trafikeras av 5–6 tåg per timme. Hastighetsskillnaden är minst på den mest trafikerade sträckan och störst på delen där ett godstågsläge är tidtabellslagt (Mjölby-–Hässleholm). Egenskaperna analyseras mer i samband med simuleringsresultaten.

3.2.2 GT2020

Huvudjämförelsealternativet är trafikscenario GT2020 där snabbtågen körs med Gröna tåget på en upprustad bana vilket innebär att hastigheten 250 km/h kan uppnås på avsnitt där kurvgeometrier och övriga förutsättningar medger det [9]. Statisk hastighetsprofil för Gröna tåget framgår i figur 3.5.

För att bedöma effekten av hastighetshöjningar på banan och av att köra Gröna tåget jämförs alternativet med JA2020 och JA2011. Skillnaden jämfört med GT2020 är att JA2020 saknar hastighetshöjning och använder befintliga fordon för snabbtåg (X 2000) medan JA2011 har en principtidtabell baserad på dagens trafik, fordon och infrastruktur. GT2020 är alternativet som samtliga utredningsalternativ jämförs med. Trafikuppläggen körs enligt definition i indata.

Analys i TVEM

Enligt förutsättningarna accepteras en betydande förlängning av IC- och godstågens körtider (20 respektive 200 % tillägg jämfört med ren gångtid inkl. marginal enligt tabell 3.2). Trots detta är 6.5 min tidstillägg för snabbtåget GTR (motsvarar 5 % av körtiden för hela sträckan) inte tillräckligt för att skapa en tidtabell.

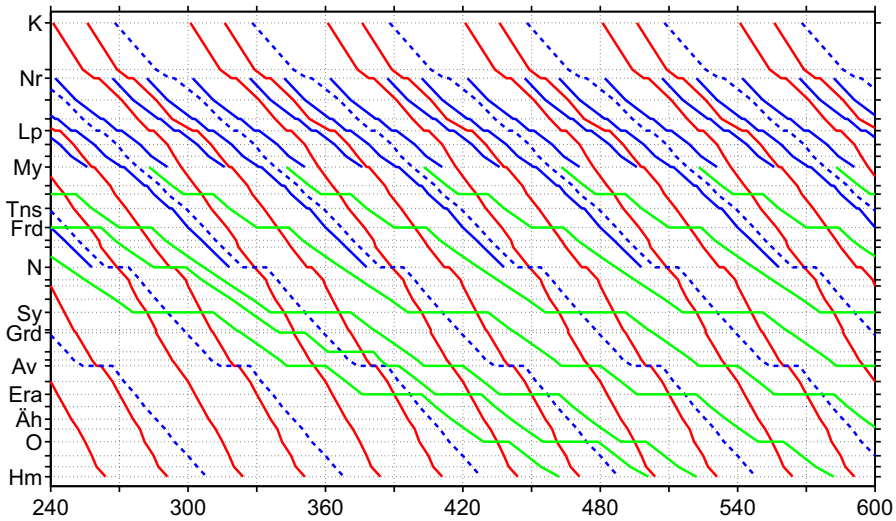
Jämnare medelhastigheter kan förenkla kapacitetssituationen. Detta kan t.ex. nås genom att även GTF gör uppehåll i Norrköping. Utöver denna åtgärd krävs det ytterligare 2 min tillägg på båda snabbtågsuppläggen för att TVEM ska generera tidtabellsalternativ.

Med givna förutsättningar blir största möjliga spridning mellan pendeltågsavgångarna 17, 22 och 21 min. Störst tidsavstånd bör det då vara mellan avgången mot Nässjö/Jönköping och efterföljande pendeltåg, minst tidsavstånd mellan avgångarna till Mjölby. I syfte att skapa en kundvänlig tidtabell väljs intervallen 20, 25 och 15, med 15 min mellan avgång mot Mjölby och Nässjö/Jönköping. Principen används som förutsättning för samtliga utredningsalternativ.

Om snabbtågen med få uppehåll (GTF) stannar i Linköping och Norrköping ökar antalet tidtabellsvarianter som TVEM genererar. För att skapa mer planeringsutrymme antas denna lösning för samtliga alternativ. Det relativt sett låga antalet tidtabellsalternativ är en indikation på att de givna förutsättningarna ger dålig flexibilitet i tidtabellsläggningen. Detta medför problem med hänsyn till trafik på anslutande banor samt för hantering av ökande efterfråga och allmänt förändringar i trafiken.

Samtliga tidtabellsförslag ger plats för två godstågslägen per timme. Genom att tillåta upp till 20 % tillägg för GTR kan antalet varianter ökas betydligt och antalet godstågslägen ökas till tre per timme. Ytterligare körtidsförlängning för snabbtågen står dock i konflikt med marknadsidén för trafikupplägget – en snabb förbindelse mellan Stockholm och Malmö/Köpenhamn - och tillåts därför inte.

Båda trafikuppläggen för Gröna tåget gör, som tidigare nämnts, uppehåll i Norrköping, Linköping och Hässleholm. Utöver dessa stationer gör GTR uppehåll även i Mjölby, Nässjö och Alvesta (figur 3.4). Flera uppehåll och tillägg gör att restiden blir 12 min längre för snabbtåget GTR jämfört med GTF. Enligt de nämnda kriterierna (antal godstågslägen, minimalt tidstillägg för snabb-, IC- och godstågen) väljs den TVEM-genererade tidtabellen som bäst uppfyller kraven för vidare analys i RailSys (figur 3.7).



Figur 3.7: TVEM-tidtabell GT2020. Snabbtåg: röd, pendeltåg: blå, IC: blå streckad, möjliga lägen för godståg: grön.

Platssignaturerna på y-axeln och tidshorisonten på x-axeln visar hur tåglägena (de färgade linjerna) är planerade mellan Katrineholm och Hässleholm. TVEM skapar tåglägen för ett system i taget, tidtabellen fylls därmed på kontinuerligt. Det framgår tydligt att de korta tidsluckorna mellan pendeltågen i Östergötland är välutnyttjade. IC-tågen måste bli omkörda av båda snabbtågen och för godstågen krävs 6–7 förbigångsuppehåll beroende på tidtabellsalternativ.

Tidtabell i RailSys

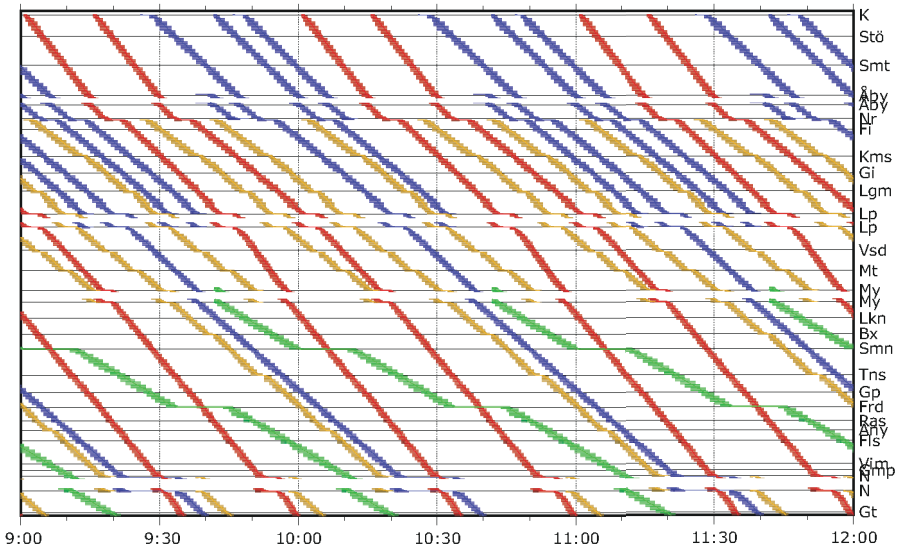
Tidtabellen i RailSys byggs upp kring avgångstiderna i Norrköping och de nödvändiga uppehållen enligt TVEM-tidtabellen (figur 3.7). För godståget används snabbaste tågläget som TVEM ger för det valda alternativet. Tåg som inte ingår i analysen som görs i TVEM läggs in med hänsyn till tidsluckorna mellan tågen. Körtiderna innehåller tillägg enligt tabell 3.2, övriga tillägg läggs in enligt behov efter analys i RailSys. För GT2020 krävs följande åtgärder i syfte att skapa en fungerande tidtabell:

- GTR (snabbtåget med reguljärt uppehållsmönster) får 5 min tillägg mellan Norrköping och Linköping samt 2 min på sträckan Linköping–Mjölby
- GTF (snabbtåget med färre uppehåll) får 2 min tillägg mellan Norrköping och Linköping
- Utöver de långa uppehållen i Nässjö och Alvesta (enligt TVEM, 10 respektive 13 min för resandeutbyte och förbigång) får IC-tågen 2 min tillägg på sträckan Mjölby–Nässjö
- Krösatågets avgångar till Stockaryd kan inte ligga exakt mellan avgångarna till Alvesta
- Pågatåg förbigås i Osby (utan resandeutbyte, sidospåret saknar plattform)

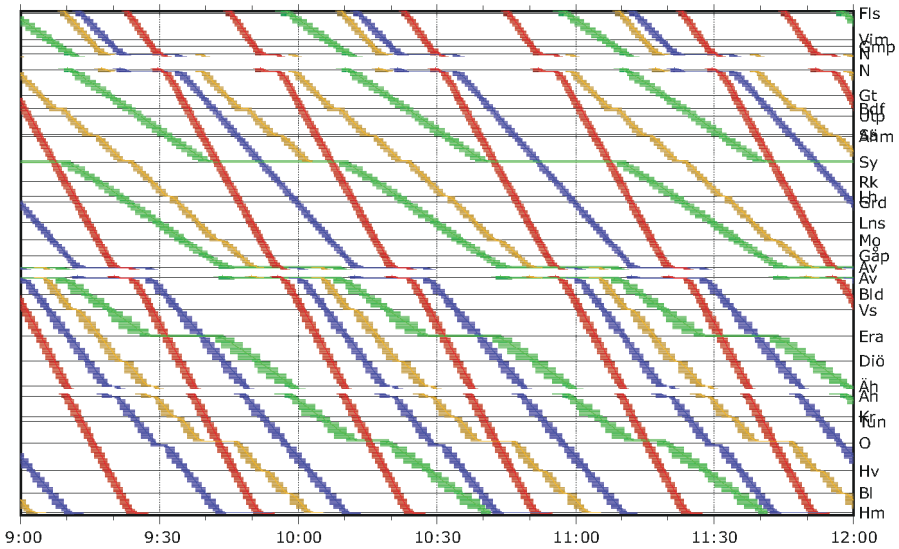
Mellan Alvesta och Hässleholm finns endast två förbigångsmöjligheter för södergående tåg (om huvudtågspåret inte ska korsas). Pågatågen får inte plats utan förbigång. Eftersom det inte finns rena förbigångsmöjligheter måste tåget stanna på sidospåret i Osby innan den kan använda plattformen på huvudtågspåret för resandeutbyte. Figur 3.8 och 3.9 visar RailSys-tidtabellen för scenario GT2020. Linjerna för tåglägen visar blockbeläggning, sträckan mellan två efterföljande signaler.

Det framgår tydligt att hastighetsskillnaderna mellan snabbtågen och övriga tåg innebär betydande låsningar. Framförallt är möjligheterna att köra fler tåg starkt begränsade om inga åtgärder vidtas. Situationen illustreras tydligt mellan Norrköping och Mjölby samt mellan Alvesta och Hässleholm med små marginaler mellan tågen.

Mellan Nässjö och Alvesta syns tydligt att skillnaderna i körtid mellan snabb-, regional- och godståg orsakar ett relativt sett högt kapacitetsutnyttjande i förhållande till antalet tåg. I Östergötland motverkas detta genom lägre hastigheter samt tillägg för snabbtågen vilket ger jämnare medelhastigheter.



Figur 3.8: RailSys-tidtabell GT2020, Katrineholm–Nässjö. Färgindelning enligt figur 3.7 med undantag för pendeltåg som är orange.



Figur 3.9: RailSys-tidtabell GT2020, Nässjö–Hässleholm.

Simulering

Simulering av vald tidtabell för GT2020 visar att medelförseningarna ökar för alla trafikupplägg på sträckan mellan Katrineholm och Hässleholm. Gröna tågets punktlighet (andel tåg som är mindre än 6 min försenade) sjunker från 83 % i Katrineholm till 62 % i Hässleholm (figur 3.10).

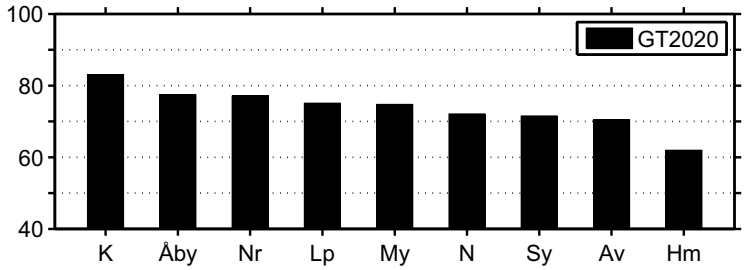
Möjligheten att reducera förseningar skiljer sig för de olika snabbtågsuppläggen. Som tidigare förklarats har GTR fler uppehåll och mer tillägg jämfört med GTF. Under körning kan 70 % av tilläggstiden utnyttjas vid förseningar, d.v.s. tågen kan köra in tid och minska förseningar.

Uppehåll innebär en risk för störningar men även möjlighet till att reducera förseningar, d.v.s. uppehållen kan både över- eller underskrida schemalagd tid. Detta bidrar delvis till att GTR kan hålla en stabilare punktlighetsnivå genom Östergötland än GTF som dessutom inte har lika mycket tidstillägg på detta avsnitt. Även tågens läge i tidtabellen och därmed samverkan med övriga tåg påverkar punktlighetsutvecklingen.

GTF förbigår godstågen i Sommen, Stockaryd och Osby samt IC-tåget i Nässjö. GTR förbigår godstågen i Stockaryd och Eneryda. IC-tåget förbigås av GTR i Alvesta och Pågatåget i Osby. Den stora samverkan mellan trafiksystemen ger hög sannolikhet för störningsspridning. En vanligt förekommande negativ effekt för snabbtågen uppstår när de p.g.a. tidigare försening hamnar efter ett långsammare tåg. Hastigheten måste anpassas vilket medför förseningstillväxt.

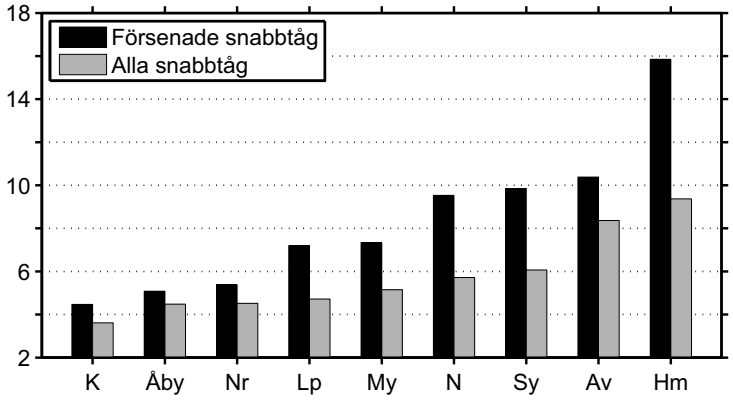
Utöver trafiksystemens egenskaper spelar därmed även läget i tidtabellen en betydande roll avseende förseningsutvecklingen. I syfte att jämna ut tidtabellsberoende skillnader och öka jämförbarheten mellan alternativen studeras därför Gröna tågets trafikupplägg (d.v.s. GTR och GTF) tillsammans. Punktlighetsutvecklingen för denna grupp, i fortsättningen kallat snabbtåg, visar att andelen rättidiga tåg minskar som mest mellan Katrineholm och Åby samt Alvesta och Hässleholm enligt figur 3.10.

Om förseningsbilden jämförs med översikten över delavsnittens egenskaper (figur 3.6), framgår att de avsnitt där snabbtågens punktlighet sjunker mest sammanfaller med avsnitt som har stora hastighetsskillnader och långa avstånd mellan förbigångsplatser. Som tidigare nämnts uppstår förseningar när snabbtåg kör ikapp långsammare tåg och hastigheten måste anpassas. Begränsade möjligheter för förbigång försvårar situationen.



Figur 3.10: Avgångspunktlighet (andel tåg med mindre än 6 min försening) för snabbtågen i alternativ GT2020.

Jämnare hastighetsnivåer innebär att förutsättningarna är bättre när störningar inträffar och ordningen mellan tågen ändras, även om trafikmängden är relativt hög. Figur 3.11 visar att snabbtågens medelförsening ökar med nästan sex minuter (från 3min 35s till 9min 20s) mellan Katrineholm och Hässleholm. Om enbart försenade tåg betraktas är ökningen betydligt större.



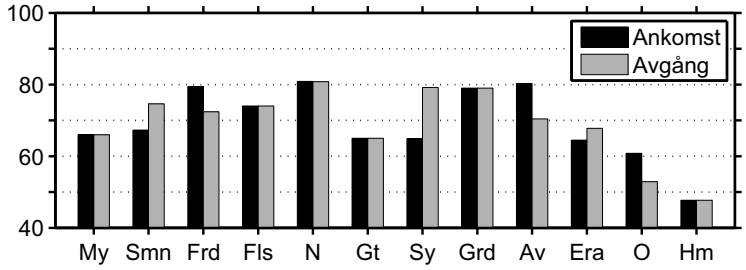
Figur 3.11: Genomsnittlig försening (min), försenade respektive alla snabbtåg i alternativ GT2020.

På sträckorna där punktligheten sjunker kraftigt (Katrineholm–Åby och Alvesta–Hässleholm) ökar på motsvarande sätt medelförseningen. En skillnad är att antalet försenade tåg och därmed medelförseningen för dessa inte följer samma utveckling. Mellan Norrköping och Linköping, där snabbtågen har tidstillägg, kan vissa tåg köra in tid och uppnå rättidighet. För andra tåg ökar dock förseningarna så att den genomsnittliga förseningen per försenat tåg blir större på samma sträcka. Även på övriga delen av sträckan ökar förseningarna, framförallt för försenade snabbtåg.

IC-tågens förseningsutveckling är jämförbar med snabbtågens fram till Mjölby. Punktligheten minskar mellan Katrineholm och Åby och håller sedan en nästintill konstant nivå. Några försenade tåg blir rättidiga genom att köra in tid mellan Norrköping och Mjölby. En skillnad jämfört med snabbtågens förseningsutveckling är dock att IC-tågens punktlighet ökar kraftigt på avsnittet Nässjö–Hässleholm. Förklaringen är de schemalagda uppehållen som görs vid Nässjö, Alvesta och Hässleholm där resandeutbyte kombineras med förbigång. Samma fenomen uppkommer även för Pågatågen med liknande uppehållsscenario i Osby.

Ötraf:s pendeltåg och Krösatågen har en jämn och hög punktlighetsnivå på hela sträckan Norrköping–Nässjö (99 %) respektive Nässjö–Alvesta (97–98 %). Öresundstågen, som ansluter från en enkelspårig bana, har enligt använd indata lägre ingångspunktlighet (88 %) och uppvisar inte några stora förändringar mellan Alvesta och Hässleholm.

Inga stora förändringar sker heller för regionaltågen i Östergötland. För godstågen kan förseningarna delvis reduceras vid schemalagda förbigångsrelaterade uppehåll. Delvis leder dock oplanerade förbigånger samt förlängningar av schemalagda uppehåll även till ökade förseningar för godstågen (figur 3.12).



Figur 3.12: Genomsnittlig punktlighet (ankomst/avgång) för godstågen i alternativ GT2020. Tågen har schemalagda förbigångsuppehåll i Sommen, Frinnaryd, Stockaryd, Alvesta, Eneryda och Osby.

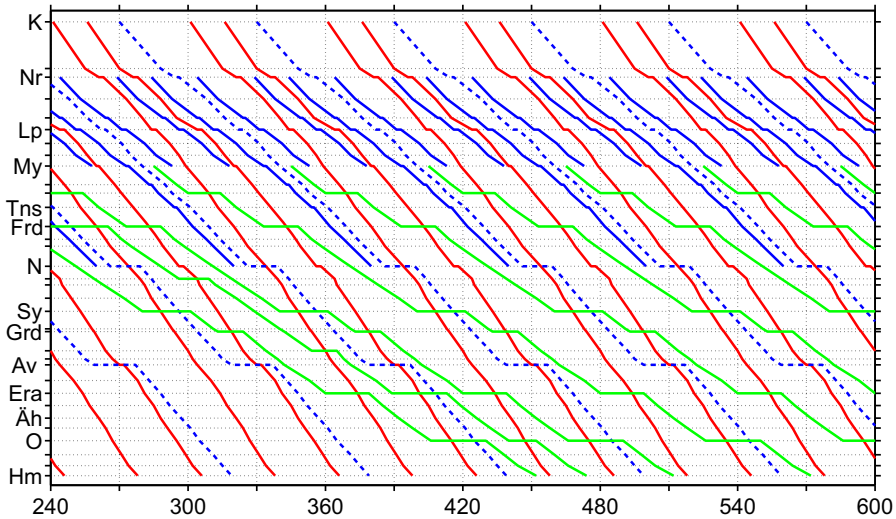
3.2.3 JA2020

I JA2020 trafikeras snabbtåget av X 2000, för övrigt används förutsättningarna enligt GT2020: Maximalt 4 % tidstillägg för GTF (motsvarar 5 % i GT2020 p.g.a. Gröna tågets kortare totaltid), 20 % för IC-tågen och 50 % för godstågen. Med Gröna tåget uppnår snabbtåget GTF en restid på 2:21 h i ostört läge. Motsvarande tid för GTR är 2:30 h. Restidsvinsten jämfört med ett ostört X 2000 med samma uppehållsmönster är 17 min på aktuell sträcka.

Analys i TVEM

Enligt tidigare definierade förutsättningar skapas TVEM-tidtabellerna utan tidstillägg för GTF medan tillägg tillåts för GTR, IC-tågen och godstågen. Till skillnad från GT2020 behövs här inga extra tillägg mellan Norrköping och Linköping för att skapa en fungerande tidtabell, d.v.s. totaltidsskillnaden i ostört läge minskar till 15 min om hänsyn tas till Gröna tågets kapacitetstillägg i Östergötland.

På grund av de jämnare medelhastigheterna finns det många fler tidtabellsalternativ för JA2020 än för GT2020, dock även här får endast två godståg per timme plats. Även om GTF:s uppehåll i Norrköping och Linköping slopas finns det fler möjliga tidtabellsvarianter än i GT2020. Figur 3.13 visar den valda tidtabellen utifrån TVEM.



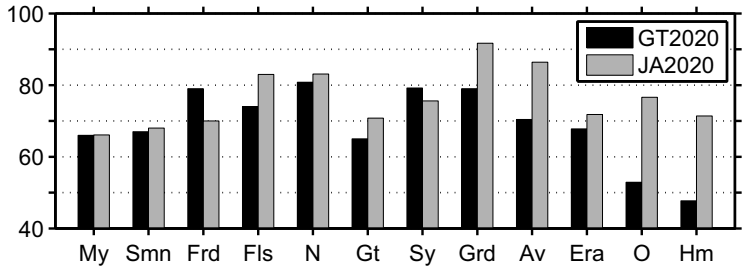
Figur 3.13: TVEM-tidtabell JA2020. Snabbtåg: röd, pendeltåg: blå, IC: blå streckad, möjliga lägen för godståg: grön.

Utöver ökad flexibilitet visas även att godstågens tidtabellstid minskar med i snitt 10 % när X 2000 används i stället för Gröna tåget. Det sker på bekostnad av IC-tågen som får en körtidsförlängning med 5 %. Dessa skillnader beror på ändrat förbigångsmönster.

Tidtabell i RailSys

För bättre jämförbarhet används GT2020 som utgångspunkt för JA2020s tidtabell i RailSys. Grimstorp tillkommer som förbigångsplats för godstågen,Alvesta utgår. GTR får 4 min tillägg mellan Norrköping och Linköping och 1 min mellan Linköping och Mjölby (jämfört med totalt 7 min i GT2020). IC-tågen står 1 min längre i Nässjö, och 7 min längre i Alvesta för att invänta de, jämfört med GT2020, långsammare snabbtågen. Krösatågen drabbas av en förbigång i Stockaryd, däremot utgår Pågatågens förbigång i Osby.

Till skillnad från GT2020 är det möjligt att köra Krösatågens avgångar till Stockaryd, som går varannan timme, exakt mellan föregående och efterföljande Krösatåg till Alvesta. Godstågen får 9 min kortare tidtabellstid p.g.a. kortare uppehållstider i JA2020 jämfört med GT2020 och uppnår ändå en högre punktlighet än i alternativ GT2020 (figur 3.14).



Figur 3.14: Avgångspunktlighet för godstågen i alternativ GT2020 och JA2020.

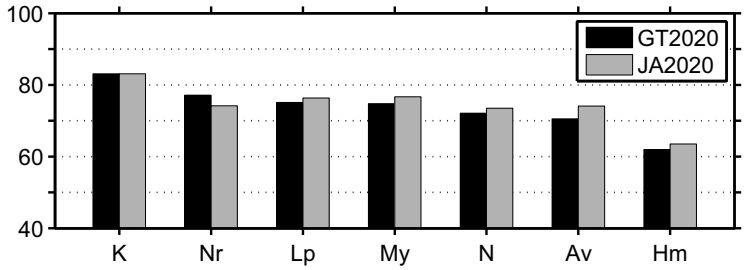
Simulering

Med två uppehåll mellan Mjölby och Nässjö kan godstågens punktlighet på sträckan förbättras i båda alternativen. I Grimstorp sjunker punktligheten p.g.a. ej schemalagd förbigång i simuleringarna. Godstågen i jämförelsealternativet JA2020 kan däremot reducera förseningar i Grevaryd, där de stannar enligt tidtabell i JA2020, men inte i GT2020.

Även i Osby skiljer sig alternativen betydligt, i JA2020 ökar punkligheten medans den sjunker i alternativet med Gröna tåget där den schemalagda uppehållstiden är kortare. Jämfört med utgångsnivån i Mjölby ökar godstågens punktlighet i JA2020 med fem procentenheter i JA2020 och minskar med drygt sju procentenheter i GT2020.

Den totala förseningsnivån för snabbtågen ökar även med X 2000. Punktlighetsnivån är dock något stabilare och minskningen inte lika stor som i alternativet med Gröna tåget (figur 3.15). En tydligare förbättring kan urskiljas om medelförseningarna jämförs. Snabbtågen med lägre topphastighet är i snitt knappt 8 min sena (drygt 4 min ökning) när de kommer till Hässleholm, jämfört med drygt 9 min för Gröna tåget (nästan 6 min ökning jämfört med utgångsnivån i Katrineholm).

Skillnaden är lägre om man jämför det absoluta värdet för försenade tåg. Här är ökningen nästan lika stor för båda alternativen, 10 respektive drygt 11 min. Punktlighetsnivån blir bättre för i stort sett samtliga tåg när tågen körs med X 2000 istället för Gröna tåget. I allmänhet är skillnaderna små. Förutom för godstågen är effekten av hastighetsändringen störst för IC- och snabbtågen.



Figur 3.15: Avgångspunktlighet för snabbtågen i alternativ GT2020 och JA2020.

3.2.4 JA2011

Referensalternativen för år 2020 jämförs även med JA2011 som baserar på dagens trafikutbud. Antagen trafikökning mellan år 2011 och 2020 visas i tabell 3.4. Med *maxtimme* avses, som tidigare nämnts, högtrafikperiod för persontåg.

Analys i TVEM

På grund av det ändrade trafikutbudet för pendeltågen i Östergötland (ett upplägg är förlängt till Motala) är det svårt att skapa en fungerande tidtabell. Flexibiliteten är låg eftersom snabb- och pendeltågen måste gå i en viss ordning om intervallen mellan pendeltågen ska bibehållas och de definierade kraven på tilläggen uppfyllas. Utöver detta ger den lägre snabbtågshastigheten samt det glesare trafikutbudet för IC-tågen och ett av snabbtågen dock mer utrymme i tidtabellen.

Tabell 3.4: Trafikutbud per delsträcka år 2011 och 2020

Delsträcka	Antal simulerade tåglägen i maxtimme		
	2011	2020	Ökning
Katrineholm–Norrköping	4	5	25 %
Norrköping–Linköping	7	8	14 %
Linköping–Mjölby	5	6	20 %
Mjölby–Nässjö	4+1 till Tns	5	25 % (0)
Nässjö–Alvesta	3+0.5 till Sy	5+0.5 till Sy	67 % (57 %)
Alvesta–Hässleholm	4	6	50 %

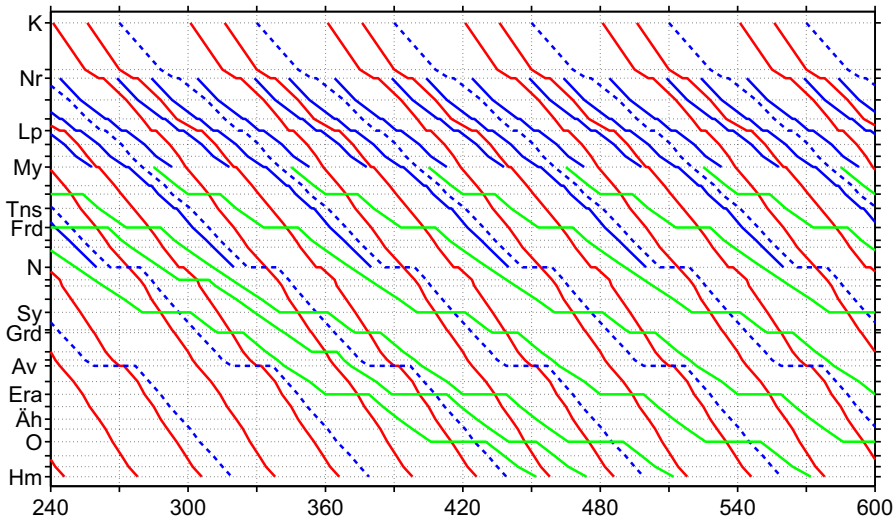
På grund av det förlängda pendeltågsupplägget räcker ett tillägg på 5 % för GTR inte för att få ihop en tidtabell. För maximalt 20 % tillägg är antalet möjliga lösningar i TVEM dock mycket större än i GT2020 och JA2020 p.g.a. den glesare trafiken. Tidtabellsläggningen på sträckan är mycket mer flexibel med dagens trafiknivå än vad den kommer att bli med mer trafik enligt prognoserna för år 2020. Tidtabellen ger dessutom mer utrymme för godståg.

TVEM hittar åtta olika lägen fördelat på två timmar, d.v.s. fyra godstågslägen i timmen jämfört med två respektive tre i GT2020 och JA2020 (figur 3.16). I JA2011 finns inte Pågatågen norr om Hässleholm, Krösatågen går mer sällan och har färre uppehåll än i alternativen för år 2020. Dessa trafikupplägg är dock, liksom tidigare, inte del av TVEM-analysen p.g.a. begränsningar i programmet.

Tidtabell i RailSys

Tidtabellen baseras på JA2020. Tåg som bara går varannan timme ligger kvar på samma minuttal. Undantagna är Krösatågen där avgångarna som redan vänder i Stockaryd inte ersätter vändande tåg varannan timme. Precis som analysen i TVEM visar är tidtabellen mycket mer flexibel p.g.a. mindre tågmängd. För att få plats med förlängningen av pendeltågslinjen till Motala krävs dock ett långt uppehåll i Mjölby för ett av pendeltågsuppläggen eller ytterligare tidstillägg på ett annat tåg. Därför får GTR 7 min tillägg.

IC-tågen kan däremot köras utan tillägg och förbigång. Tidtabellslägena för godstågen är olika i jämna och udda timmar. Respektive avgångar med kortast körtid väljs. I RailSys behövs ytterligare en förbigång för tvarannat godståg jämfört med TVEM-tidtabellen i figur 3.16. I JA2011 får godstågen kortare totaltider, det krävs fyra förbigångsinitierade uppehåll jämfört med sex i JA2020 och GT2020. Totalt får godstågen minst 50 min kortare totaltid på sträckan Mjölby–Hässleholm trots att tidtabellen i RailSys inte utgår från den effektivaste lösningen i TVEM.



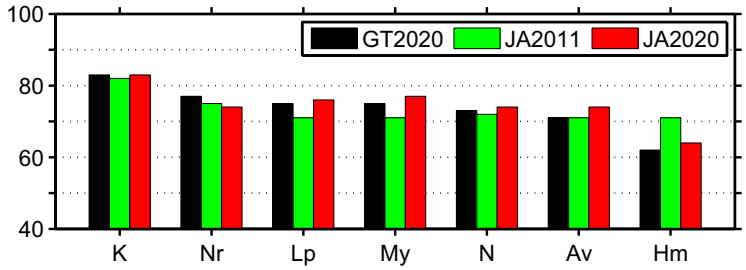
Figur 3.16: TVEM-tidtabell JA2011. Snabbtåg: röd, pendeltåg: blå, IC: blå streckad, möjliga lägen för godståg: grön.

Simulering

På grund av det reducerade trafikutbudet för GTF i JA2011 jämfört med alternativen för år 2020 utgör GTR en större andel av snabbtågen. För att erhålla bättre jämförbarhet exkluderas de avgångar i analysen som endast finns i 2020 års trafikutbud. GTR utgör därmed två tredjedelar och GTF en tredjedel av mängden snabbtåg.

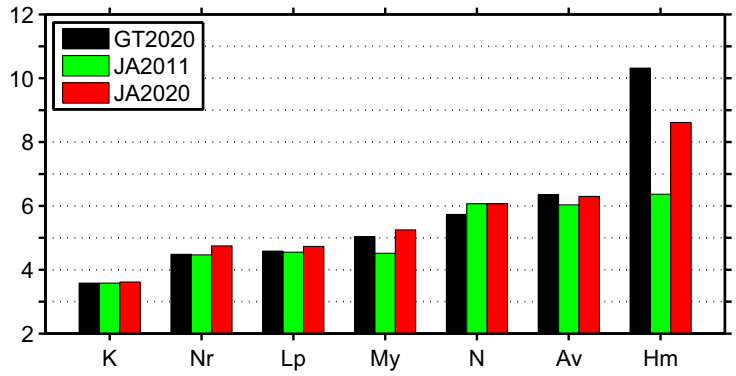
I och med att RailSys-tidtabellen för JA2011 utgår från JA2020 (som i sin tur utgår från GT2020) och inte den effektivaste lösningen i TVEM är tåglägena inte optimala. Snabbtågen uppnår ändå en högre punktlighet än i de övriga alternativen. Efter en större minskning mellan Katrineholm och Norrköping samt Linköping håller sig punktlighetsnivån ungefär konstant. Största skillnaden jämfört med JA2020 är att varken GTR eller GTF får en punktlighetsminskning mellan Alvesta och Hässleholm. Ankomstpunkligheten i Hässleholm är med drygt 71 % betydligt högre än i GT2020 (figur 3.17).

Medelförseningen uppvisar samma fenomen mellan Alvesta och Hässleholm och är en indikation på högre stabilitet i systemet jämfört med JA2020 och GT2020. Skillnaden jämfört med JA2020 visar framförallt effekten av det reducerade trafikutbudet på sträckan, inga Pågatåg norr om Hässleholm och inga nya uppehållsplatser.



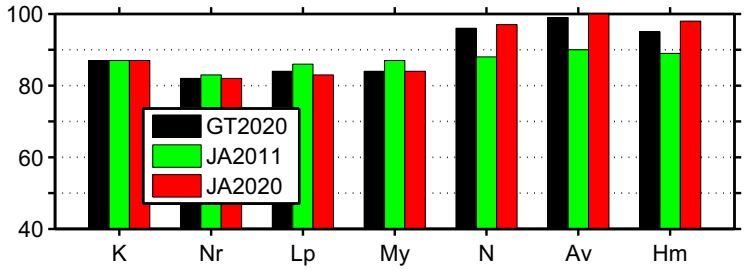
Figur 3.17: Avgångspunktlighet för snabbtåg i alternativ GT2020, JA2020 och JA2011.

En annan orsak är också den lägre variationen i medelhastighetsnivå jämfört med GT2020, vilket inverkar dämpande på förseningsutvecklingen. Till skillnad från punktligheten som är mer eller mindre konstant på södra delen av sträckan ökar medelförseningen något längs hela sträckan och uppgår till drygt 6 min i Hässleholm. Detta kan jämföras med 10 respektive 8 min för JA2020 och GT2020 enligt figur 3.18.



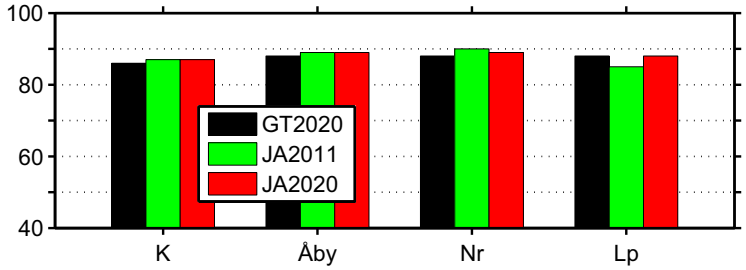
Figur 3.18: Medelförsening (ankomst) för snabbtågen i alternativ GT2020, JA2020 och JA2011.

Godstågens medelförsening är relativt hög vilket kan förklaras med de kortare förbigångsuppehållen jämfört med de andra alternativen. Längre uppehåll kan inverka gynnsamt på möjligheten att reducera förseningar, dock ökar totaltiden. Punktlighetsnivån i Hässleholm är sämst i JA2011, dock bara något sämre än i GT2020. Medelförseningen är däremot 3.5 min lägre i JA2011. IC-tågen kan i det alternativet köras utan förbigång, vilket resulterar i sämre punktlighet jämfört med de övriga alternativen enligt figur 3.19. Förutom den punktlighetshöjning som långa uppehåll kan ge är trafiksystemets stabilitet dock bättre i JA2011.



Figur 3.19: Avgångspunktlighet för IC-tågen i alternativ GT2020, JA2020 och JA2011.

Tågsystemet *Uven* och övriga regionaltåg blir merförsenade mellan Norrköping och Linköping i alternativ JA2011 och får något sämre punktlighet jämfört med de övriga jämförelsealternativen (figur 3.20). Pendeltågen i Östergötland har hög punktlighet på hela sträckan i samtliga alternativ.



Figur 3.20: Ankomstpunktlighet för regionaltågen i alternativ GT2020, JA2020 och JA2011.

3.3 Utredningsalternativ

Jämförelsen i föregående avsnitt visar att snabbare tåg och ökad trafik försämrar kapacitetssituationen på den redan idag hårt belastade Södra stambanan. Medelförseningen för snabbtågen ökar längs sträckan, framförallt mellan Alvesta och Hässleholm uppstår en tydlig förseningsutveckling. Utredningsalternativen behandlar tänkbara åtgärder i syfte att neutralisera effekterna av höjda hastigheter för snabbtågen och hjälpa till att avlasta kapacitetssituationen på banan. De alternativ som analyseras beskrivs i tabell 3.5.

3.3.1 UA1 Godståg i 120 km/h

I avsnitt 3.2.1 framgår att hastighetsskillnaderna mellan snabbtågen och de långsammaste tågen är stora på södra delen av sträckan. Simuleringen visar att de största punktlighetsminskningarna sker mellan Alvesta och Hässleholm, d.v.s. på en lång sträcka med få förbigångsmöjligheter, stor trafikmängd och stora skillnader i medelhastighet.

En ansträngd kapacitetssituation innebär typiskt att godstågen drabbas av förbigångar vilket leder till minskad medelhastighet och därmed ökade hastighetsskillnader. En höjning av godstågens topphastighet från 100 till 120 km/h kan ge möjligheter till att minska antalet förbigångar och höja banans totala medelhastighet.

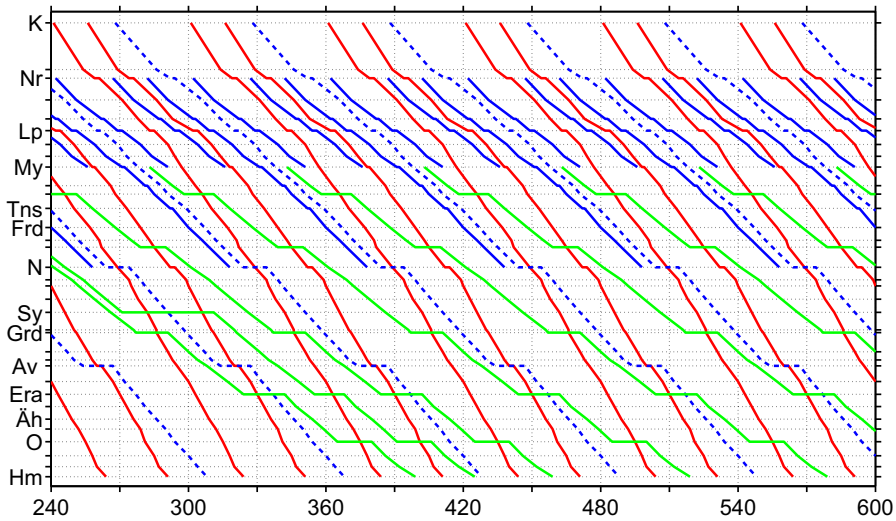
Analys i TVEM

Eftersom TVEM genererar godstågslägen efter att alla persontåg har lagts in motsvarar tidtabellsalternativet GT2020 i figur 3.7, d.v.s. med 100 km/h som maxhastighet för godstågen. Ytterligare alternativ hittas inte och därför är de bästa tidtabellsvarianterna identiska, bortsett från godstågslägena.

Högre maxhastighet och därmed minskade skillnader i medelhastighet reducerar behovet av förbigångar. Genom hastighetshöjningen kan godstågens totaltid reduceras med 70 min, vilket motsvarar 23 % av tidtabellstiden. Dessutom skapas utrymme för fler godståg per timme. I stället för 1–3 får 2–4 godståg plats per timme, beroende på tidtabellsalternativ. Figur 3.21 visar lösningen med bästa totala tidtabellstid.

Tabell 3.5: Utredningsalternativ med Gröna tåget 250 km/h och trafikutbud enligt GT2020

Alt.	Åtgärd jämfört med GT2020	Information
UA1	Godståg i 120 km/h	Ökad godstågshastighet från 100 till 120 km/h i persontrafikens maxtimme
UA2	Lägre påförda uppehållsstörningar för snabbtåg	Gröna tåget medger snabbare av- och påstigning och lägre standardavvikelse jämfört med X 2000
UA3a	Oförändrad turtäthet för Krösa- och Pågatåg men utan uppehåll vid de nya stationerna	Inga uppehåll vid de nya stationerna Lammhult, Moheda, Vislanda, Diö, Killeberg, Hästveda och Ballingslöv
UA3b	Skip-stop pendeltåg Norrköping–Mjölby	Ötraf:s pendeltåg får ny tidtabell med skip-stoptrafikering i maxtimme, kolonnkörning för snabbtågen
UA4	Två istället för ett godståg per timme	Ytterligare ett godstågsläge under persontrafikens maxtimme
UA5	Identiska uppehållsmönster för snabbtågen	Uppehållsmönster enligt GTR även för GTF
UA6	Utökning av förbigångsspår	Utökat antal spår på stationer som redan idag erbjuder förbigångsmöjlighet
UA7	Nya förbigångsspår för gods-, regional- och pendeltåg ger kortare avstånd mellan förbigångsmöjligheter	Nya förbigångsspår (brevid huvudtågspår söderut) i Sävsjö, Vislanda, Älmhult och Hästveda. Uppehåll för regional- och pendeltåg tidtabellslagt på de nya sidospåren
UA8	Förlängda godståg	Färre avgångar men även färre förbigångsmöjligheter p.g.a. begränsad längd på sidospår
UA9a	Tidtabellstillägg på 8 min Alvesta–Hässleholm för ett snabbtågsläge	Kapacitetstillägg för att undvika förbigångar och minska förseningar
UA9b	Tidtabellstillägg för alla snabbtåg (8–9 min) Alvesta–Hässleholm	Kapacitetstillägg för att undvika förbigångar och minska förseningar



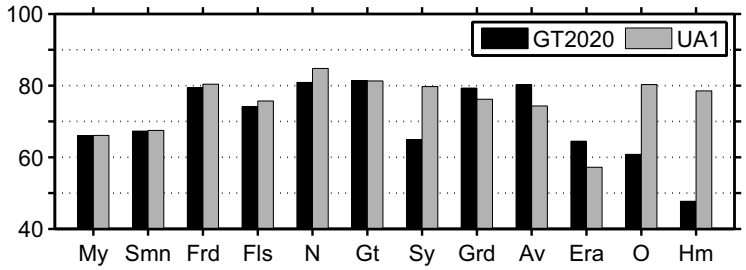
Figur 3.21: TVEM-tidtabell UA1 med maxhastighet 120 km/h för godstågen. Snabbtåg: röd, pendeltåg: blå, IC: blå streckad, möjliga lägen för godståg: grön.

Tidtabell i RailSys

I RailSys simuleras samma tidtabell som för GT2020 med undantaget att godstågen får ett ändrat uppehållsmönster. Det behövs fem uppehåll för förbigång (jämfört med sex i GT2020) och den totala tiden för förbigång kan minskas med 37 min jämfört med GT2020. Att minskningen inte är lika stor som i TVEM beror på att tidtabellen i RailSys omfattar betydligt fler tåg.

Simulering

Även med minskad uppehållstid, förändrat uppehållsmönster samt högre medelhastighet för godstågen påverkas punktlighetsnivån för snabbtågen endast marginellt. Däremot blir den stabilare för godstågen (figur 3.22). Det gäller framförallt mellan Alvesta och Hässleholm där de snabbare godstågen har bättre möjlighet att köra in förseningar. Andelen försenade godståg ökar betydligt i alternativ GT2020 på motsvarande sträcka. De övriga tågens förseningsnivå påverkas marginellt av hastighetshöjningen för godstågen.



Figur 3.22: Ankomstpunktlighet för godstågen i alternativ GT2020 och UA1.

Utvidgad analys

Baseras analysen i RailSys i stället på den bästa TVEM-tidtabellen enligt UA1 och anpassas till 100 km/h som maxhastighet fås en kraftig ökning av antalet förbigånger. Den totala tidtabellstiden ökar med 70 min jämfört med varianten med snabbare godståg, varav drygt hälften beror på längre förbigångsuppehåll. Det i sin tur innebär att godstågen i högre grad blockerar sidospåren, vilket begränsar utrymmet för de regionala persontågen.

Tidtabellen i TVEM innebär t.ex. ett 28 min långt uppehåll i Stockaryd. Därmed begränsas Krösatågens möjlighet att använda sidospåret. I RailSys flyttas uppehållet för vändande tåg till huvudtågspåret för att möjliggöra att godstågsförbigång sker samtidigt. Alternativt kan persontågen använda sidospåret på andra sidan om plattform om fler växelförbindelser anordnas. Liknande konflikt uppstår i Alvesta, men där bedöms att det finns för ändamålet tillräcklig spårkapacitet.

Den utvidgade analysen visar därmed att tidtabellens flexibilitet begränsas betydligt när trafikmängden och hastighetsskillnaderna ökar och att det är svårt att anpassa en tidtabell på en bana med begränsat kapacitetsöverskott till förändrade förutsättningar.

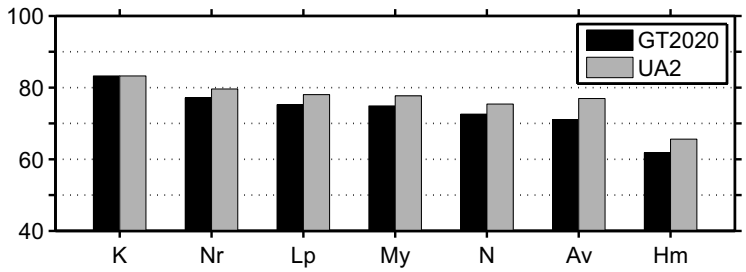
3.3.2 UA2 Lägre påförda uppehållsstörningar för snabbtåg

Snabbtågen drabbas idag relativt ofta av uppehållsförseningar, d.v.s. passagerarutbytet överskrider den tidtabellslagda uppehållstiden. Det finns även andra omständigheter som kan orsaka förlängda uppehåll. Enligt statistik från operatören SJ AB år 2007, klarade bara omkring 60 % av snabbtågen att hålla schemalagda uppehåll på två minuter. I en tidigare gjord studie visas att motsvarande siffra för uppehållen i Norrköping bara uppgick till 30 % [3].

En av flera målsättningar med Gröna tåget är att resandeutbytet ska kunna ske snabbare och smidigare än för tåg av tidigare generation som uppfyller motsvarande funktion. Sannolikheten för uppehållsförseningar minskar och både lägre medelvärde och standardavvikelse förväntas jämfört med X 2000. X 2000 har idag lägst punktlighet av samtliga persontåg på sträckan vilket till viss del förklaras av de störningar som inträffar vid uppehåll.

Tidtabell i RailSys

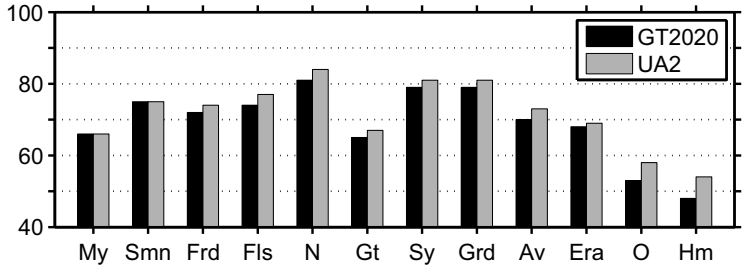
UA2 använder samma tidtabell som GT2020 i simuleringarna, men fördelningarna för uppehållsstörningar justeras till en lägre nivå. I GT2020 används fördelningar i tre nivåer för X 2000 respektive Gröna tåget (hög, medel och låg), se figur 2.2. På alla stationer förutom Mjölby tillämpas nivå hög eller medel i referensalternativet. UA2 använder nivå medel på samtliga stationer förutom i Mjölby där nivå låg används. Figur 3.23 visar hur snabbtågen påverkas av förändringen.



Figur 3.23: Avgångspunktlighet för snabbtågen i alternativ GT2020 och UA2.

Simulering

Även med lägre uppehållsstörningar minskar punktligheten för snabbtågen, dock inte i samma grad som i jämförelsealternativet GT2020. Effekten är något större för snabbtåg GTR jämfört med GTF. Externa faktorer, t.ex. andra tåg och pålagda linjestörningar, har en tydlig påverkan. Förhållandena för de andra trafiksystemen förbättras något, effekten är tydligast för godstågen (figur 3.24).



Figur 3.24: Avgångspunktlighet för godstågen i alternativ GT2020 och UA2.

På grund av Gröna tågets minskade uppehållsförseningar blir godstågens oplanerade uppehåll färre och även kortare vilket höjer punktligheten. Övriga tåg på den analyserade sträckan påverkas inte i någon större utsträckning. IC- och Krösatågens punktlighet ökar marginellt medan regionaltågen i Östergötland samt Påga- och Öresundstågen inte uppvisar någon ändring. Effekterna som snabbtågens minskade förseningar medför kan även inverka positivt på andra tåg längre söderut, utanför det simulerade området.

3.3.3 UA3 Skip-stop för regional- och pendeltåg

Förutom godstågen är även regional- och pendeltågens medelhastighet lägre än snabbtågens. Genom att inte stanna på samtliga stationer kan medelhastigheten höjas vilket kan bidra till högre kapacitet. Ett uppehåll kan ta en relativt stor tidsmängd i anspråk och kan påverka medelhastigheten betydligt.

UA3a Skip-stop för Krösa- och Pågatåg

Krösa- och Pågatåg gör i alternativen för GT2020 uppehåll på de nya stationerna Lammhult och Moheda på sträckan Nässjö–Alvesta samt Vislanda, Diö, Killeberg, Hästveda och Ballingslöv på sträckan Alvesta–Hässleholm. I alternativ UA3a analyseras effekten av att dra in dessa uppehåll. På grund av att regionaltågen inte omfattas av TVEM-analysen utreds detta alternativ endast i RailSys.

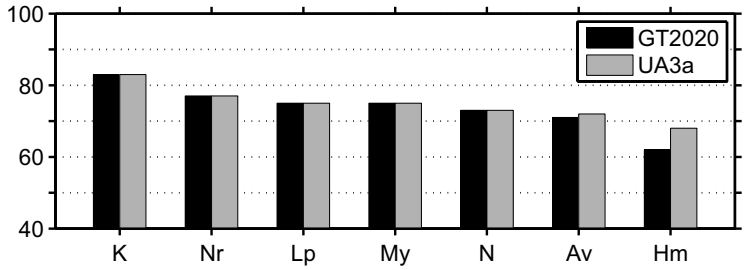
Tidtabell i RailSys

Utan de nya uppehållen är restiden för Pågatågen på sträckan Alvesta–Hässleholm 44 min vilket kan jämföras med 52 min med uppehåll och 57 min i GT2020 där även förbigång i Osby tillkommer. Med minskad restid ryms tågen i luckan mellan Öresundstågen och GTR och inget tidstillägg behövs. Förbigången i Osby utgår, tidtabellstiden blir kortare och systemet därmed mer kundvänligt bortsett från det marknadssegment som tillkommer med de nya uppehållsplatserna.

För Krösatåg utgör de nya uppehållen i Lammhult och Moheda en restidsförlängning på 2.5 min mellan Nässjö och Alvesta. I Stockaryd stannar tågen redan idag, vilket i tidtabellen för GT2020 medför att tidsavståndet till efterföljande tåg blir större. RailSys-tidtabellen innebär en senareläggning av tågens avgångstid i Nässjö i syfte att fördela nyttan av de större tidsavstånden. För att bibehålla intervallen mellan Krösatågens olika upplägg genomförs ändringen även för tågen som vänder i Stockaryd.

Simulering

Anpassningarna berör enbart den södra delen, förseningsnivån bör därför inte avvika innan Stockaryd. GTF uppvisar ingen förändring med hänsyn till de nya trafikuppläggen. GTR får dock en förbättring jämfört med GT2020, andelen rättidiga tåg i Hässleholm är 12 % högre (figur 3.25). Medelförseningsnivån sjunker med en minut. Störst effekt har Pågatågens högre medelhastighet vilket innebär att snabbtåg, som p.g.a. ändrad tågordning hamnar efter dessa, inte drabbas lika hårt som i GT2020. Pågatågen får något försämrad punktlighet men kortare restid. Gods- och IC-tågens punktlighet blir något bättre, för övriga tåg är förändringarna marginella.



Figur 3.25: Avgångspunktlighet för snabbtågen i alternativ GT2020 och UA3a.

I syfte att förbättra kapacitetssituationen kan en utbyggnad av någon eller några stationer medge omkörning av regionaltågen samtidigt som de gör uppehåll för reandeutbyte på sidospåren. Lösningen som används i den här analysen (förbigång på sidospåret i Osby) är långt ifrån optimal.

I alternativ UA7 testas effekten av nya förbigångsstationer, hänsyn tas dock inte till tidtabell och spåranvändning för regional- och pendeltågen. Vilka stationer som är mest lämpliga att bygga ut och effekter av nya sidospår för pendel-/regionaltågsuppehåll bör utredas separat. Även effekten av en mellanlösning med några avgångar som gör uppehåll och några som passerar, d.v.s. skip-stoptrafikering, kan vara intressant att analysera.

UA3b Skip-stop för pendeltåg i Östergötland

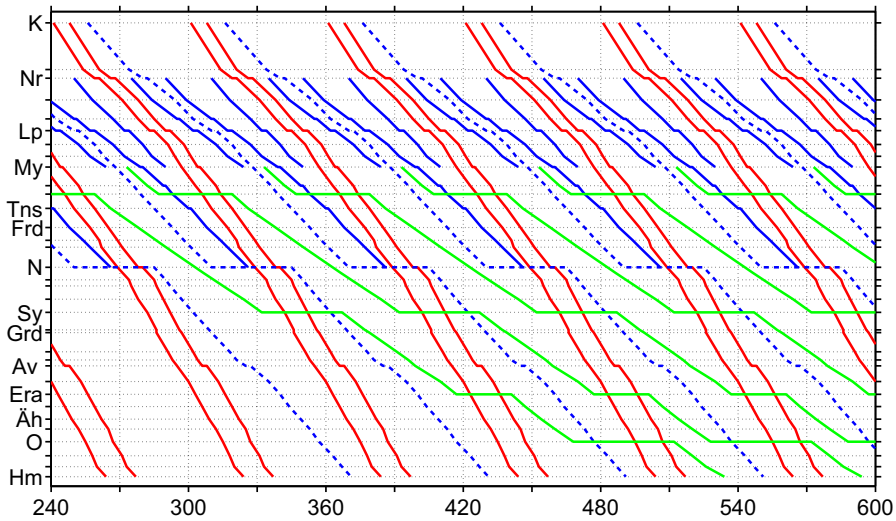
Som alternativ till körtidstillägg för snabbtågen genom Östergötland (vilket används i samtliga alternativ) testas ett skip-stop alternativ för pendeltågen. Ur marknadssynpunkt är det rimligast att anpassa avgången som går till Jönköping för att minska restiden på hela sträckan.

Analys i TVEM

Med de valda förutsättningarna, avgångarna ska ligga 15–25 min separerade, finns ingen lösning om maximal 5 % tidstillägg tillåts för GTR enligt förutsättningarna i GT2020. I tidsluckan mellan tåget till Jönköping och efterföljande pendeltåg ryms inte något snabbtåg p.g.a. pendeltågens låga medelhastighet på avsnittet Linköping–Mjölby.

Om ett av tågen som inte fortsätter söderut efter Mjölby endast stannar i Norrköping, Linköping och Mjölby ger den nio minuter kortare restiden utrymme för ytterligare tåg. Snabbtågen kan köras i kolonn och GTR behöver inget tillägg alls. Tidsluckan efter pendeltåget som fortsätter mot Nässjö blir mindre och kan inte utnyttjas av varken GTF eller GTR när medelhastigheten anpassas.

Ur marknadssynpunkt kan det dock vara ofördelaktigt med en så liten spridning mellan snabbtågen, speciellt om de har samma start- och slutstationer. För IC-tågen krävs i det här alternativet längre uppehåll i Nässjö och totaltiden ökar något. Även godstågen får ökad totaltid p.g.a. längre förbigångsuppehåll. Figur 3.26 visar genererad tidtabell i TVEM.



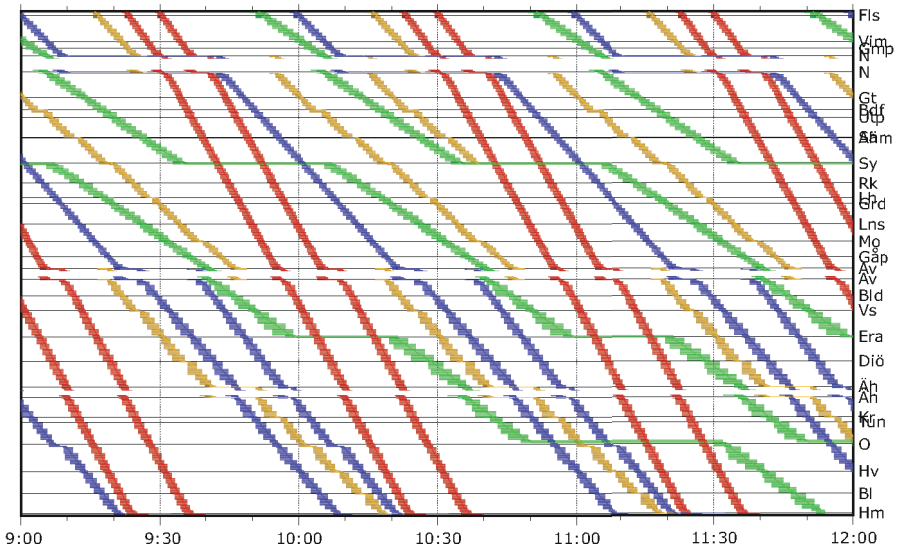
Figur 3.26: TVEM-tidtabell UA3b med skip-stop för pendeltåg i Östergötland. Snabbtåg: röd, pendeltåg: blå, IC: blå streckad, möjliga lägen för godståg: grön.

Tidtabell i RailSys

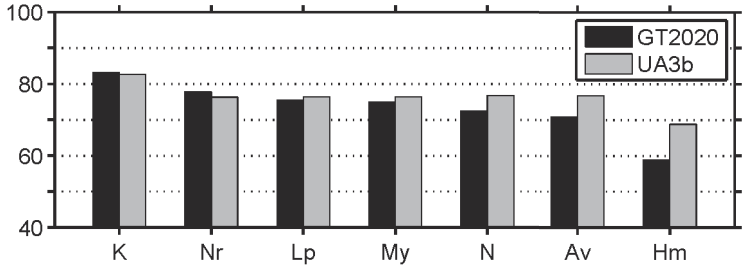
Även i RailSys-tidtabellen (figur 3.27) framgår att GTR kan köras utan extra tillägg, jämfört med 7 min i alternativ GT2020. GTF har 2 min mellan Norrköping och Linköping i båda alternativen. Godstågsuppehållen kan fördelas enligt den bästa tidtabellen i TVEM. På södra delen är tidtabellens flexibilitet låg, för Pågatågen krävs förbigång i Älmhult vilket innebär att de ankommer tre minuter tidigare än Öresundstågen till Hässleholm. På grund av att tågen uppfyller liknande uppgifter på denna sträckan är detta inte önskvärt. Eventuellt kan uppehållen för GTF i Norrköping och Linköping slopas tidtabellstiden minskas. Detta medför dock är att GTF måste avgå senare från Katrineholm, d.v.s. tidsavståndet mellan GTF och GTR minskar.

Simulering

Simuleringen visar att snabbtågen trots lägre tillägg kan hålla en betydligt bättre punktlighetsnivå än i jämförelsealternativet GT2020 (figur 3.28). Ur punktlighetssynpunkt är tidtabellen gynnsam för alla trafikupplägg, undantaget IC-tågen som trots förlängd tidtabellstid får en något lägre punktlighetsnivå i Hässleholm. Jämnare hastigheter och gruppering av tåg med liknande hastigheter (snabbtågen samt på södra delen regional- och pendeltågen) och förbigångar av flera tåg samtidigt ger, enligt simuleringen, större stabilitet i systemet.



Figur 3.27: RailSys-tidtabell UA3b, Nässjö–Hässleholm.

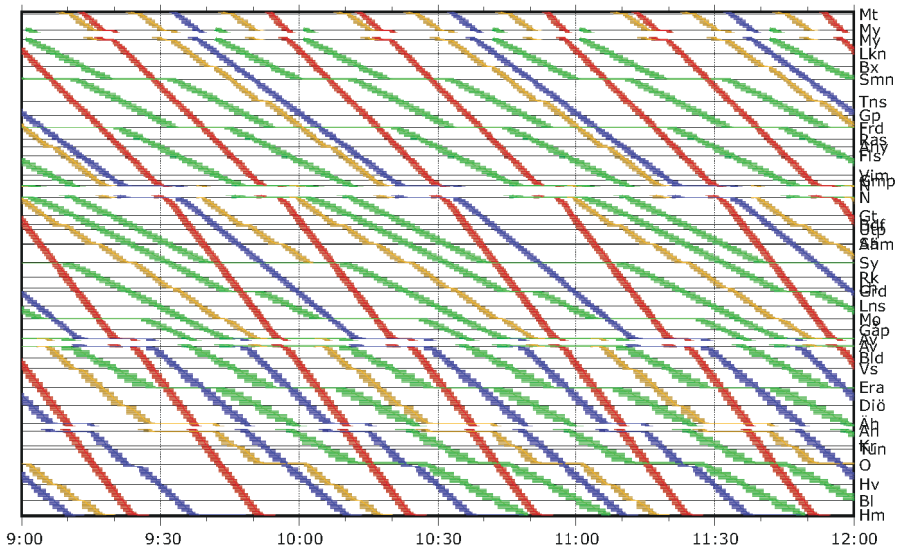


Figur 3.28: Ankomstpunktlighet för snabbtågen i alternativ GT2020 och UA3b.

3.3.4 UA4 Två godstågslägen per timme under persontrafikens maxtimme

Tidtabell i RailSys

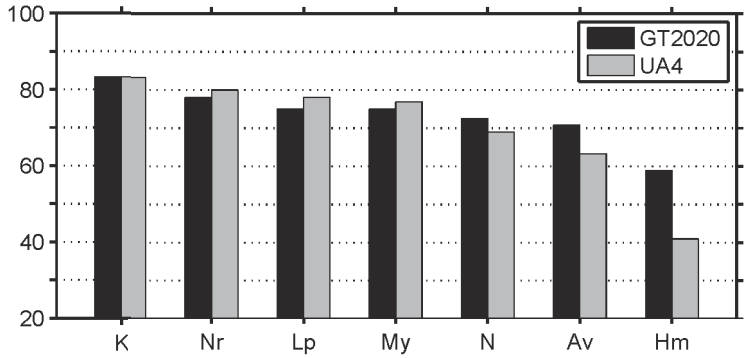
Tidtabellen för GT2020 kompletteras med godstågsläget enligt lösning i TVEM (figur 3.7). Tågläget får ännu längre förbigångsuppehåll än det första och fler anpassningar krävs. Med 1:50 h total schemalagd uppehållstid för förbigång ökar körtiden mellan Mjölby och Hässleholm till 5:05 h. Även det första godstågsläget anpassas för att det andra ska få plats. Tidtabellstiden ökar med 7 min jämfört med GT2020. I ostört läge har de modellerade godstågen en körtid på 2:55 h. Figur 3.29 visar RailSys-tidtabellen mellan Mjölby och Hässleholm.



Figur 3.29: RailSys-tidtabell UA4, Mjölby–Hässleholm.

Simulering

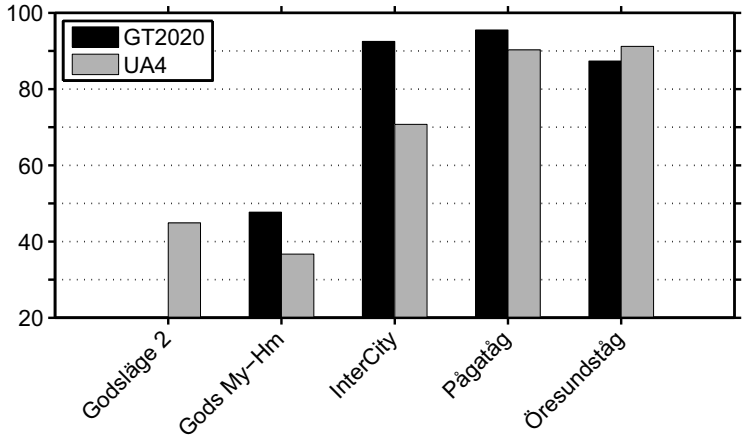
Godstågslägen tar mycket utrymme i anspråk. Flexibiliteten i tidtabellsläggningen och omplaneringar vid störningar minskar, påverkan mellan tågen ökar. Dessa effekter framgår tydligt i simuleringsresultaten. För samtliga tåggrupper försämras punktligheten på avsnittet Mjölby–Hässleholm där det nya godstågsläget tillkommer. Snabbtågens punktlighet sjunker till 44 % och medelförseningen ökar till drygt 14 min Figur 3.30 visar punktlighetsutvecklingen för snabbtågen.



Figur 3.30: Ankomstpunktlighet för snabbtåg i alternativ GT2020 och UA4.

Systemets känslighet påverkas negativt av den ökande mängden förbigångar som sker på avsnittets södra del och som trafikeras av många trafikupplägg med olika egenskaper. Förseningarna ökar avsevärt för tåggrupperna som trafikerar avsnittet mellan Mjölby och Hässleholm, samtidigt som punktligheten sjunker (figur 3.31).

Enda undantaget är Öresundstågen. Även godstågen uppvisar lägre punktlighet vid ankomst till Hässleholm. Den stora tidsförlusten, den låga flexibiliteten i tidtabellsläggningen och de låga punktlighetsnivåerna visar att den redan ansträngа kapacitetssituationen inte medger två godstågslägen om inte andra åtgärder vidtas eller förutsättningar ändras.



Figur 3.31: Ankomstpunktlighet i Hässleholm för tåggrupper i alternativ GT2020 och UA4.

3.3.5 UA5 Ändrat trafikutbud för Gröna tåget

Samma uppehållsmönster för båda snabbtågen innebär enligt analys i TVEM att tidtabellstiden sjunker något för godstågen. Däremot ökar IC-tågens medelhastighet p.g.a. längre förbigångsrelaterade uppehåll. Totaltiden för samtliga tåg blir därmed längre. Även antalet möjliga tidtabellsvarianter minskar, dessutom finns plats för enbart ett godståg per timme. På grund av försämringarna jämfört med GT2020 utreds alternativet inte vidare.

3.3.6 UA6 Utökning av spår på stationer med förbigångsmöjlighet

Behovet av flera spår blir framförallt tydligt på södra delen av banan där det är ont om förbigångsmöjligheter. Det kan även vara intressant att studera situationen med fler förbigångsspår på befintliga förbigångsstationer avseende möjligt antal godstågslägen. Fördelen med att kunna köra godstågen i kolonn beror dock inte bara på förbigångsmöjligheter utan även på trafikmängden. Möjligheterna att köra två godståg efter varandra begränsas av det trafikutbudet som antas i GT2020. Därför slopas alternativet.

3.3.7 UA7 Kortare avstånd mellan förbigångsstationer

Behovet av utökade förbigångsmöjligheter är tydligt i flera av alternativen där regional- och pendeltåg endast får plats i ett speciellt läge i tidtabellen kombinerat med långa uppehåll för förbigång. I Osby behöver sidospåret ibland användas för omkörning av persontåg, d.v.s. tåget måste invänta förbigången där och senare stanna vid plattformen på huvudtågspåret för resandeutbyte. I ett alternativ används sidospår på motstående sida, d.v.s. spåret som normalt används för norrgående trafik måste korsas. Hänsyn tas endast i begränsad omfattning till de negativa effekter som uppstår därför att norrgående riktning inte simuleras.

Avstånden på södra delen är stora och en liten andel av förbigångsspåren har plattform. I alternativ UA7 kompletteras en station på varje längre delavsnitt med ett ytterligare spår som kan utnyttjas för regional- och pendeltågsuppehåll samt omkörningar vid störningar. Avsnittet Stockaryd–Grimstorp minskas från 29 km till 17+12 km genom att utrusta Sävsjö med ett sidospår, Alvesta–Eneryda från 25 till 14+11 km genom ett nytt spår i Vislanda. I Älmhult och Hästveda modelleras nya förbigångsspår med plattform för att dela avståndet mellan Eneryda och Osby från 42 till 22+20 km respektive Osby–Hässleholm från 31 till 12+19 km.

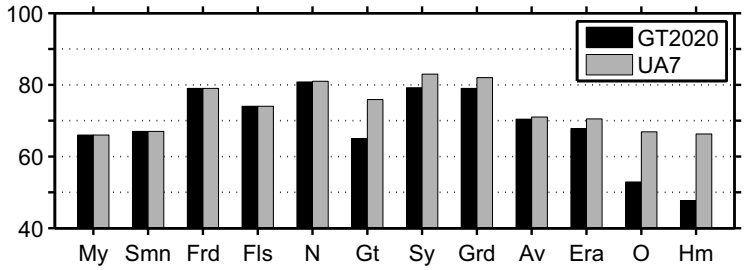
Tidtabell i RailSys

GT2020 simuleras med den anpassade infrastrukturen. Regionaltågens schemalagda uppehåll är flyttade till de nya sidospåren vilka även kan användas vid störningar. Krösatågen stannar på nya sidospåret i Sävsjö och Öresundstågen i Älmhult. Pågatågen gör uppehåll på nya sidospåret i Vislanda, Älmhult och Hästveda. För övrigt ändras inte tidtabellen.

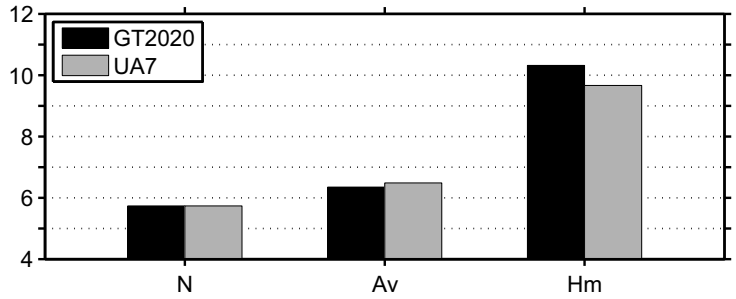
Simulering

Simuleringen visar att åtgärdena framförallt har positiva effekter för godstågen, se figur 3.32. För snabbtågen ger åtgärderna endast marginella förbättringar. Punktligheten är något sämre i alternativet med nya sidospår, däremot minskar medelförseningen något vid ankomst till Hässleholm (figur 3.33).

I en tidigare genomförd simuleringsstudie visas att avståndet mellan förbigångsstationer har relativt liten effekt på uppkomsten av sekundärförseningar vid simulering med RailSys [5]. Det kan bero på en kombination av att tätare förbigångsmöjligheter inte utnyttjas optimalt av trafikledningsfunktionen och att tågens trafikledningsprioritet motverkar förbigångar. Den mest betydande effekten som påvisas är den ökade flexibiliteten i tidtabellsläggningen.



Figur 3.32: Ankomstpunktlighet för godstågen i alternativ GT2020 och UA7.



Figur 3.33: Ankomstmedelförsening för snabbtågen i alternativ GT2020 och UA7.

3.3.8 UA8 Längre godståg

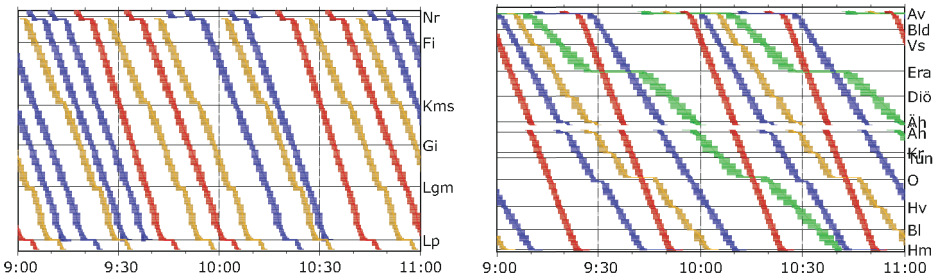
Alternativet med ett godståg per timme har jämförts med två per timme. TVEM har redan indikerat hur många tåg som får plats, med skillnaden att längre tåg inte kan använda samtliga förbigångsspår. På grund av att analysen visar att kapacitetssituationen redan är svår för ett normalt godståg per timme, analyseras inte alternativet ytterligare.

3.3.9 UA9 Tillägg för snabbtågen

Framför allt mellan Alvesta och Hässleholm uppstår stora merförseningar för bl.a. snabbtågen. På sträckans södra del är skillnaderna i medelhastighet stora. I alternativ UA9 studeras effekten av att införa ytterligare tillägg för snabbtågen och därigenom minska hastighetsskillnaderna.

Största tågmängden (per timme) finns mellan Norrköping och Linköping följt av den korta sträckan Åby–Norrköping. Övriga avsnitt trafikeras enligt trafikutbudet för år 2020 av 5–6 tåg per timme och riktning (figur 3.4). De två snabbtågsuppläggen och IC-tågen använder hela sträckan, övriga upplägg delar av sträckan.

Avsnittet Alvesta–Hässleholm utgör den längsta delsträckan. Som tidigare nämnts är det förhållandevis långt mellan förbigångsstationerna. Dessutom är hastighetsskillnaden mellan snabbaste och långsammaste upplägget stor. Variationen är visserligen större på sträckan Stockaryd–Alvesta, mängden tåg är däremot mindre och avstånden mellan förbigångsstationer kortare (figur 3.6). Ett exempel på hur banavsnittens egenskaper, framförallt avseende skillnader i medelhastighet, påverkar tidtabellens utformning visas i figur 3.34.

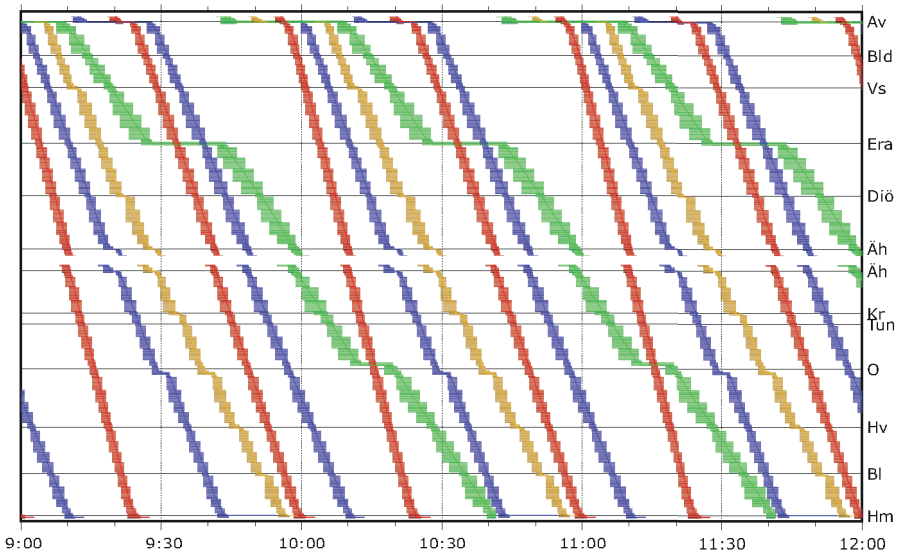


Figur 3.34: RailSys-tidtabell för alternativ GT2020 mellan Norrköping–Linköping (vänster) och Alvesta–Hässleholm (höger).

I syfte att erhålla en fungerande trafik på avsnittet Alvesta–Hässleholm krävs i GT2020 att Pågatågen blir omkörda en gång och godstågen två gånger. Deras medelhastighet sjunker därmed ytterligare vilket gör att skillnaderna till snabbtågens hastighet ökar. För att analysera en utjämning av medelhastigheterna på det mest ansträngda avsnittet skapas tillägg för snabbtågen i två alternativ. Generering av tidtabeller i TVEM görs inte p.g.a. begränsningar i antal trafiksystem som kan hanteras.

UA9a Tillägg för snabbtåg GTR

En granskning av förseningsutvecklingen i Östergötland visar att den jämna medelhastigheten ger en stabilare tidtabell, trots att den delen av sträckan trafikeras av 50 % fler tåg per timme än avsnittet Alvesta–Hässleholm. I tidtabellsförslaget (figur 3.35) är det främst snabbtåget GTR som påverkas med ökande försening som följd. Alternativet omfattar 8 min tillägg på de tågen mellan Alvesta och Hässleholm. En följdeffekt blir att Pågatågen inte behöver förbigås i Osby.

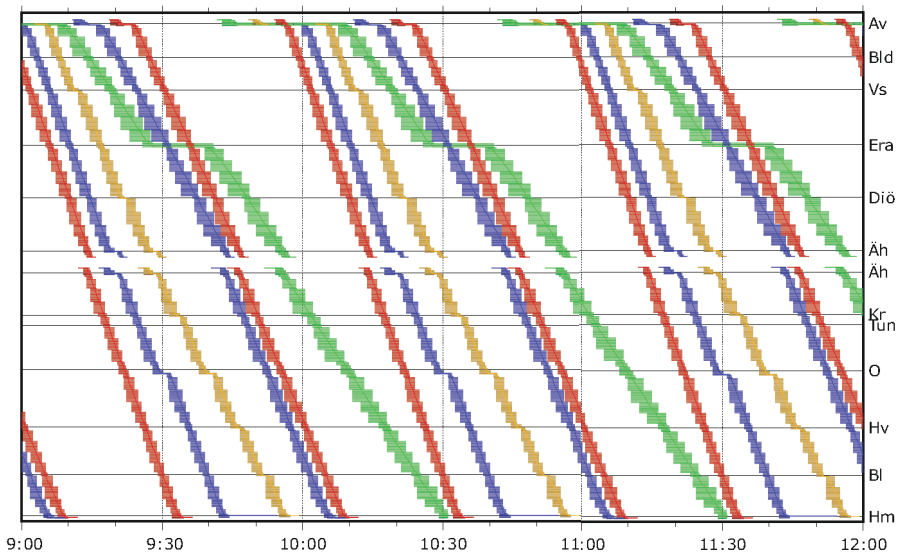


Figur 3.35: RailSys-tidtabell UA9a med tillägg för snabbtågen GTR, Alvesta–Hässleholm.

Simulering visar att åtgärden tydligt påverkar punktligheten för GTR. Med tidstillägg minskar den med tio procentenheter mellan Alvesta och Hässleholm. Motsvarande minskning i referensalternativet GT2020 är 20 procentenheter. Förutom Pågatågen, som tjänar drygt 6 min i restid på bekostnad av punktligheten (minskning från 96 till 89 %), förbättras stabiliteten för samtliga tåg.

UA9b Tillägg för snabbtågen GTR och GTF

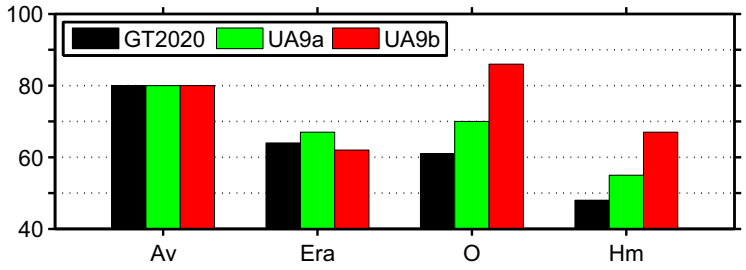
Om även snabbtåg GTF anpassas till de övriga tågen mellan Alvesta–Hässleholm och får 9 min tillägg kan den totala tidtabellstiden reduceras ytterligare därför att godstågens uppehåll i Osby utgår och uppehållstiden i Eneryda kan minskas. I figur 3.36 framgår att marginalerna till bakomvarande snabbtåg GTR och framförvarande GTF blir relativt små även med deras pålagda tillägg.



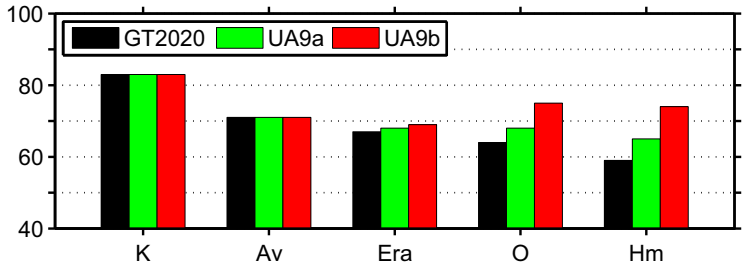
Figur 3.36: RailSys-tidtabell UA9b med tillägg för snabbtåg GTR och GTF, Alvesta–Hässleholm.

Utöver restidsvinsten förbättras även godstågens punktlighet och ligger i Hässleholm runt 20 procentenheter högre än i jämförelsealternativet GT2020, se figur 3.37. För snabbtågen innebär det här alternativet att punktlighetsnivån stiger mellan Alvesta och Hässleholm, vilket den inte gör i något annat utredningsalternativ.

Utgångsnivån som tågen har i Katrineholm återställs inte, däremot sjunker andelen försenade snabbtåg med en tredjedel. Medelförseningen kan inte reduceras, men ökningen är betydligt lägre än i de övriga alternativen. Alternativ UA9b ger därmed bäst resultat jämfört med alla andra åtgärder. Restiden förlängs dock med 8–9 min för snabbtågen.



Figur 3.37: Ankomstpunktlighet för godstågen i alternativ GT2020, UA9a och UA9b.

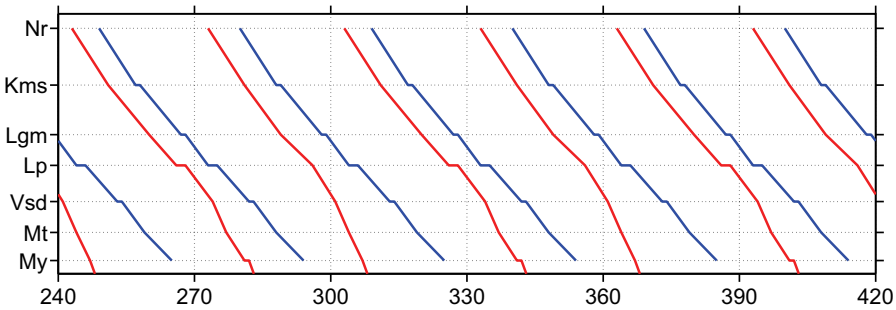


Figur 3.38: Ankomstpunktlighet för snabbtågen i alternativ GT2020, UA9a och UA9b.

3.4 Samverkan mellan turtäthet för trafikupplägg och övrig trafik

Analysen visar att önskemålen om en styv tidtabell för pendeltågen påverkar övrig trafik till stor del i och med att antalet möjliga lösningar begränsas. Kolonnkörning för snabbtågen är inte möjlig med de valda intervallen mellan pendeltågen. Om en del av uppehållen tas bort för några av pendeltågen (skip-stop) skapas en möjlighet att köra snabbtågen i kolonn. Därmed ökar tidtabellens flexibilitet för övriga trafikupplägg vilket kan bidra till systemets stabilitet.

Önskas styv tidtabell för snabbtågen, t.ex. halvtimmestrafik, måste pendeltågen köras i ojämna intervaller. Alternativt kan turtätheten minskas för att matcha snabbtågens tidtabell, t.ex. från 20-minuterstrafik till ett tåg per halvtimme enligt exempel i figur 3.39. Det krävs en avvägning mellan de olika trafiksystemens krav och en utvärdering av effekterna för att hitta en lösning som fungerar bra för hela det studerade trafiksystemet.



Figur 3.39: Möjliga pendeltågslägen i Östergötland givet att snabbtågen går i halvtimmestrafik.

3.5 Jämförelse av utredningsalternativ

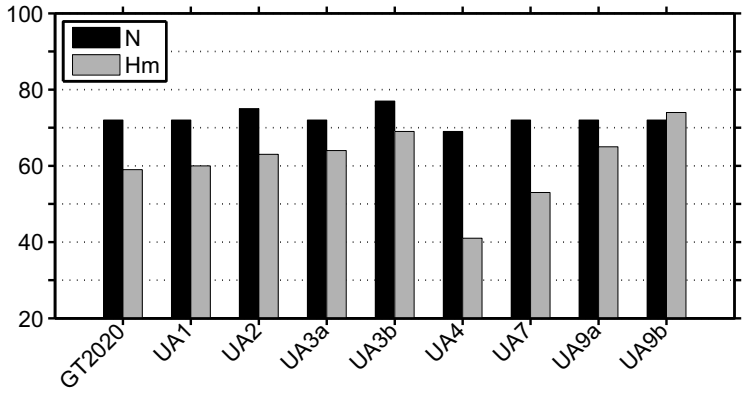
Simuleringarna visar ungefär samma förseningsutveckling längs med sträckan i samtliga alternativ. Inget av alternativen klarar av att minska förseningarna eller att öka punktligheten vid ankomst till Hässleholm jämfört med ingångsnivån i Katrineholm. Systemets återställningsförmåga är med andra ord inte bra i något av fallen.

Såväl ingångs- och utgångsförsening (i minuter) är störst för snabbtågen vilket speglas i deras låga punktlighet. Medelförseningen utvecklas ungefär som punktligheten: Förseningen ökar mellan Katrineholm och Norrköping där nya tåg tillkommer och stannar på ungefär samma nivå mellan Norrköping och Linköping där snabbtågens hastighet anpassas mot de övriga tågens med hjälp av tillägg. På de följande avsnitten ökar medelförseningen något, starkast dock mellan Alvesta och Hässleholm, en sträcka med stora skillnader i medelhastigheten, mycket trafik och få förbigångsmöjligheter. Förseningsutvecklingen för GT2020 illustreras i figur 3.18.

Punktlighetsnivåerna för snabbtågen i de analyserade alternativen vid Nässjö och Hässleholm visas i figur 3.40. Ingångspunktlighet vid Katrineholm är 83 % för samtliga fall. Vid ankomst till Nässjö är skillnaderna små och endast ett par av alternativen avviker från de övriga. Vid Alvesta är de relativa förhållandena mellan alternativen ungefär samma som i Nässjö. Skillnaderna syns däremot tydligt i Hässleholm.

Högst punktlighet uppnås med alternativ UA9b (tillägg för GTR+GTF) samt när kolonnkörning för snabbtågen kombineras med skip-stop för pendeltågen i Östergötland (UA3b). Även i alternativen med tillägg på snabbtåg GTR (UA9a), ut-

an nya regionaltågsstationer (UA3a) samt med lägre uppehållsförseningar (UA2) uppnås en relativt sett bra punktlighet. Lägst punktlighet för snabbtågen uppträder i alternativ UA4 (två godståg per timme).

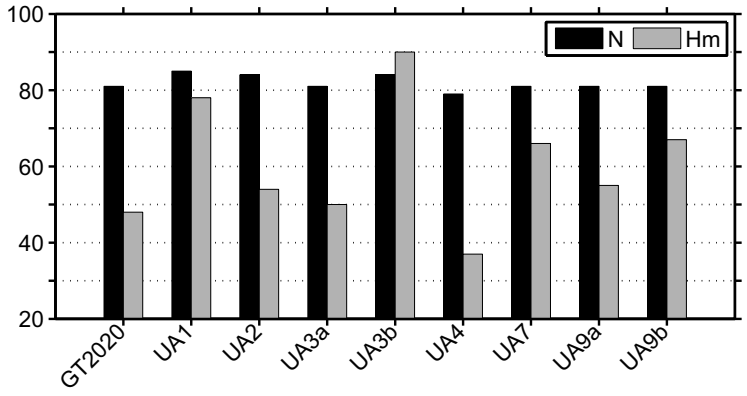


Figur 3.40: Ankomstpunktlighet för snabbtåg vid Nässjö respektive Hässleholm.

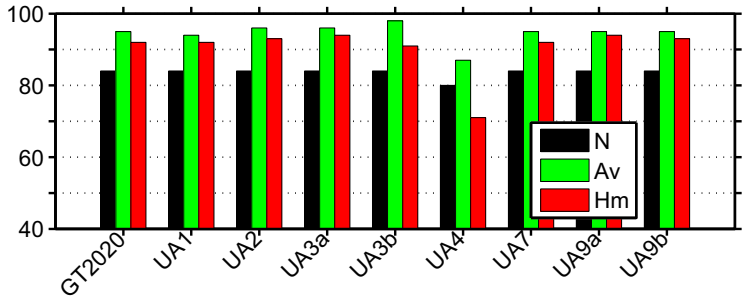
Motsvarande diagram för godstågen uppvisar större skillnader än för snabbtågen vid Hässleholm (figur 3.41). Mellan Mjölby och Nässjö ökar punktligheten något i samtliga alternativ, vilket framförallt beror på de marginaler som tågen har vid schemalagda förbigångar. Mellan Nässjö och Hässleholm är det endast alternativet med tillämpning av skip-stop i Östergötland och kolonnkörning av snabbtåg som ger en punktlighetsökning (UA3b). Alternativet med godståg som kan köra i 120 km/h ger en högre punktlighetsnivå relativt ingångsvärdet i Mjölby (UA1).

Alternativen med tillägg för snabbtågen GTR+GTF mellan Alvesta och Hässleholm (UA9b) samt med nya sidospår (UA7) medför ingen relativ minskning jämfört med Mjölby. Endast alternativet med två godståg per timme (UA4) har lägre punktlighet i Hässleholm än jämförelsealternativet GT2020. I detta alternativ är även godstågens restider betydligt längre på grund av att fler och längre uppehåll för förbigångar behövs.

Även IC-tågen som trafikerar hela sträckan Katrineholm–Hässleholm har klart sämst punktlighet i alternativ UA4 med två godståg per timme (figur 3.42). I alla övriga alternativ ökar punktligheten mellan Nässjö och Hässleholm vilket framförallt beror på att förseningar kan reduceras vid schemalagda förbigångar. Fram till Nässjö är utvecklingen jämförbar i samtliga alternativ. Alternativ UA4 är det enda där IC-tågen inte förbättrar punktligheten mellan Katrineholm (82 %) och Hässleholm.



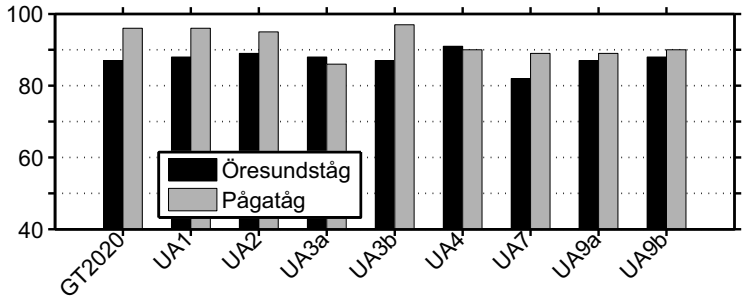
Figur 3.41: Ankomstpunktlighet för godståg vid Nässjö respektive Hässleholm.



Figur 3.42: Ankomstpunktlighet för IC-tåg vid Nässjö, Alvesta och Hässleholm.

Öresundstågen, Krösatågen samt pendeltågen i Östergötland (Ötraf) har hög ingångspunktlighet och inga schemalagda förbigångar i något av alternativen. De påverkas bara marginellt av de olika åtgärderna som simuleras. Öresundstågen når högst punktlighet i alternativet med två godståg per timme (UA4), där en förbigång i Älmhult är schemalagd.

Sämst effekt på Öresundstågens punktlighet har alternativet med nya sidospår som ger fler förbigångsmöjligheter (UA7) och därmed förutsättningar för att minska förseningar för högre prioriterade tåg. Även Pågatågens punktlighetsutveckling uppvisar samma beteende. Högst punktlighet uppnås i alternativen med schemalagda förbigångar, se figur 3.43.



Figur 3.43: Ankomstpunktlighet vid Hässleholm för Öresundståg och Pågatåg.

På den norra delen av sträckan uppträder inga stora skillnader. För pendeltågen i Östergötland ligger punktligheten runt 99 % på aktuellt avsnitt och skillnaderna mellan alternativen är marginella. Regionaltågens punktlighet är relativt jämn i alla alternativ.

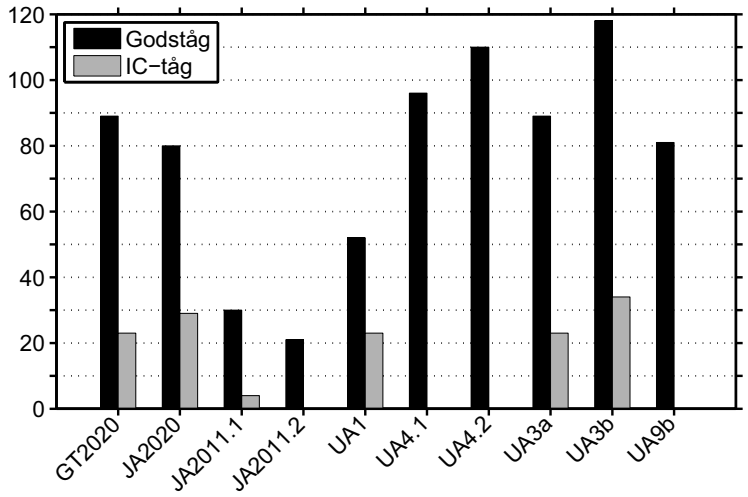
Endast i alternativet med skip-stop i Östergötland och kolonnkörning av snabbtågen (UA3b) är punktlighetsnivån cirka tre procentenheter högre än i de övriga fallen. Krösatågen tappar i de flesta alternativen marginellt med tid på sträckan Nässjö–Stockaryd–Alvesta. Störst är minskningen i alternativet med två godståg per timme samt med godståg i 120 km/h (UA4+UA1).

Regional- och pendeltågen på den analyserade sträckan kan hålla relativt sett höga punktlighetsnivåer delvis beroende på att de förbigås av snabbtågen. IC-tågen som går hela sträckan kan reducera sin medelförsening. Dessa positiva effekter beror dock oftast på förlängda tidtabellstider orsakade av schemalagda förbigångar som krävs för att uppnå fungerande tidtabeller när kapacitetssituationen är ansträngd.

De undersökta åtgärderna ger positiva effekter för snabbtågens punktlighet. En positiv utveckling av punktligheten för snabbtågen mellan Nässjö och Hässleholm kan dock endas nås i UA9b där tidstillägg ökar systemets stabilitet på bekostnad av snabbare restider.

Även punktligheten för övriga tåg minskar i några alternativ, vilket delvis beror på minskat antal förbigångar eller lägre tillägg. Godstågens schemalagda tid för förbigång i RailSys varierar mellan 21 min i JA2011 (med X 2000 som snabbtåg och förändrat trafikutbud) och 118 min i utredningsalternativet med tillämpning av skip-stop för pendeltågen i Östergötland kombinerat med kolonnkörning för snabbtågen (UA3b).

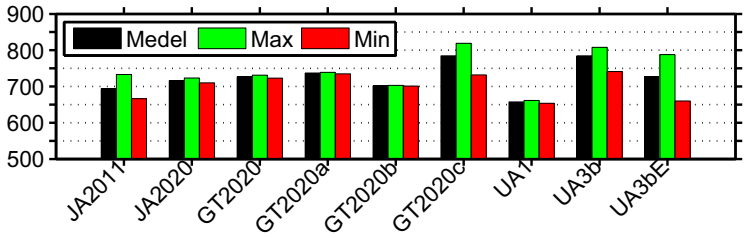
Jämfört med alternativ JA2011 ökar godstågens tidtabellstid med 28–47 %. Figur 3.44 jämför tiderna för några av alternativen. I övriga alternativ motsvarar godstågens tidtabellstid den i GT2020. Motsvarande mått för IC-tågen visar att även dessa tåg tappar mest tid i alternativet med snabbtåg i kolonn (UA3b), medan de har kortast uppehållstid i JA2011. Även här blir restiden i alternativen för år 2020 klart längre jämfört med JA2011 (ökning med 9–15 %).



Figur 3.44: Uppehållstid p.g.a. schemalagd förbigång för godståg och IC-tåg i utvalda RailSys-tidtabeller. Aktuella stationer för IC-tåg är Nässjö och Alvesta inklusive tid för resandeutbyte.

Skillnaderna i restid speglas även i punktlighetsdiagrammen. Fler och/eller längre tidtabellslagda förbigångsuppehåll innebär bättre möjligheter för att reducera förseningar. En tydlig förbättring av punktlighetsnivån uppnås av godstågen på södra delen av sträckan, framförallt i alternativen med betydande förbigångsinitierad schemalagd tid. IC-tågens punktlighet är lägre i alternativen med snäv tidtabellsmarginal jämfört med de med många förbigångar.

Utöver tidtabellstiden för samtliga trafikupplägg ger antalet genererade tidtabellsalternativ i TVEM en fingervisning om möjlig flexibilitet i tidtabellsläggningen med hänsyn till de definierade tågsystemen. Även här påvisas restidsskillnader i jämförelsen inom och mellan alternativen (figur 3.45). I samma figur finns även alternativ som inte har utretts vidare i RailSys. Beroende på tidtabellens egenskaper varierar det om det är godstågen eller IC-tågen som får ytterligare förlängd tidtabellstid.



Figur 3.45: Totaltid (min) för tidtabeller genererade med TVEM (exklusive snabbtågen). Medel-, max- och minvärde för samtliga tidtabellsalternativ.

Antal möjliga tidtabellsalternativ (flexibilitetsmått) är störst i JA2011, och även utrymmet för antal godstågslägen (tre per timme jämfört med 1–2 i de andra alternativen). Medan det finns 305 alternativa tidtabellslägen i JA finns det bara 17–21 i de alternativen för år 2020 som utreds vidare i RailSys. Trafikutbudet för 2020 begränsar antal möjliga tidtabeller i stor grad.

I RailSys baseras inte alltid tidtabellen på det bästa alternativet som genereras i TVEM. Detta innebär att tidtabellstider kan vara något längre än i den bästa TVEM-lösningen samtidigt som punktligheten kan påverkas positivt därför att tåg kan köra in tid vid schemalagda förbigångar.

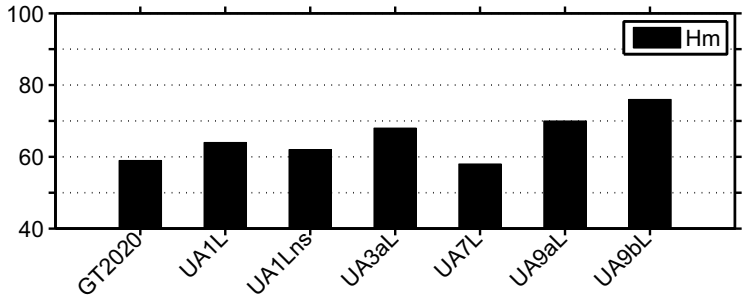
3.6 Kombination av åtgärder

Med hjälp av åtgärderna som testades i utredningsalternativen kunde punktligheten för snabbtågen ökas, nivån är dock fortfarande låg och snabbtågen blir merförsenade på den undersökta sträckan i alla alternativ. På grund av detta testades även följande kombinationer av alternativen inklusive ett alternativ som kombinerar tre åtgärder.

- Godståg i 120 km/h kombinerat med lägre uppehållsförseningar för snabbtågen (UA1L)
- Tillägg på snabbtåg GTR mellan Alvesta–Hässleholm kombinerat med lägre uppehållsförseningar för alla snabbtåg (UA9aL)
- Tillägg på snabbtåg GTR och GTF mellan Alvesta–Hässleholm kombinerat med lägre uppehållsförseningar för alla snabbtåg (UA9bL)
- Skip-stop på banans södra del (inga uppehåll på de nya stationerna eller hållplatserna) kombinerat med lägre uppehållsförseningar för alla snabbtåg (UA3aL)

- Nya sidospår mellan Stockaryd och Hässleholm (förbigång och uppehåll) kombinerat med lägre uppehållsförseningar för snabbtåg (UA7L)
- Godståg i 120 km/h kombinerat med lägre uppehållsförseningar för alla snabbtåg samt nya förbigångsspår som används för resandeutbyte för regionaltåg (UA1Lns)

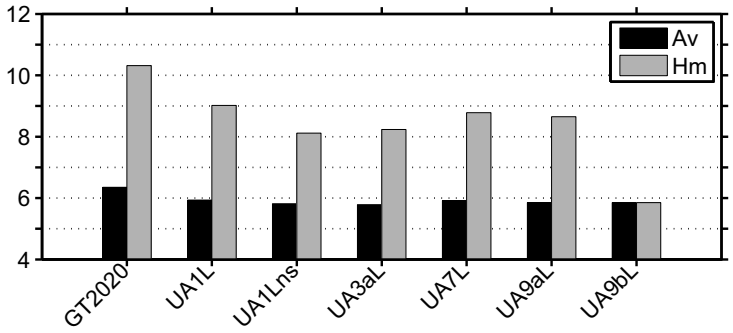
Kombinationsalternativen höjer punktligheten för snabbtågen jämfört med motsvarande utredningsalternativ. Lägre uppehållsförsening ger 2–5 procentenheter högre punktlighet. Med fem procentenheter ökar punktligheten för alternativen med tillägg på GTR och alternativet med nya sidospår, med fyra för gods i 120 km/h (UA1Lns) samt skip-stop i södra delen (UA3aL) och med två procentenheter i alternativet med tillägg på båda snabbtåg (UA9bL). Figur 3.46 visar nivåerna i Hässleholm för kombinationsalternativen i jämförelse med GT2020.



Figur 3.46: Ankomstpunktlighet i Hässleholm för snabbtåg i kombinationsalternativen.

Försenings- och punktlighetsutvecklingen motsvarar ungefär den i utredningsalternativen. Jämförs medelförsening ligger samtliga kombinationsalternativ tydligt lägre än för referensalternativet GT2020. Även här dominerar alternativet med tillägg för alla snabbtåg (GTR+GTF). I samtliga utredningsalternativ uppstår en tydlig merförsening för snabbtågen mellan Alvesta och Hässleholm, kombinationsalternativen möjliggör dock att denna ökningen inte blir lika stor, ser figur 3.47.

De övriga tågen påverkas marginellt, främst de som blir förbigångna. Störst effekt för godståg uppnås i alternativet som kombinerar tre åtgärder (UA1Lns) där en punktlighet på 86 % uppnås. Alternativet med bl.a. skip-stop (UA3aL) ger 90 % i Hässleholm, vilket hänger ihop med mycket tidtabellslagd förbigångstid.



Figur 3.47: Medelförsening (ankomst) för snabbtåg i kombinationsalternativen.

Resultatet visar att systemets stabilitet och återhämtningsförmåga kan förbättras genom kombinationer av åtgärder, utan att påföra mycket tilläggs- eller uppehållstid på trafikuppläggen. Nivåerna som nås är bättre än i jämförelsealternativet med snabbtåg i 250 km/h (GT2020). De negativa effekterna som uppkommer av den stora hastighetsblandningen och ökat trafikutbud kan inte kompenseras fullt ut av kombinationsalternativen.

3.7 Slutsatser

3.7.1 Tidtabellsanalys i TVEM och RailSys

Tidtabellsanalysen visar att trafiken för år 2020 som definierats utifrån dagens förutsättningar samt planerade och antagna förändringar kommer att medföra en ökning av kapacitetsutnyttjandet. Varierande medelhastigheter p.g.a. skillnader i framför allt tågens topphastighet och uppehållsmönster kräver mycket kapacitet, vilket medför låg tidtabellsflexibilitet.

Behov av extra tilläggstid uppstår i syfte att jämna ut medelhastigheterna och därmed skapa plats för fler tåg. Fasta tidsintervaller mellan trafikupplägg med samma funktion kan behöva frångås. Dessutom kan förbigångar i många fall behövas för att skapa en tidtabell som är praktiskt användbar.

Den höga belastningen medför även att åtgärder som kan framstå som oattraktiva kan krävas för att möjliggöra önskad trafik, t.ex. att sidospåret i Osby utnyttjas till förbigång av persontåg eller att huvudtågspåret för trafik i motsatt riktning korsas för att använda ett sidospår på andra sidan.

Södra stambanan trafikeras på den analyserade delen av ett IC-tåg och två snabbtåg per timme samt ett antal upplägg som endast går delar av sträckan. Genom att anta en frekvens med ett tåg per timme för de flesta linjer som ingår i analysen för år 2020 uppstår få problem med ojämn turtäthet under rusningstid. Pendeltågen i Östergötland utgör dock ett exempel på svårigheten med att nå styva intervaller för trafiksystem med hög turtäthet.

Redan i nuläget rymmer tidtabellen inte alltid de önskade jämna 20-minutersintervallerna utan att andra trafikupplägg påverkas. Högre hastighet för snabbtågen och ökad trafikvolym kräver fler åtgärder. I den här analysen valdes att minska snabbtågens medelhastighet genom att införa uppehåll i Norrköping och Linköping kombinerat med tidstillägg. Samtidigt ändrades tidsavståndet mellan pendeltågen till 15/20/25 minuter, i stället för 20/20/20.

Även turtätheten för regional- och pendeltågens upplägg på banans södra del påverkas av de stora trafikmängderna som ger tidtabellen låg flexibilitet. Krösatågens olika upplägg (som vänder i Stockaryd respektive Alvesta) kan inte i alla alternativ läggas med jämna intervall. Även avgångarna för Öresundståg och Pågatåg Nordost med olika uppehållsmönster men liknande funktion på sträckan måste av kapacitetsskäl ofta läggas nära varandra.

Godstågen måste förbigås flera gånger i samtliga alternativ och tidtabellstiden förlängs betydligt jämfört med ostörd körning. Detta gäller delvis även IC-tågen för vilka det krävs en eller flera förbigångar i många av alternativen. Pendel- och regionaltågen på södra delen av den analyserade sträckan påverkas också. I de flesta alternativ måste antingen Öresunds- eller Pågatågen bli omkörda. På grund av att det bara finns ett fåtal förbigångsmöjligheter på detta avsnitt måste ibland sidospåren i motsatt riktning användas och därmed huvudtågspåret korsas.

Samtliga alternativ visar tydligt att två förbigångsmöjligheter för tåg söderut är för lite mellan Alvesta och Hässleholm. Anpassad hastighet mellan Nässjö och Hässleholm (motsvarande situation som i Östergötland) kan vara ett sätt att förbättra systemets kapacitet. Den ökade tidtabellstiden som förbigångar medför innebär dock mindre attraktivitet vid resenärernas val av avgång. Färdmedelsvalet kan då påverkas negativt, d.v.s. resenärerna väljer bil eller buss istället för tåg.

Antal förbigångar och tidtabellstid varierar för olika tidtabellsalternativ. Med antagen trafik och tidtabellens begränsade flexibilitet finns inte mycket utrymme på den undersökta sträckan. Ändras förbigångsmönstret ökar den sammanlagda tidtabellstiden för samtliga tåg ofta rejält, även om tiden kan förkortas för enstaka trafikupplägg. Med hjälp av TVEM har alltid det tidtabellsalternativ med minsta totaltid valts.

Utöver skillnader i totaltiden uppträder även stora variationer inom respektive trafiksystem. IC-tågens tidtabellstid sjunker t.ex. när man kör Gröna tåget i stället för X 2000 (jämförelse GT2020 och JA2020), godstågen får dock längre tidtabellstid. Tiden för förbigångar förlängs medan IC-tågen får ett snabbare läge i tidtabellen.

Jämför man alternativen med 2020 års trafik med JA2011 blir det tydligt att den utökade trafiken minskar antalet tidtabellsalternativ, flexibiliteten samt utrymmet för godståg. Samtidigt krävs det mer tillägg för snabbtågen i JA2011, vilket framför allt beror på pendeltågens förändrade trafikering i Östergötland.

Den lägre medelhastigheten för X 2000 ger godstågen snabbare tidtabellstider jämfört med om snabbtågen trafikeras med Gröna tåget. Förutom Krösatågen som måste förbigås i alternativ JA2011 får samtliga trafikupplägg förbättrade värden jämfört med alternativen för prognosår 2020 med utökad trafik.

3.7.2 Simulering

Systemets återställningsförmåga är i samtliga alternativ relativt dålig, punktligheten sjunker under sträckan, framförallt för snabbtågen. Initiala förseningar är svåra att reducera. Största förseningsökningarna uppstår mellan Alvesta och Hässleholm där medelhastighetsskillnaderna är stora och trafikuppläggen många, samtidigt som förbigångsmöjligheterna är få.

Regionala upplägg, t.ex. pendeltåg och Öresundståg, har i många fall bra ingångspunktlighet. Den lägre medelhastigheten gör dem något mindre känsliga jämfört med snabbare tåg som vid förseningar hamnar i fel tidtabellsläge och kör ikapp långsammare tåg. Förseningsökningar för de lägre prioriterade tågen uppstår främst när de förbigås av försenade snabbtåg.

Nya sidospår minskar regional- och pendeltågens punktlighet p.g.a. den ökade risken för förbigångar. Andra tåg, framför allt gods- och IC-tåget i analysen, har varierande punktlighet och kraftigt förlängda tidtabellstider p.g.a. det begränsade utrymmet i tidtabellen.

Minskade uppehållsförseningar för snabbtågen bidrar inte bara till högre punktlighet för snabbtågen utan har även positiv effekt på andra tåg. Snabbtågen utgör p.g.a. högre hastighet och högre prioritet en störningsfaktor vid begränsad kapacitet. Förseningarna är höga när tågen kommer in i det analyserade systemet, därför är varje minskning viktig.

Det är önskvärt att reducera eller motverka förseningar vid stationsuppehåll, utan att det påverkar de resande. Korta uppehåll förbättrar stationskapaciteten och gynnar i förlängningen hela systemet. Mellan uppehållen kan det vara svårt att reducera förseningar p.g.a. att övriga långsammare tåg utgör hinder.

Kolonnkörning av liknande trafiksystem ger oftast positiva effekter på kapaciteten. För snabbtågen är detta på den aktuella sträckan enbart möjligt genom anpassning av pendeltågen i Östergötland eller utökning av tidstillägget. Alternativet med skip-stop för pendeltåg visar att kolonnkörning möjliggör en stabilare tidtabell, d.v.s. mindre förseningar. Negativa egenskaper av alternativet är utöver försämrade intervaller mellan pendeltågens avgångar även betydande körtidsförlängning för både IC- och godstågen.

I samtliga alternativ behövs många och långa förbigångar för godstågen. Simuleringen visar att dessa uppehåll hjälper till att minska förseningar. Utan tidtabellslagda förbigångar är risken stor att tågen måste vänta in andra tåg ändå p.g.a. förseningar. Två godståg av vald konfiguration ryms inte under persontrafikens

maxtimme. Utöver en mycket lång körtid för det andra godstågsläget blir systemet väldigt känsligt och förseningar svåra att hantera. Punktlighetsnivån sjunker betydligt för de flesta trafikuppläggen.

Tidstillägg för snabbtågen har stor betydelse även med tanke på inskränkningarna för övriga tåg(förbigångar och oregelbundna tider). Utredningsalternativet med tillägg mellan Alvesta och Hässleholm ger i simuleringarna stora förbättringar jämfört med de övriga alternativen. Ur stabilitetssynpunkt är det mer effektivt att lägga den extra tiden som körtillägg än som uppehållstillägg.

Marknadssyftet med Gröna tåget, att kunna erbjuda en snabbare resa mellan Stockholm och Malmö/Köpenhamn, blir dock inskränkt p.g.a. längre restider. Mindre tillägg ger i teorin en snabbare resa men den låga punktligheten bidrar negativt till tågets attraktivitet. Hur som helst visar studien att restiderna kan bli kortare med nya, snabbare tåg jämfört med nuläget.

3.7.3 Sammanfattning av resultaten

Resultaten visar att de testade åtgärderna inte är tillräckliga för att skapa ett välfungerande trafiksystem. Då orsakerna är komplexa och högre hastigheter för snabbtågen bara är en av faktorerna som påverkar, rekommenderas en analys med kombination av ännu fler åtgärder.

Syftet är att hitta lösningar som rymmer den efterfrågade trafiken, erbjuder större tidtabellsflexibilitet och har störningsreducerande egenskaper. Det framgår även tydligt att det trafikutbudet för år 2020 som antas belastar banans kapacitet hårt även utan hastighetshöjning för snabbtågen. En kompletterande analys utan andra ändringar i trafikutbudet rekommenderas.

Det ökade trafikutbudet leder till att antalet möjliga tidtabellsalternativ, d.v.s. tidtabellens flexibilitet, minskar kraftigt och möjligheterna för godstågslägen sjunker. Fler och längre förbigångar ger ökade tidtabellstider för de förbigångna tågen, men samtidigt även möjlighet att minska förseningar för dessa tåg. Det blir svårare att skapa styva tidtabeller och punktligheten minskar. En höjning av snabbtågshastigheten från 200 till 250 km/h ger liknande effekter.

Kombinerat med ökat utbud kan en 15 minuter kortare körtid uppnås med snabbtåget på sträckan. Andra tåg får dock förlängda körtider och skillnaderna i medelhastighet ökar kraftigt. Störst är denna skillnad mellan snabb- och godstågen på sträckan Stockaryd–Hässleholm, 130 jämfört med 97 km/h i alternativet med X 2000 och utökat trafikutbud. Det är också på denna sträcka som punktligheten minskar mest.

Åtgärderna som ger bäst effekt på systemets kapacitet är de som reducerar de önskade effekterna för trafiken. Utjämning av hastigheterna innebär att den restidsminskning som högre hastigheter ger reduceras. Kolonnkörning, mindre styva tidtabeller och reducering av trafikutbud minskar variation och tillgänglighet för resenärer och medför en försämring av tågens attraktivitet.

Möjligheterna för en marknadsorienterad utveckling av tågtrafiken i stråket är begränsade. Betydelsen av nya spår, utbyggnad av befintliga och nya banor, framgår tydligt och har en avgörande betydelse för att kunna svara mot marknadens krav.

Även i Trafikverkets kapacitetsutredning har framtida scenarion studerats för järnvägen mellan Stockholm och Malmö, bl.a. ett basalternativ med nuvarande infrastruktur och ett stambanealternativ som inkluderar åtgärder som tillåter snabbtåg i 250 km/h [16].

Dessa kan jämföras med scenarion JA2020 (med X 2000) samt GT2020 (med nytt snabbtåg) i den här studien vilket innebär att den planerade utökning av trafikutbudet kommer att leda till låg punktlighet m.m. i dessa scenarion samt att öka behovet för en höghastighetbana. Höghastighetsalternativ har inte behandlats i den här analysen.

3.7.4 Fortsatt forskning och utredning

Analysen visar att det är svårt att upprätthålla acceptabel punktlighet på Södra stambanan om trafiken ska utökas som planerat. Snabbtåg med högre hastighet, 250 jämfört med 200 km/h, förvärrar kapacitetssituationen. Systemet klarar inte av att minska förseningarna om inte medelhastigheterna jämnas ut i stor grad. Med hjälp av åtgärder av olika slag kan situationen förbättras, dock inte till en tillfredsställande nivå. Därför rekommenderas att flera åtgärder av olika slag undersöks.

Metod

- Analysera fler kombinationer av de föreslagna alternativen

Trafikupplägg och tidtabell

- Hur påverkas punktligheten om man bortser från målet att ha styv trafik för liknande trafikupplägg (Ötraf, Krösatåg, snabbtåg)?
- Ändra ordning/låsningar i TVEM, vilken effekt uppnås om tidtabeller genereras med ändrade förutsättningar?

- Möjlighet att utöka antal upplägg i TVEM, t.ex. Krösatåg och Öresundståg
  - Förbigångsstationer på södra delen – var/hur många?
  - Differentierat trafikutbud för pendel- och regionaltåg, uppehåll på olika stationer eller varierande antal stationer, finns det ett bättre sätt att trafikera Södra stambanan?
- Analysera GT2011 (JA2011 men med snabbtåg i 250km/h) eller reducera trafikutbudet på andra sätt, exempelvis enligt T13
- Varierande godstågsupplägg (för analysen har en typ av godståg som är representativ valts, i verkligheten finns det många olika upplägg)
- Uppnå jämnare medelhastigheter mellan Mjölby och Hässleholm genom tillägg
- Simulera båda riktningar för att testa riktningarnas påverkan på varandra samt se hur olika införseningar och lägen på förbigångsspår påverkar resultaten
- Testa fler alternativ med kolonnkörning
- Ändrat trafikupplägg i Östergötland

Simulering

- Variera prioriteringsregler för trafikledningsbeslut i RailSys
- Tidtabell för Gröna tåget utan uppehåll kompenserat med tillägg
- Simulering med lägre nivå på införseningar
- Minska tilläggen jämfört med nuvarande nivå

Infrastruktur

- Vilka stationer är mest lämpliga för utbyggnad? Fortsatt analys av effekter av nya förbigångsspår (sidospår) för pendel- och regionaltågsuppehåll
- Ändring av schemalagd spåranvändning avseende nya förbigångsspår på södra delen för pendel- och regionaltåg

Referenser

[1] Pågatåg Nordost. <www.pagatagnordost.se>.

[2] Regionförbundet södra Småland. Projekt TSS – Tågstopp Södra stambanan. <www.rfss.se>.

[3] O. Fröidh och T. Jansson. Kapacitetsanalys av två principutformningar av bansystemet på Ostlänken. Teknisk rapport TRITA–INFRA 05–017, KTH, 2005.

[4] A. Lindfeldt. Kapacitetsanalys av järnvägsnätet i Sverige. Teknisk rapport TRITA–TEC–RR 10–003, KTH, 2009.

[5] A. Lindfeldt. Investigating the impact of timetable properties on delay propagation on a double-track line using extensive simulation. I: MC Forde, redaktör, *Proceedings of Railway Engineering 2011, 11th International Conference and Exhibition, London, UK*. Engineering Technics Press, 2011.

[6] O. Lindfeldt. *Railway operation analysis – Evaluation of quality, infrastructure and timetable on single and double-track lines with analytical models and simulation*. Doktorsavhandling, TRITA–TEC–PHD 10–001, KTH, 2010.

[7] O. Lindfeldt och H. Sipilä. Validation of a simulation model for mixed traffic on Swedish double-track railway line. I: MC Forde, redaktör, *Proceedings of Railway Engineering 2009, 10th International Conference and Exhibition, London, UK*. Engineering Technics Press, 2009.

[8] B-L. Nelldal, O. Lindfeldt, H. Sipilä och J. Wolfmaier. Förbättrad punktlighet på X2000 – Analys med hjälp av simulering. Teknisk rapport TRITA–TEC–RR 08–001, KTH, 2008.

[9] H. Sipilä. Körtidsberäkningar för Gröna tåget – Analys av tågkonfigurationer. Teknisk rapport 0802, KTH Railway Group, 2008.

[10] H. Sipilä. Simulation of modified timetables for high-speed trains Stockholm–Göteborg. I: *CETRA 2010, First International Conference on Road and Rail Infrastructure, Opatija, Croatia*, ss 575–581. University of Zagreb, 2010.

[11] Skånetrafiken. Tågstrategi 2037. <www.skanetrafiken.se>, 2008.

[12] Trafikverket. Kapacitetsbegränsningar hösten 2011 (karta). <www.trafikverket.se>.

[13] Trafikverket. Överbelastningsbeslut Norrköping–Mjölby 2010–09–08. <www.trafikverket.se>.

[14] Trafikverket. Järnvägens behov av ökad kapacitet – förslag på lösningar för åren 2012–2021. Remissversion. <www.trafikverket.se>, 2011.

[15] Trafikverket. Kapacitetsbrister i järnvägsnätet, 2015 och 2021, efter planerade åtgärder. <www.trafikverket.se>, 2011.

[16] Trafikverket. Höghastighetsbanor och utbyggnad av befintliga stambanor Stockholm–Göteborg/Malmö. Underlagsrapport. <www.trafikverket.se>, 2012.

Järnvägsgruppen vid Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) i Stockholm bedriver tvärvetenskaplig forskning och utbildning inom järnvägsteknik och tågtrafik. Syftet med forskningen är att utveckla metoder och bidra med kunskap som kan utveckla järnvägen som transportmedel och göra tåget mer attraktivt för transportkunderna och mer lönsamt för järnvägsföretagen.
www.railwaygroup.kth.se

Järnvägsgruppen vid avdelningen för trafik och logistik har specialistkompetens beträffande marknad, järnvägsdrift och ekonomi. Exempel är trafikplanering, kundvärderingar, prognosmodeller, marknadsanalyser för både person- och godstrafik, simuleringsmodeller för bankapacitet och planering av infrastruktur.

Forsknings- och utvecklingsprogrammet Gröna tåget genomförs 2005-2012. Programmet engagerar en stor del av den svenska järnvägssektorn och KTH Järnvägsgruppen bidrar med flera forskningsprojekt. I denna rapport från avdelningen för trafik och logistik presenteras en metod där förseningsdata bearbetas och anpassas för användning som indata till simuleringar av tågtrafik. Resultaten används därefter i en kapacitetsanalys med höjda hastigheter och ökat trafikutbud på Södra stambanan. **www.gronataget.se**

Gröna Tåget
Trains for tomorrow's travellers