



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC STS 20031

Examensarbete 30 hp
Augusti 2020

Tågförarbeteendets inverkan på Railsys-analyser vid simulering av ERTMS

Daniel Knutsen



UPPSALA
UNIVERSITET

**Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten**

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

The influence of train driver behavior on simulation of ERTMS

Daniel Knutsen

This study has investigated the effects various effects that driver behavior has on the analyses and simulations carried out by the Swedish Transport Administration. By making assumptions about train drivers' braking ability - which has been modelled by braking percentage and implementing these in the same analysis methods that the Swedish Transport Administration use - the effect of how different driving behaviours affect the results of these analyses can be assessed.

The analyses have been carried out on the Sundsvall–Umeå line: a section where ERTMS is already implemented. The following analyses have been performed in the Railsys tool: runtime analysis, headway analysis (how close two trains can drive after each other), and punctuality analysis. The result of the runtime analysis shows that the effect on runtime is not significant between different driver behaviors. However, there is a greater effect on the headway analysis; the results show that trains can drive significantly closer after each other on stretches where braking is common. The punctuality analysis shows little difference in punctuality. But based on the result, the assumption was made that it would have a significantly greater effect on a railway system with more traffic - for example Stockholm - than for the simulated system in this study.

The conclusion of the study is that different driver behaviours have an effect on headway and punctuality analyses. However, it is not possible to obtain an exact value on how punctuality and runtimes are affected by variations in train driver behavior with the simulation methods used currently in Sweden.

Handledare: Tomas Rosberg
Ämnesgranskare: Anders Arweström Jansson
Examinator: Elísabet Andrésdóttir
ISSN: 1650-8319, UPTec STS 20 031

Sammanfattning

I Sverige sker idag en övergång från det svenska signalsäkerhetssystemet på järnväg (ATC) till det EU-gemensamt system European Rail Traffic Management System (ERTMS). Vid en sådan övergång behöver Trafikverket studera vilka effekter det får på dagens järnvägssystem: vad är effekten på trafikkapacitet, och hur robust kommer järnvägen vara vid störningar? För att svara på dessa frågor använder Trafikverket olika analysmetoder och simuleringsverktyg. Eftersom dessa analyser bidrar till ett viktigt underlag när beslut ska tas kring införande av ERTMS är det också viktigt att analyser så nära som möjligt motsvarar verkligheten.

Denna studie har undersökt effekterna olika förarbeteenden har på de analyser och simuleringar Trafikverket genomför. Genom att utgå från antaganden kring tågförarens bromsförmåga – som har modellerats genom bromsprocent, och genomföra samma analysmetoder som Trafikverket genomför – har effekten av hur olika förarbeteende påverkar resultatet av dessa analyser kunna bedömas.

Som avgränsning har analyser genomförts på sträckan Sundsvall–Umeå: en sträcka där ERTMS redan idag är implementerad och i drift. Analyser som genomförts i simuleringsverktyget Railsys är: gångtidsanalys, headwayanalys (hur tätt två tåg kan köra efter varandra), och punktlighetsanalys. Resultatet av gångtidsanalysen visar att gångtiden inte påverkas nämnvärd mellan olika förarbeteenden; däremot fås en större effekt på headwayanalysen. Resultatet från analys av headway visar att tåg kan köra betydligt tätare på sträckor där det sker många inbromsningar. Punktlighetsanalysen visar liten skillnad i punktlighet; men utifrån resultatet har antagandet gjorts att det skulle få betydligt större effekt på ett järnvägssystem med mer trafik – exempelvis Stockholm – än för simulerad sträcka.

Slutsatsen av studie är att förändrade förarbeteenden, som simulerats genom förändrat bromsprocent, ger effekt på headway- och punktlighetsanalyser. Resultatet visar också på att en mer utförlig analys om vilka bromsprocent som är möjliga, och vilka som bör användas för ERTMS, behöver studeras vidare; eftersom det slår på de analyser som idag genomförs av Trafikverket.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	2
1.1	Syfte och frågeställning	3
2.	Bakgrund	4
2.1	ATC	4
2.2	ERTMS.....	4
2.2.1	Bromsförmåga	6
2.3	Kapacitet	7
2.3.1	Gångtidsanalys.....	8
2.3.2	Headwayanalys	8
2.3.3	Punktlighetsanalys	9
2.3.4	Simuleringsverktyg och Trafikverkets Sverigemodell	9
2.4	Railsys.....	10
2.4.1	Infrastruktur	10
2.4.2	Tidtabell & Simulering	10
2.4.3	Utvärdering av simulering.....	12
2.5	Förarbeteende.....	13
2.5.1	Övervakning	13
3.	Metod.....	14
3.1	Förarbete i Railsys	14
3.1.1	Infrastruktur	14
3.1.2	Tidtabell	14
3.1.3	ERTMS inställningar.....	15
3.1.4	Framtagande av nya bromsinställningar	16
3.2	Kapacitet	18
3.3	Gångtidsanalys	18
3.4	Headwayanalys.....	20
3.5	Punktlighetanalys.....	21
3.5.1	Förseningsdata.....	21
3.5.2	Modellering av tågväg	22
4.	Resultat	24
4.1	Bromsprocent.....	24
4.2	Gångtidsanalys	24
4.3	Headwayanalys.....	25
4.4	Punktlighetsanalys	27
4.5	Kapacitet	28

5. Diskussion	29
5.1 Gångtidsanalys	29
5.2 Headwayanalys.....	29
5.3 Punktlighetsanalys	30
5.4 Kapacitetsberäkningar	31
6. Slutsatser	32
6.1 Framtida studier	32
Referenser.....	33
Ordlista.....	35
Bilaga A	36
Bilaga B	37

1. Inledning

Ett järnvägssystem är aldrig mer pålitligt än dess säkerhetssystem. För att säkerställa säkerheten i ett järnvägssystem, och för att minska risken för olyckor som har att göra med människans beteende, har särskilda säkerhetssystem utvecklats. Dessa system har som uppgift att gå in och bromsa tåget i de fall tågföraren överskrider fastställda säkerhetsgränser. Historiskt sett har varje land i Europa haft egna myndigheter vars uppdrag varit att förvalta järnvägsanläggningen; detta resulterade i att de flesta länder införde egna standarder för sina säkerhetssystem. Konsekvensen blev att tåg tvingas byta lok vid landsgränser; och även tågförare, då de endast utbildas i sitt eget lands säkerhetssystem. Bristen av standardisering medförde att leverantörer av järnvägskomponenter och tåg tvingades utveckla olika produkter för att anpassa sig till olika länders regelverk – vilket gav fördyringar. Med bakgrund av detta beslutade EU under 1990-talet att införa en gemensam EU-standard för säkerhetssystemet på järnväg. Den nya standarden fick namnet European Rail Traffic Management System (ERTMS) och fastställdes i början på 2000-talet. För att driva och hantera systemspecifikationer för ERTMS skapade EU myndigheten European Railway Agency (ERA). [1]

Idag är ERTMS fortfarande i ett tidigt implementeringsskede, och har i Sverige endast införts på ett fåtal banor [2]. Av dessa är de mest trafikerade banorna Botniabanan och Haparandabanan. För den fortsatta implementeringen genomförs flera analyser för att förutse effekterna av ett sådant införande. Detta för att säkerställa att införandet av ERTMS blir så bra som möjligt och att järnvägssystemets kapacitet inte försämras [2]. Som analysverktyg används i de flesta fall det tyskt utvecklade simuleringsprogrammet Railsys [3]. Med hjälp av Railsys kan analyser genomföras kring hur tågens punktlighet och gångtider påverkas av ett införande av ERTMS jämfört med dagens svenska säkerhetssystem, ATC.

Analyserna bildar ett viktigt underlag när beslut ska fattas kring införande av ERTMS i Sverige. Det är därför viktigt att resultat från simuleringar motsvarar, så nära som möjligt, det verkliga utfallet. Införandet av ERTMS är dock i ett tidigt skede, och det finns fortfarande många frågetecken kring hur väl simuleringar i Railsys motsvarar verkligheten. Framförallt har Trafikverket framfört att ett simulerat förarbeteende av tågförare kan avvika från verkligt förarbeteende. Det finns därför behov av att genomföra studier inom detta område för att validera och kalibrerar dagens simuleringsmetoder.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med detta examensarbete är att analysera vilka effekter tågförarens förarbeteende har på de kapacitetsanalyser och arbetsprocesser som idag används av Trafikverket och konsultföretag för att analysera banor med ERTMS. Kapacitetsanalyser och arbetsprocesser som ska studeras innefattar följande:

- Gångtidsanalys
- Headwayanalys
- Punktlighetsanalys
- Kapacitetsutnyttjande

Målet med examensarbetet är också att ta fram ett kvantitativt värde på hur punktlighet och gångtider påverkas av variationer i tågförarbeteenden.

2. Bakgrund

2.1 ATC

Hur ser vi till att två fordon inte kolliderar? I vägtrafiken är det upp till föraren att se ett hinder och bromsa. En bil som färdas i 90 km/h behöver, under normala förhållanden, en bromssträcka på 40 meter. Det kan jämfört med ett tåg som från 90 km/h behöver en bromssträcka på 481 meter [4]. Och då kör oftast tåg i dubbla hastigheten.

Järnvägssystemet behöver därför ett system som ser till att det aldrig kan befinna sig ett tåg, eller vagn, på sträckan framför ett annat tåg. Alltså, att säkerställa att tåg hinner bromsa så säkert och komfortabelt som möjligt.

Hur säkerställer vi det? Det enkla svaret är helt enkelt se till så att inget tåg åker på järnvägen mellan två stationer på enkelspårsträckor. Detta minskar kapaciteten kraftigt då inte mer än ett tåg kan trafikera en bana åt gången; det är också ett riskfyllt system, eftersom det förlitar sig på enbart mänskliga bedömningar att säkerställa att endast ett tåg släpps fram från varje station. Därför är det inte konstigt att ett modernare system behövdes tas fram. Det nya systemet, ett säkerhetssystem, fick namnet ATC (Automatic Train Protection).

ATC är idag fortfarande det säkerhetssystem som används på majoriteten av sträckorna på den svenska järnvägen. Systemet är grundläggande för att säkerställa säkerheten för tågtrafiken. Grunden i ATC bygger dels på de så kallade baliserna: fysiska sändare utplacerade längs järnvägen för att överföra information till tågen; och dels tågdetektering: indikation om ett tåg befinner sig på en viss sträcka eller ej [4]. För att detektera tåg i Sverige används spårledning: en elektrisk spänning i spåret som kortsluts om ett tåg passerar. Om spårledningen kortsluts är spåret belagt; ett tåg finns på sträckan och huvudsignalen ställer om till stopp för efterföljande tåg. En bana kan ha flera sträckor med separata spårledningar, vilket kallas blocksträckor, och som har en huvudsignal i båda ändarna. ATC säkerställer att tågets hinner bromsa in om huvudsignal visar att blocksträcka längre fram är belagd, och att tåget nödbromsas om tåget passerar in på en blocksträcka som är belagt av ett tåg. [4]

Med ATC är det tillåtet att köra med högre hastighet än den angivna hastigheten på sträckan (inom en angiven marginal) utan att det anses påverka säkerheten. Denna tillåtna överstigande hastighet kallas överhastighet. Dagens ATC tillåter en överhastighet på 9 km/h. Alltså, på en sträcka med angiven hastighet 100 km/h är det tillåtet att köra i 109 km/h innan systemet går in och bromsar tåget. [4]

2.2 ERTMS

ERTMS är ett signalsäkerhetssystem framtaget av EU i syfte att skapa ett gemensamt säkerhetssystem för hela Europa. Målet är att underlätta tågresor och godstransporter

över landsgränser inom EU, med förhoppningar om att ett standardiserat signalsäkerhetssystem ska bidra till utveckling och innovation och minskade kostnader. Utveckling och införande av systemet drivs av den europeiska järnvägsmyndigheten ERA. ERTMS är inte enbart ett signalsystem för Europa; många länder utanför EU har börjat med införande av ERTMS: exempelvis Nya Zeeland, Mexico och Förenta Arabemiraten. [5]

Järnvägssystem har historiskt sätt varit isolerad inom ett lands gränser vilket har lett till att olika regleringar och krav gäller inom landsgränser. Ett gemensamt säkerhetssystem behöver därför kompromissa och möjliggöra en viss grad av variation. Dessa variabla inställningar har fått benämningen National Values. Det är tågförarens uppgift att mata in dessa värden i tåget vid passage från ett land till ett annat. Detta möjliggör att länder kan ha en viss grad av reglering av sina signalsystem samtidigt som det möjliggör för tåg att passera över landsgränser. Uppdatering av National Values sker kontinuerligt, allt eftersom länder gör nya bedömningar kring säkerhetsnivåer, förarbeteende, osv [6]. ERTMS består i grunden av två delsystem:

- ETCS (European Train Control System): ska säkerställa trafikering och fungera som skyddssystem.
- GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railway): telesystem som ska säkerställa att information från tåget och signalsystemet når ett centralt styrsystem, vilket säkerställer att systemet fungerar.

ERTMS är även indelat i nivåer (levels), som kan jämföras med mobilkommunikationens indelning av generationer [6]. Förutom att definiera nästa generations signalsystem beskriver dessa nivåer vilka tekniska krav som ska uppnås. I dagsläget finns det fyra definierade nivåer med tillhörande tekniska krav:

- Level 1: motsvara det svenska ATC systemet med fysiska signaler, baliser, och spårledning.
- Level 2: ERTMS ska använda signalpunkter och inte fysiska signaler. Vid lokalisering av tåg används fortfarande spårledning.
- Level 3: lokalisering av tåg sker genom ett separat system, *train integrity*, och spårledningar behöver därför inte användas. Utan behovet av spårledning så behöver inte blocksträckor vara definierad mellan två huvudsignaler, utan tåg kan då köra efter varandra. Detta brukar kallas för movingblock.
- Level 4: ska möjliggöra självkörande tåg. Systemet ska själv klara av att köra tåg och trafiken styrs helt genom trafikledning.

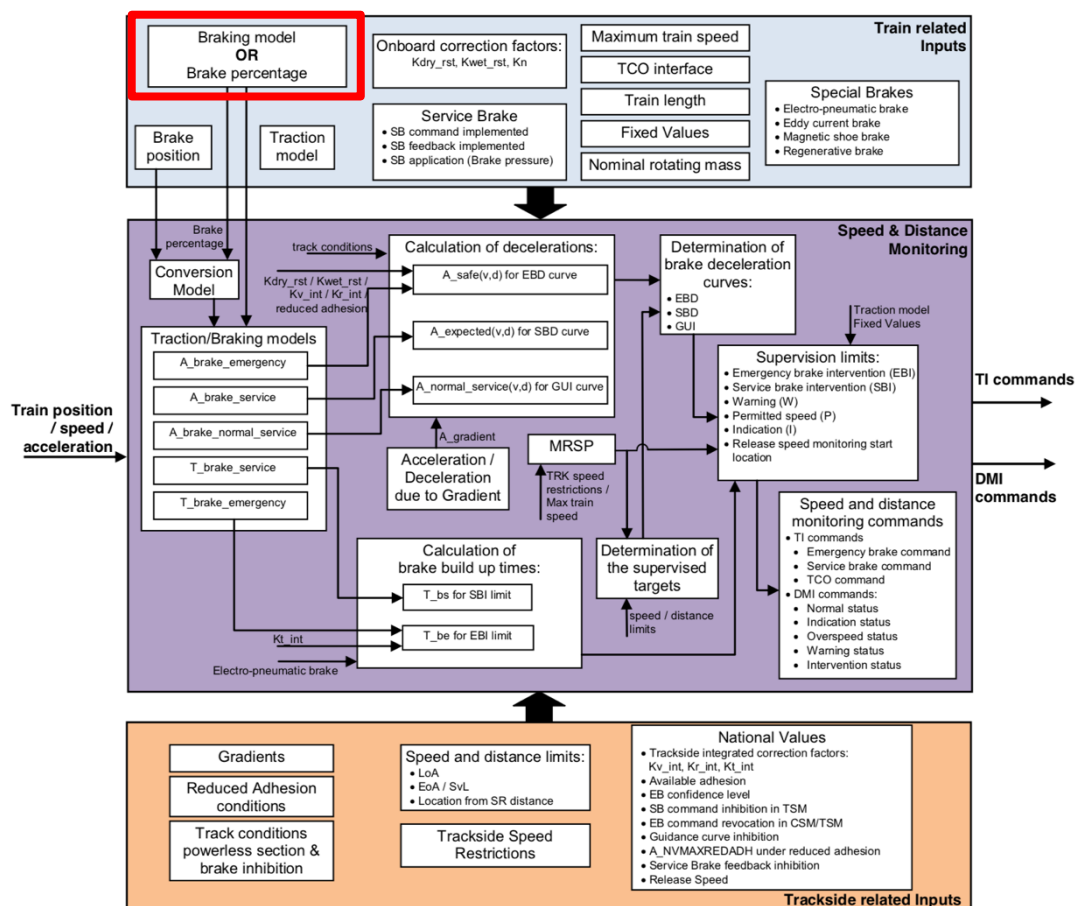
I likhet med ATC möjliggör ERTMS överhastighet. I Sverige tillåts en överhastighet på 4 km/h innan systemet går in och bromsar tåget [6]. Detta kan jämföras med ATC, som tidigare nämnts tillåter en överhastighet på 9 km/h.

2.2.1 Bromsförmåga

Bromsförmågan beräknas i ERTMS utifrån en av två metoder: bromsmodell eller bromsprocent. Dessa metoder har ibland beteckningarna gamma respektive lambda [6].

Om bromsprocent (lambda) används så ska även en konverteringsmodell användas. Konverteringsmodellen har dock ett antal begränsningar: tågets maximala hastighet får inte överstiga 200 km/h; värdet på bromsprocent måste ligga mellan 30 och 250 procent (bromsprocent motsvara bromsvikten delat på tågets totala vikt, där bromsvikten är en abstrakt definition på bromsarnas förmåga) [6].

Bromsprocenten matas in i konverteringsmodellen (se *conversion model* i figur 1). Utdata från denna modell är två retardationsmodeller: en för servicebroms (motsvarar driftbroms) och en för nödbroms; dessa två modeller bestämmer tågets bromsförmåga. Notera att det även läggs till olika tidspåslag beroende ett antal faktorer: tid för bromsarna att bygga upp tillräckligt med tryck (kallas tillsättnings-tid), tid för att ta hänsyn till lutning, tid för reducerad adhesion (vilket är ett finare ord för vått/halt underlag). Dessa faktorer påverkar tågets slutliga bromsförmåga.



Figur 1. Översikt över huvudelement som bygger upp säkerhetssystemet i ERTMS. Markering visar vart i förloppet bromsprocenten kommer in i systemet.

2.3 Kapacitet

Trafikverket definierar kapacitet som ”transportsystemets förmåga att hantera efterfrågad volym av resor och transporter” [7]. Med det menas att transportsystem (järnväg) med bra kapacitet ska klara efterfrågad trafik (tåg i tidtabell) samt klara av att hantera störningar (förseningar). För att bedöma kapaciteten används ett flertal metoder för att beräkna fram värden som kan mätas och jämföras.

Vanligaste analysmetoden är en matematisk beräkningsformel utvecklad för att bedöma kapaciteten på en linjedel, vilket motsvarar en sträcka med samma typ av infrastruktur och där ingen nya tåg tillkommer. Exempelvis delas en sträcka upp om banan är delvis dubbel- eller enkelspårig. Från beräkningarna fås ett värde – kapacitetsutnyttjande – vilket är ett värde på infrastrukturens belastning. Kapacitetsutnyttjandet kan ses som en andel som återspeglar hur stor del av den totala tiden en bana är belagd med tåg.

Matematiska beräkningsformeln bygger på generella antagande om tågdrift och hur de påverkar kapaciteten. Exempelvis antas tågmöten på enkelspårig bana ge tillägg på 2 minuter för varje tåg. Som indata till beräkningsformeln används i dag följande:

- gångtider (förklaras mer ingående på nästa sida) för fyra olika tågtyper: snabbtåg, pendeltåg, övriga persontåg, samt godståg
- antal tåg av de fyra olika tågtyperna som passerar linjen under ett dygn
- värde på headway (förklaras mer ingående på nästa sida) för de fyra olika tågtyperna
- längden på sträckan
- utformning på infrastrukturen: samtidig infart, fjärrblockering, enkel- eller dubbelspårig, osv.

De matematiska beräkningarna är övergripande och ger sällan ett exakt värde på kapaciteten; utan syftet med beräkningarna är att ge en bild om hur belastade olika tåglinjer är. En brist är att de matematiska formlerna inte fångar upp alla delar i systemet som påverkar kapaciteten. Exempelvis finns det inget sätt att fånga upp effekten av ett förbigångsspår (ett kortare spår på dubbelspårig bana där tåg kan gå in för att släppa fram efterliggande tåg) vilket i verkligheten har stor påverkan på den faktiska kapaciteten.

Matematiska kapacitetsberäkningarna kan låta bristfälliga, men det är viktigt komma ihåg att de fortfarande ligger som grund för många andra typer av beräkningar inom Trafikverket. Alltså, en förändring av beräkning av kapaciteten skulle kräva att många andra system behövs kalibreras om. Matematiska kapacitetsberäkningarna bör därför fortfarande anses som en relevant beräkning av kapaciteten. [7–8]

Som komplement till matematiska beräkningarna används ett antal analysmetoder för att bedöma kapaciteten (dessa kommer att gås igenom mer i detalj längre ner). Vanligtvis genomförs analyserna med simuleringsverktyget Railsys (andra verktyg, så som Opentrack, används också). Railsys kan också beräkna kapacitetsutnyttjandet på liknande sätt de matematiska beräkningarna, men ger oftast ett betydligt lägre, och mer exakt, värde på utnyttjandet. Att Railsys inte används för att beräkna kapacitetsutnyttjandet är på grund av som tidigare sagts att många system är kalibrerade utifrån de matematiska beräkningarna.

Simuleringsverktyg används för främst tre typer av analyser:

- Gångtidsanalys
- Headwayanalys
- Punktlighetsanalys

2.3.1 Gångtidsanalys

Vid en gångtidsanalys studeras den tid det tar för ett tåg att ta sig från station A till station B, denna tid definieras som gångtid. Det finns två typer av gångtider som normalt tas fram: gångtider med start och stopp, och flygande gångtider (gå under namnet passertider). Flygande gångtider utgår från ett tåg som antas hålla full hastighet genom station A och B. Det bör tilläggas att det vid gångtidsanalys ibland räknas med stopp på mellanliggande stationer; detta kan exempelvis vara aktuellt vid analys av pendel- eller regionaltåg som i tidtabell stannar vid driftplatser mellan station A och B. Vid vilken plats på stationen som gångtider mäts från kan variera; oftast utgår från stationens mitt vid beräkning av flygande gångtider och från stoppunkt, enligt tidtabell, vid beräkning av gångtid med start och stopp. [9]

2.3.2 Headwayanalys

Vid en headwayanalys beräknas och analyseras headway; vilket definieras av Trafikverket som: ”minsta tidsavstånd mellan två tåg utan att det bakomvarande tåget måste påbörja en inbromsning mot en signal i stopp” [10]. Headway kan tas fram för ett visst antal definierade scenarier:

- minsta längd- eller tidsavståndet mellan två tåg av samma eller olika tågtyp på linjen
- minsta tidsavståndet mellan tåg vid förbigångar (omkörning på dubbelspår)
- minsta tidsavståndet vid in- och utfart till station

Vid analys av headway tas resultat ut för tåg som motsvara den trafik som trafikerar linjen eller antas göra om analysen utreder framtida trafikeringar. Oftast väljs en tågtyp

ut från tre kategorier: snabbtåg, regionaltåg/pendeltåg (om pendeltåg trafikerar linjen), och godståg. De tågtyper som vanligtvis används är: X2 och X55 för snabbtåg, X60 eller X62 för pendeltåg, och Rc4 lok med en vikt runt 1500 ton för godståg. Vid analyser brukar vanligtvis det högsta tidsavståndet redovisas – vilket kallas för dimensionerande headway. Detta är det maximala värdet på headway för studerad sträcka, och ska åskådliggöra det minsta tidsavstånd som behövs för att det bakomliggande tåget inte ska behöva påbörja inbromsning. Exempelvis så får den dimensionerande headway inte överstiga 200 sekunder, ifall sträckan ska klara av att trafikera 18 tåg under en timme ($18 \times 200s = 3600s$). Det är vanligt förekommande att krav för tågantal redogörs istället för tid vid analys av headway; detta är dock bara ett alternativt sätt att redovisa headway och motsvara inte ett faktiskt tågantal vid drift. [10]

2.3.3 Punktlighetsanalys

Punktlighet är ett värde på hur många tåg som ankommer till slutstation i tid. Att ett tåg är i tid till slutstation mäts dock på olika sätt: vanligtvis tillåts en viss försening in till slutstation så att tåget ändå klassas som i tid; tiden kan också variera beroende på tågtyp. Men vid simulering definieras tåg i tid när tåget når slutstation inom minuttal 5. Alltså, tåg anses vara i tid vid försening under 6 minuter. Denna tid gäller då för alla tågtyper vid simulering.

För att kunna få fram ett värde på punktlighet måste en tidtabell simuleras. Men att simulera en tidtabell rakt upp och ner räcker inte. För att modellera verklig tågdrift måste förseningar läggas till i simuleringen. Genom att jämföra punktligheten från olika simulerade alternativ – där antingen tågantal minskas eller ökas, eller vissa förändringar i infrastrukturen gjorts – fås ett värde i procent på hur många tåg som är i tid (punktlighet). Andra faktorer, så som robustheten (hur känsligt systemet är för störningar) och hur kapaciteten på banan påverkas av specifika åtgärder, kan också bedömas utifrån resultatet. [11]

2.3.4 Simuleringsverktyg och Trafikverkets Sverigemodell

Det idag valda simuleringsverktyget för kapacitetsanalyser på Trafikverket är Railsys. I simuleringsverktyg har hela Sveriges järnvägsnät byggts upp, inlagt med all data som är relevanta för de typer av analyser som genomförs. Data som är inkluderade i Trafikverkets modell är: signalplacering, blocksträckor, hastighet och hastighetstavlor, lutning, växelpunkter (motsvara mitten på en växel), stoppunkter, plattformar, baliser, stationsnamn och stationsmitt, tågtyper med angivna köregenskaper och litterat (namn på typen av tåg) samt tågplan för aktuellt år.

2.4 Railsys

Simuleringsverktyget Railsys består av tre moduler: Infrastruktur Manager, Timetabel & Simulation Manager och Evaluation Manager. Dessa motsvara hantering av infrastruktur, tidtabellsläggning och simulering av lagd tidtabell, samt utvärdering och framtagande av resultat från simulering.

2.4.1 Infrastruktur

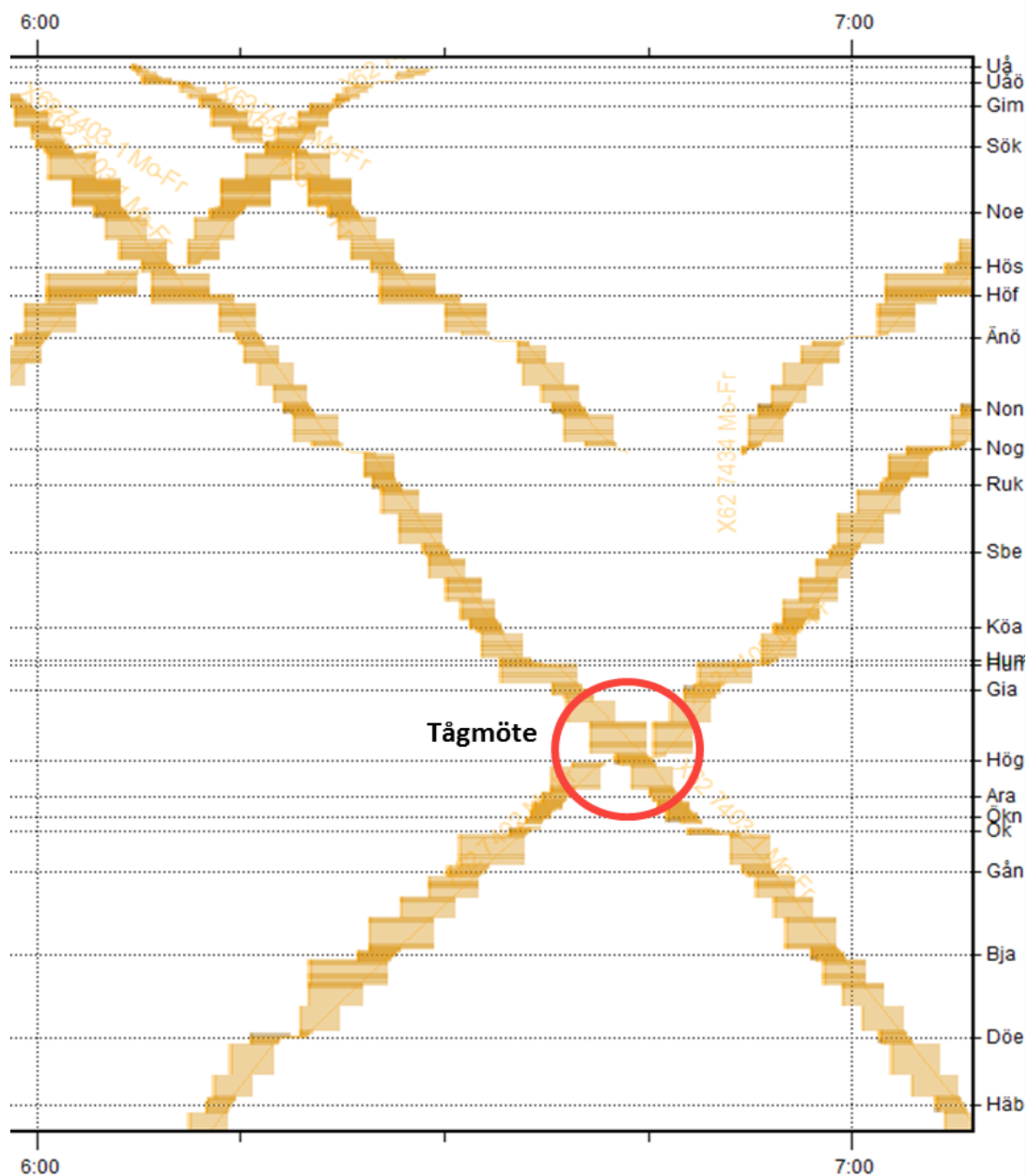
För att simulera en tidtabell behöver en modell av infrastrukturen byggas upp. Detta görs i modulen Infrastruktur Manager. Vanligtvis utgås analyser från Trafikverkets framtagna modell av Sveriges järnvägsnät.

2.4.2 Tidtabell & Simulering

För att simulera tidtabeller används modulen Timetabel & Simulation Manager. Modulen kan också användas för enklare analyser av gångtider och headway. Som indata i modulen anges fordonsdata, vilket används för att beräkna gångtider utifrån infrastrukturdata. Som fordonsdata anges tågets egenskaper: tågvikt, tåglängd, dragkraft (stegvist utifrån hastighet). Utifrån fordonsdata fås modellering av hela tåg, lok och vagnar eller antal motorvagnar (tåg med enbart vagnar utan separat lok). Utöver detta behöver inställningar göras för information om tågets signalsystem. ERTMS och ATC-S är endast de som är relevanta för drift i Sverige.

Tidtabeller importeras eller skapas själv i Railsys, se figur 2. På Trafikverket tas det årligen fram en tidtabell som ska ligga till grund för järnvägstrafiken det året – den så kallade tågplanen [12]. Det görs dock förändringar i tidtabellen: nya tåglägen läggs in och andra tåg tas bort utifrån analysens syfte. I tidtabellen finns även så kallad slack: extratid som ska finnas i tidtabellen för att tåg ska ha möjlighet att ta igen mindre förseningar. Det finns även så kallat minustid: vilket förekommer då gångtiden som ligger i tidtabellen är kortare än reell körtid i Railsys.

Vid analyser av järnvägstrafik används som standard den lagda trafikeringen, och det tas därför inte hänsyn till tillfälliga lösningar eller bortfall av trafik. Vid simulering av ett trafikdygn så är det vanligt förekommande att simulera en torsdag i oktober: trafikdygnet anses motsvara ett normaldygn, då både person- och godstrafik går enligt normala förhållanden. Att utgå från normaldygn ger oftast en trafikering som motsvarar normaldrift under året, utan påverkan av specifika tågavgångar eller underhållsarbeten. [13]



Figur 2. Exempel på tidtabell från Railsys. Rödmarkering visar tågmöte mellan två X62 tåg i Högby sjön (Hög).

För att en simulering i Railsys ska motsvara ett normalt driftläge så behöver förseningar simuleras. Vid simuleringar utgås från två typer av förseningar: ingångsförsening (försening som tåget har med sig in i systemet), och uppehållsförsening (försening på grund av på- och avstigning).

Ingångsförseningar bygger på statistiskt underlag från faktiskt körd trafik. Underlaget tas fram från Trafikverkets databas Lupp. För ingångsförsening används antal tåg med försenad avgång. Framtagna data redovisas sedan som fördelning i antal försenade tåg inom valda tidsintervall. Vanligtvis sätta en övre gräns på 30 minuters försening eftersom det anses genererar en sådan stor försening i tidtabellen att det i princip ger en

helt ny tidtabell; vilket gör tidtabeller svåra att jämföra och då det genererar konfliktsituationer som Railsys inte kan lösa. Genom att använda förseningsdata vid ändstationerna i det simulerade systemet kan tåg som startar där få en ingångsförsening. Förseningsdata på efterliggande driftsplatser brukar väljas för stationer som angränsas av flera banor. Detta för att inte få med de tåg som endast passerar stationen men inte trafikerar de banor som är valda för analysen. Exempelvis kan det vid en analys av Ostkustbanan vara missvisande att ta ut förseningsdata från Stockholm, då mycket trafik som avgår från Stockholm inte trafikerar Ostkustbanan. Så i detta fall skulle Solna vara en bättre station att representera Stockholm.

Uppehållsförsening ska modellera förseningar som uppstår vid resandeutbyte: på- och avstigning. Detta modelleras utifrån framtagna förseningar, fördelade på tidsintervall, som bygger på forskning – till skillnad från ingångsförseningar som bygger på historiska förseningsdata från verkligheten. Fördelningarna gäller andel tåg med försening på antal sekunder. Förseningsfördelningen är sedan uppdelad i typ av station: stor, mellan, liten, stor pendelstation, liten pendelstation. Detta för att modellera att större station har fler resenärer och att uppehållsförseningar för pendelstationer oftast är kortare.

För simulering av tidtabell kan antingen en enskild tidtabell (i Railsys: *singel simulation*) simuleras eller flera tidtabeller (i Railsys: *multiple simulations*). Vid enskild simulering kör Railsys den aktuella tidtabellen. Simulering av flera tidtabeller innebär att förseningsdata läggs i aktuell tidtabell och skapar ett antal nya slumpgenererade tidtabeller. Hur många tidtabeller som skapas på detta sätt kan variera. Trafikverket rekommenderar upp mot 800 tidtabeller, men det kan i mindre analyser räcka med runt 100 tidtabeller. Som regel körs simuleringen endast för ett dygn. För att få med tågen som startar innan trafikdygnet men som ändå trafikerar system inom trafikdygnet brukar starten för simuleringen start sättas till kl 21:00 dagen innan. På samma sätt läggs simuleringens slut till kl 03:00 dagen efter trafikdygnet. Detta för att få med de tåg som når slutstation efter kl 24:00 för det simulerade trafikdygnet.

2.4.3 Utvärdering av simulering

För analys av simulerad tidtabell används Railsys modulen Evaluation Manager.

Vid utvärderingen väljer användaren de stationer som ska tas med i resultatet för analysen, vanligtvis väljs slutstationer. Punktlighet, som beskrivits tidigare, mäts utifrån Trafikverkets definition av andel tåg som ankommer till slutstation inom 5 minuter och 59 sekunder. Det går även att mäta genomsnittlig förseningstid; genom att jämföra genomsnittlig förseningstid in och genomsnittlig förseningstid ut från en station går det mäta hur mycket i tid ett tåg tappar, alternativt tar in, vid valda stationer.

2.5 Förarbeteende

2.5.1 Övervakning

Att övervaka tågförarens körbeteende är en viktig del i signalsystemet. Med övervakning avses att tåget automatiskt bromsar om tågföraren når för hög hastighet, eller passerar röd signal. Forskning har visat att förare nyttjar möjligheten att ”köra på pipet” [14], den ljudsignal som varnar föraren att tåget snart når gränsen där systemet går in och automatbromsar.

Antagandet är att detta är en effekt av att föraren anser att tidtabellen inte är möjlig att hålla utifrån verklig körtid och därmed behöver ”köra in tid”. Detta fenomen har också observerats på Malmbanan då tågförare accelererar över maximal hastighet i nedförsbackar för att lättare klara nästkommande uppförsbacke. [11] Detta fenomen är problematiskt då ATC möjliggör en överhastighet på 9 km/h (notera att det är vid 10 km/h som systemet går in och bromsar) medans det i ETCS endast går att köra med en överhastighet på 4 km/h. Det har visats sig i flera studier att tågförare utnyttjar denna möjlighet [11]. Detta kan leda till att tågförare riskerar att inte klara lagd tidtabell när ATC systemet byts mot ETCS. Det finns dock förslag från Trafikverket att vid införande av ETCS även höja maxhastigheten på vissa sträckor för att kompensera för detta fenomen, men det är omgärdat med en del problematik kopplat till infrastrukturens förutsättningar samt lagar och bestämmelser.

3. Metod

3.1 Förarbete i Railsys

För detta arbete har samtliga delsystemen i simuleringsverktyget Railsys använts. Beskrivning av Railsys olika delsystemen har redogjorts tidigare; nedan följer en beskrivning av förutsättningar och det förarbete som genomförts i Railsys inför simuleringen av signalsystemet ERTMS utifrån olika förarbeteenden.

3.1.1 Infrastruktur

Botniabanan har valts som sträcka för simulering av ERTMS. Botniabanan sträcker sig från Umeå till Västeråsby, och är en av banor som idag har ERTMS installerat. Sträckan för analys har dock förlängts med Ådalsbanan – som sträcker sig från Långsele till Sundsvall via Västeråsby – så att den totala sträckan för analys sträcker sig från Umeå till Sundsvall. I denna studie har sträckan från Umeå till Sundsvall för enkelhets skull benämnas som Botniabanan.

Botniabanan anses uppfylla förutsättningarna för simuleringen på bästa sätt: det är en blandad trafik (snabbtåg, regionaltåg, och godståg), och det finns ett bra underlag för förseningsdata som krävs för simulering av punktlighet. Botniabanan har också flera stopp som är av intresse för analys av regionaltrafik.

Stationsgränser anger avgränsning för simulerat system. För Sundsvall anges gräns vid infart/utfart-signal till Ostkustbanan samt Mittbanan; för Umeå anges gräns vid infart/utfart-signal mot Vännäs; för Västeråsby anges gräns vid infart/utfart-signal mot Långsele; för Örnsköldsvik anges gräns vid infart/utfart-signal mot Mellansele.

3.1.2 Tidtabell

Tidtabellen i denna studie utgår från fastställd tidtabell år 2018, Tågplan 2018 (T18). Denna har importerats till simuleringsverktyget Railsys av Kapacitetscenter på Trafikverket.

Vid analysen simuleras endast ett dygn. Enligt Trafikverkets riktlinjer simuleras en torsdag i oktober. Torsdagen som valdes för detta arbete är den 4 oktober år 2018. Övriga torsdagar i oktober hade banarbeten inplanerade vilket reducerade antalet tåg som trafikerar sträckan. För valt dygn trafikerar Botniabanan av total 32 tåg (se Bilaga A).

För att genomföra simuleringen i Railsys har vissa korrigeringar gjorts av den importerade tidtabellen. Korrigeringar som gjorts är följande:

- När tåg passerar stationer så lägger Railsys alla tågvägar på huvudspår. Detta måste åtgärdas så att simuleringen motsvara verkligheten. Ett antagande har gjorts att alla tåg som stannar för ett tågmöte vid station läggs på sidospår vid stoppsignal. Om samtidig infart är möjlig, att två tåg kan gå in på mötesstationen samtidigt, har tågen stopp mot inre stoppsignal.
- I de fall tågkonflikt uppstår och inget möte är inlagt så har stopp på sidospår lagts till för ett av tågen, alternativt att ett tidigare möte för ett av tågen har förlängts. Ett antagande har gjorts att om konflikt sker mellan ett persontåg och ett godståg har stopp för möte lagts på godstågen. För en konflikt mellan ett snabbtåg och ett regionaltåg har stopp för möte lagts på regionaltåget.
- Mindre justeringar har gjorts på tågets avgångstid för att förhindra konflikter i tidtabellen. Konflikter kan vara att ett tåg hinner köra ikapp ett framförvarande tåg; ett tågmöte där tåg avgår för tidigt eller för sent; tågväg som inte hinner bli ledigt innan nästa tåg behöver uppta samma tågväg. Dessa justeringar har varit av mindre karaktär, maximalt 2 minuter.
- Mindre justeringar av antalet tåg har gjorts för att underlätta antalet beräkningar för simuleringen och minska antalet fel som kan uppstå. Följande tåg har tagits bort:
 - Tåglinjer för Norrtåg på sträckorna Lycksele–Umeå, Vännäs–Umeå, och Luleå–Umeå.
 - Godståg som passerar kortare sträckor av simulerad bana. Exempelvis godståg från Mittbanan som passerar inne på Sundsvall C med riktning söderut mot Gävle.
 - Tåg från Ostkustbanan som vänder i Sundsvall.
 - Ett fåtal tåg som ligger på simulerad dag men som har bedömts inte motsvara typisk tågdrift på banan och som inte anses ge något större påverkan på simuleringens resultat.
- Tåg som går utanför avgränsat område, exempelvis nattåg Luleå–Stockholm, har klippts (sträcka utanför området tas bort) vid gränsstationerna: Sundsvall C, Västeråsby, Umeå C. Detta görs dels för att simuleringar kan köras igenom snabbare och dels för att göra analysen mer översiktligt – exempelvis när tidtabellen behöver justeras. Det förhindrar också att konflikter mellan tåg uppstår utanför det avgränsade systemet; vilket skulle medföra att ett tåg tar med sig förseningar in i systemet som de inte bör ha. De förseningar som tåg får i verkligheten, på de sträckor som tagits bort, fås med genom ingångsförsening.

3.1.3 ERTMS inställningar

För att ERTMS ska simuleras på ett så korrekt sätt som möjligt behövs mer detaljerade inställningar göras i Railsys än vad som är förinställt idag. Inställningarna kan delas in i två grupper: fordonsdata och infrastrukturdata.

För infrastrukturdata behöver de standardiserade parametrarna, National Values, definieras. En av de viktigare parametrarna är vid vilken hastighet som systemet ska sluta övervaka; vilket betyder vid vilken hastighet då föraren kan bromsa utan att systemet övervakar. Idag använder Trafikverket inställning med så kallad 40-övervakning, vilket betyder att systemet övervakar ända ner till 40 km/h. Detta kräver dock enligt svensk lag att en skyddssträcka existerar för att förhindra kollision. Det ska noteras att dagens signalsystem, ATC, använder både 40-övervakning och 10-övervakning. 10-övervakning övervakar då ända ner till 10 km/h, men kräver en kortare skyddssträcka. I ERTMS motsvara 10-övervakning övervakning till 15 km/h.

För att simulera 40-övervakning på ett korrekt sätt behövs därför en skyddssträcka läggas till i Railsys. Detta görs genom att lägga till ett så kallat *overlap*, där längd och maximal hastighet anges. Längden anger var den så kallade *Danger Point*, DP ligger i förhållande till signalen, vilket ibland kallas för nödbromsmålpunkt eller Supervised location, SvL. Från denna punkt beräknas nödbromskurvan, EBD som sedan i sin tur servicebromskurvan, SBD beräknas från.

Vid simulering blir blocksträckan inte fri förrän tåget passerat overlapet. Detta får effekten att 40-övervakning får högre värde på headway. För 15-övervakning behövs inget overlap sättas vid signal. Nödbromskurvan beräknas istället från signalen vilket får effekten att tåg behöver bromsa tidigare om signal visar stopp (rödsignal). Detta leder i sin tur till att blocksträckan beläggs tidigare men att tåget släpper blocksträckan vid signal istället för efter overlapet. Det gör att bättre headway fås för 15-övervakning än för 40-övervakning. Däremot får 15-övervakning vid planerade stopp längre gångtider då tåget behöver bromsa tidigare.

Som tidigare nämnts i denna rapport används idag 40- och 10-övervakning för ATC. Det finns även en variant i Sverige med kombinerat 40- och 10-övervakning. I simuleringsverktyget Railsys finns det möjlighet att ha både 40- och 15-övervakning men det finns ingen möjlighet att kombinerad 40- och 15-övervakning, då ERTMS behöver definiera övervakningshastigheten i National Values. Detta gör att olika övervakningshastigheter i praktiken inte går att implementera. Det går dock i teorier att definiera olika National Values med olika övervakningshastigheter och definiera sträckor med olika National Values.

Eftersom lambda metoden används för samtliga tågtyper så behövs endast bromsprocent och tillsättningsstid anges som fordonsdata. Detta måste göras för samtliga tågtyper som ska motsvara tåg som är utrustade att trafikera banor med ERTMS.

3.1.4 Framtagande av nya bromsinställningar

För att analysera effekterna av förarbeteende görs ett antagande om att det motsvarar bromsförmåga. För att kunna genomföra denna studie inom rimlig tidsram, och för att

svara på frågeställningarna, har antagandet om bromsförmåga byggt på att ERTMS ger mer restriktiv bromsförmåga än ATC. Det är då rimligt att anta att ett tåg med ERTMS bör kunna bromsa som ett tåg med ATC utan att ha ett värde på bromsförmåga som är helt utanför vad som är möjligt. För att svara på syftet med detta arbete anses det rimligt att ange ett högre värde på bromsförmåga än idag men som inte behöver vara det faktiska högsta värdet på bromsförmågan.

För att ta fram värden på olika bromsförmågor har en testbana byggts för att identifiera specifika bromsinställningar som motsvara bromsförmågor (se figur 3). Att testbanan byggs är för att få fram godtagbara värden på bromsinställningar inom rimlig tid. Testbanan innehåller en startstation, en mötesstation, och en slutstation. Stationerna har byggts upp utifrån generella antaganden av infrastrukturen. Testbanan har signaler för både ATC och ERTMS. Bromsförmåga har sedan jämförts mellan två tåg: där ett tåg har ATC inställningar och det andra har ERTMS inställningar.

Utiifrån jämförd bromsförmåga har bromsprocenten för tåget med ERTMS ökats så att det motsvarar bromsförmågan för tåget med ATC. Denna bromsprocent har sedan noterats och använts som antagande av högsta värdet på bromsprocenten. Även ett värde mellan nuvarande bromsprocent och bromsprocent som motsvara ATC har tagits fram för att kunna jämföra effekten av ett steg mitt emellan.

Även en reducerad bromsprocent har tagits fram. Ett antagande har gjorts för denna bromsprocent: att det minskar med samma procentenheter som skillnaden mellan nuvarande bromsprocenten och ett steg mitt emellan bromsprocent som motsvarar ATC.

Följande inställningar har tagits fram:

- Nuvarande inställningar (inställning A): ingen förändring från dagens inställningar i Railsys.
- Maximal ökning (inställning B): ökning av bromsinställningar som motsvara ATC på testbanan, motsvara därför inte optimal ökning av bromsinställning.
- Mellanökning (inställning C): ökning av bromsinställning som är mitt emellan nuvarande och maximal ökning av bromsinställning.
- Minskning (inställning D): minskning av bromsinställning som motsvarar värdet på ökning för inställning nr 3.



Figur 3. Testbanan som byggs för detta arbete.

3.2 Kapacitet

Kapacitetsutnyttjande framtagna genom matematiska beräkningar har inte använts i denna studie. Detta eftersom detaljnivån för beräkningarna är för låg för att fånga upp effekterna av de olika bromsförmågorna. Syftet med de matematiska kapacitetsberäkningarna är att fånga upp effekter av infrastrukturåtgärder och förändring av tågantal vilket inte är syftet med denna studie.

3.3 Gångtidsanalys

För gångtidsanalysen har gångtider tagits fram och jämförts för tre olika tågtyper: två persontåg och ett godståg. Orsaken till att två persontåg analyserats är för att skilja på snabbtåg och regionaltåg. På så sätt skiljs snabbtåg som endast gör uppehåll för resandeutbyte på ett fåtal stationer från regionaltåg som gör uppehåll för resandeutbyte på flera stationer. För godståg har ett representativt godståg valts, som bygger på tidigare analyser av Trafikverket. Varför endast ett godståg väljs, trots att banan trafikeras av många olika typer av godståg, är dels för att underlätta analysen och dels för att det ansetts vara lämpligt, utifrån tidigare analyser, att endast analysera ett typ av godståg för sträckan Sundsvall–Umeå.

Som persontåg har ett SJ 3000 valts som snabbtåg och ett Norrtåg valts som regionaltåg. SJ 3000 är den benämning som SJ använder, men det inom Trafikverket används istället tågglitterat X55 vilket är den benämning som kommer att användas i denna studie. X55 är också den typ av snabbtåg som trafikerar banan idag. På banan trafikerar Norrtåg med regionaltåg, dessa tåg har tågglitterat X62 vilket är den benämning som kommer att användas i denna studie. För godståg har ett lokdraget tåg använts, med tågglitterat Rc4. Tågvikten har satts till 1600 ton, och tåget har en max hastighet på 80 km/h. I denna studie kommer denna typ av godstågsuppsättnings benämnas Rc4 1600ton.

Sträckan som valts för gångtidsanalysen är Sundsvall–Umeå. Stationer där tåg har uppehåll bygger på dagens trafikering (se figur 4) [15]:

X55:

- Sundsvall C
- Timrå
- Härnösand
- Kramfors
- Örnsköldsvik C
- Umeå C

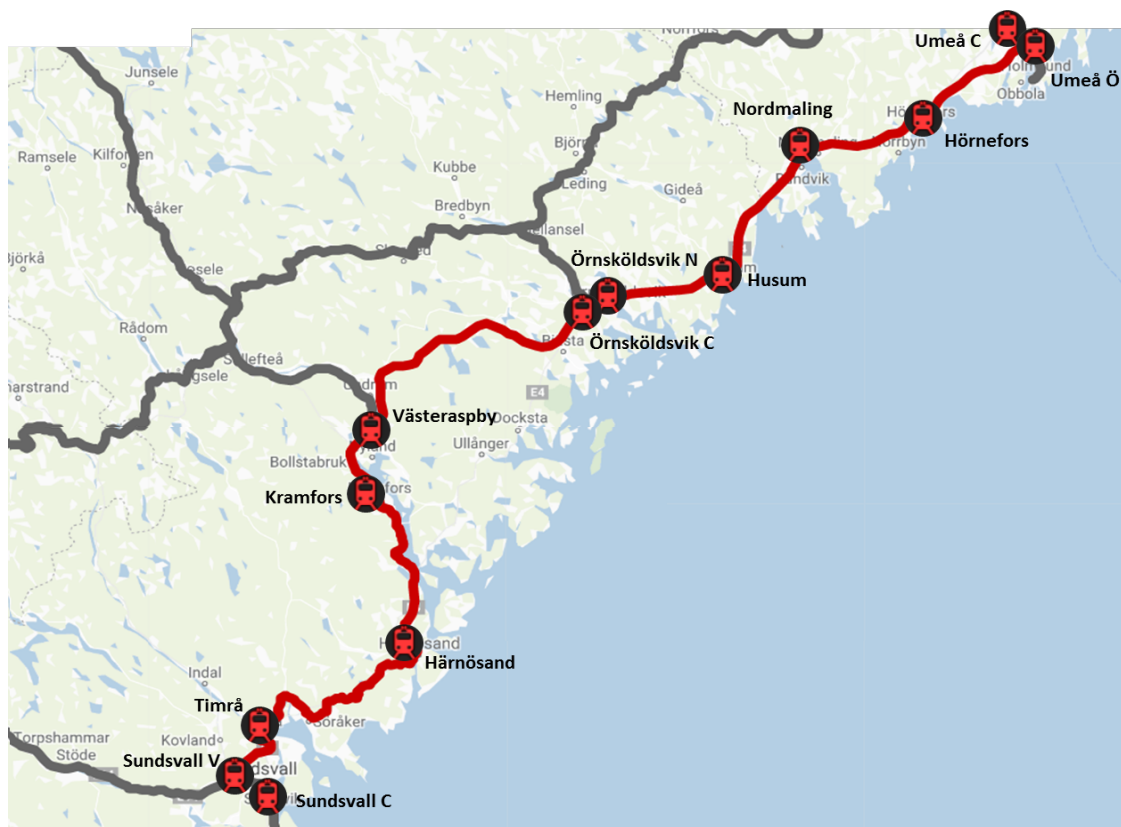
X62:

- Sundsvall C

- Sundsvall Västra
- Härnösand
- Kramfors
- Västerasby stn (Höga Kust flp)
- Örnsköldsvik C
- Örnsköldsvik Norra
- Husum
- Nordmaling
- Hörnefors
- Umeå Östra
- Umeå C

Rc4 1600ton:

- Sundsvall C
- Umeå Godsbangård

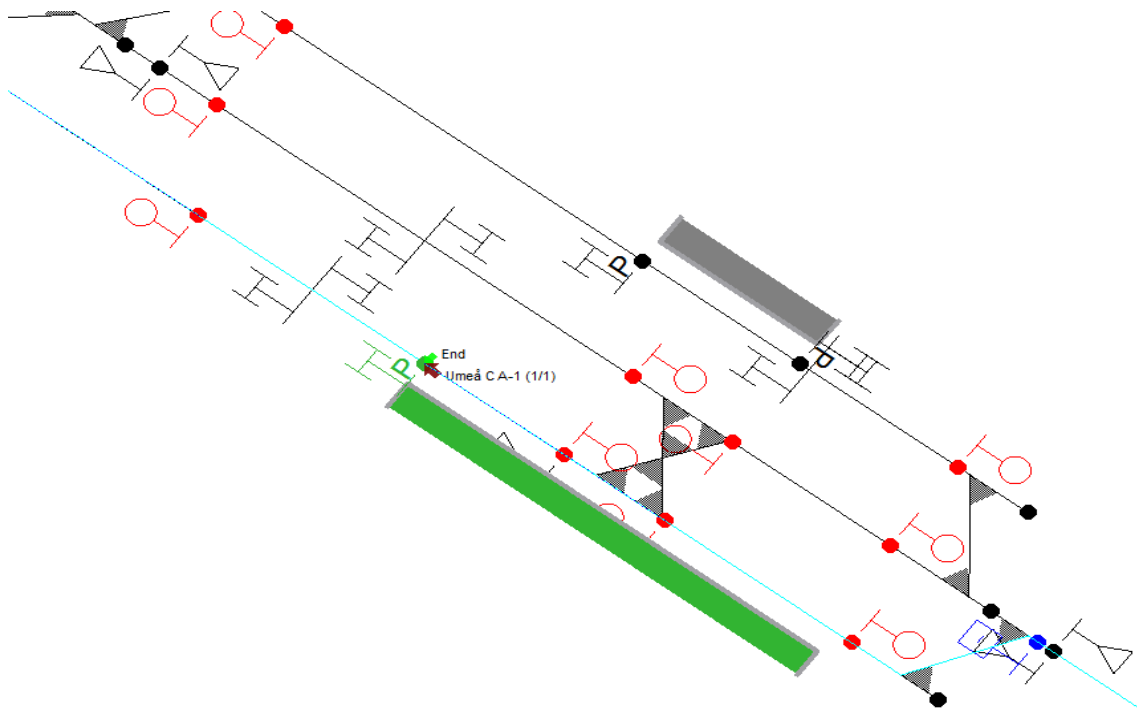


Figur 4. Karta över vald sträckan och där uppehåll för resandeutbyte sker för ett X62 tåg.

Gångtider fås genom att simulera ett tåg från station A till station B, med mellanliggande stationer för resandeutbyte (se figur 5). Tåget är det enda tåg som trafikerar sträckan under gångtidssimulering. Notera därmed att gångtider är ett mått på

en teoretisk tid och motsvara inte en verklig körtid för tåget (detta kan liknas med den tiden det tar att köra med bil genom Stockholm utan någon övrig trafik på vägen). Det är i väldigt få fall som gångtiden motsvarar faktisk körtid.

För samtliga tågtyper har fyra gångtider tagits fram motsvarande bromsprocent för: dagens inställningar (Inställning A), en ökning som motsvarar ATC (Inställning B), bromsprocent mellan dessa (Inställning C), och en minskning av bromsprocenten som motsvarar ökningen för mellanläget (Inställning D).



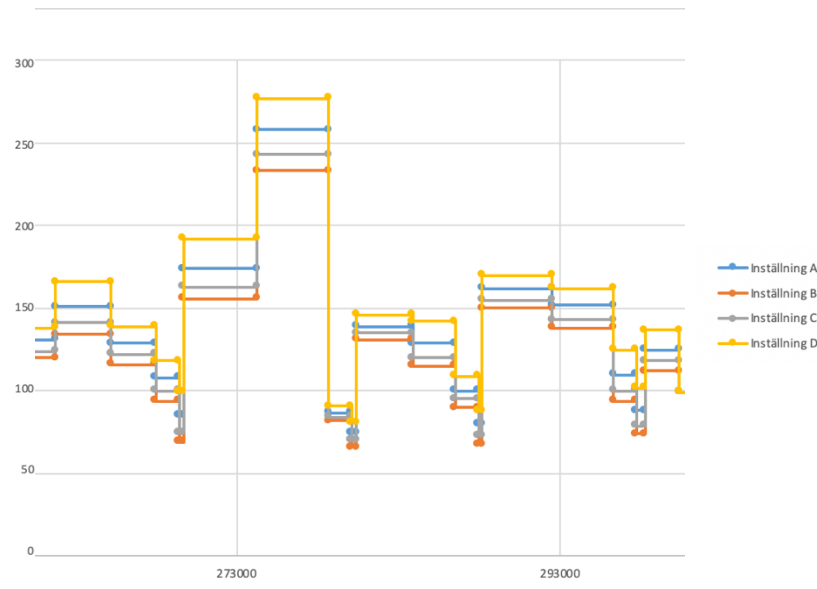
Figur 5. Exempel från Railsys där ett tåg har stopp vid plattform för resandebutbyte vid Umeå C.

3.4 Headwayanalys

I headwayanalysen som gjorts motsvarar headway tiden från att en blocksträcka beläggs tills blocksträckan släpps och möjliggör att andra tåg kan belägga blocksträckan.

Analysen har gjorts för två persontåg (X55 och X62) och ett godståg (Rc4 1600ton). Headway har tagits fram för både dimensionerande headway, den blocksträcka med högst beläggningstid, och headway för samtliga blocksträckor för hela körda sträckan. I Railsys kan headway fås fram genom att simulera ett tåg och sedan exportera headway (*block occupation time*).

För att få en överblick över headway för samtliga blocksträckor har ett diagram tagits fram (se figur 6). Genom att utgå från samtliga blocksträckors beläggningstid och blocksträckans längd, avståndet mellan start- och slutsignal, kan ett diagram för headway skapas. För detta arbete har ett macro tagits fram. Macro bearbetar utdata från Railsys och skapar ett diagram för headway (se Bilaga B). Y-axeln visar värdet på headway i sekunder. Detta motsvarar den tid en blocksträcka beläggs av respektive tåg. X-axeln visar avstånd i meter från start i Sundsvall.



Figur 6. Exempel på diagram över headway. Visar headway för ett X55 tåg på en sträcka mellan Sundsvall och Umeå.

3.5 Punktlighetsanalys

Punktlighetsanalysen utgår från tidigare framtagen tidtabell. Punktligheten sätts till 5 minuter och 59 sekunder, vilket motsvarar den tid som ett tåg kan anlända till slutstation och fortfarande anses vara i tid. Ett tåg som ankommer senare bedöms vara icke-punktligt. För att den simulerade tidtabellen i så hög grad som möjligt ska motsvara verkliga förhållanden behöver först några åtgärder genomföras; dessa beskrivs i avsnitten nedan.

3.5.1 Förseningsdata

I detta arbete har förseningsdata från tidigare genomförda analyser på Norrbotniabanan använts. Dessa analyser bygger på faktiska förseningar på Botniabanan.

Ingångsförseining har lagts till för tåg som startar inom avgränsat område och för tåg som kommer in i systemet vid i Umeå och Sundsvall. Förseningsdata läggs till på alla

tågtyper, både persontåg och godståg. Uppehållsförsening används på stationer med stopp för resandeutbyte. Detta gäller endast persontåg, och framförallt regionaltågen som har flera stopp på banan. Förseningsdata skapas genom ett macro i Excel som utvecklats av Trafikverket. Som indata används data från Trafikverkets statistikdatabas, Lupp, som sedan matchas mot valda stationer i Railsys. Det betyder att faktisk förseningsstatistik kan kopplas mot en annan station. Exempelvis har förseningsdata valts för Birsta, stationen innan Sundsvall, som ingångsförsening i Sundsvall. Detta görs för att i simuleringen endast få med försening på Botniabanan för tågen som startar i Sundsvall i simuleringen. Om inte detta görs finns risk att förseningar från tåg som går på Ostkustbanan fås med. Som utdata från Excel macroet fås en textfil som sedan kan importeras i Railsys. Tåggrupper (grupperingar av tåg som användare själv kan definiera) i tidtabellen kopplas sedan till rätt förseningstyp.

När förseningsdata är inlagd så genereras ett antal tidtabeller med slumpmässig försening. För detta arbete har 100 tidtabeller simulerats. Samtliga tidtabeller simuleras sedan för alla alternativ av bromsförmåga. Ett slumpvalt antal störda tidtabeller har analyserats för att säkerställa att simuleringen körs utan oväntade händelser: exempelvis att programmet leder om tåg på ett sätt som inte motsvara verkligheten, och att simuleringen av förarbeteende modelleras på ett tillfredställande sätt.

Deadlock är fel som uppstår när Railsys inte klarar av att lösa en konflikt och behöver avsluta simuleringen. Detta uppstår vanligtvis ifall två tåg möts på enkelspårs sträcka. Notera att Railsys inte klarar av att backa tåg och därför inte kan lösa konflikten. Eftersom dessa typer av fel tvingar Railsys att avsluta simuleringen så är det viktigt att dessa fel löses för att ett så bra simuleringsresultat som möjligt ska fås. Det är dock svårt att helt få bort alla deadlocks, och det bör tas med i beräkningen att vissa simuleringar kommer behövas att tas bort. På grund av detta har Trafikverket satt en gräns på maximalt antalet deadlocks som är acceptabelt för att slutresultatet ska anses trovärdigt. För enkelspårsbanor tillåts deadlocks på 20 % av simulerade tidtabeller och på dubbelspårsbanor tillåts 10 %. Att det är skillnad mellan enkel- och dubbelspår beror på att det finns mindre risk att tåg hamnar i möte med motriktat tåg på dubbelspår än på ett enkelspår. För dubbelspår kan det istället uppstå deadlocks på stationer där tåg, av olika anledningar, behöver korsa flera spår.

3.5.2 Modellering av tågväg

En viktig aspekt vid simulering av punktlighet är modellering av tågväg som motsvarar en verklig förarbeteende. I Railsys modelleras detta genom olika metoder. Här följer de metoder som är vanligt använda, och förklaring kring vilka metoder som använts i denna studie:

- **Station route:** Den viktigaste metoden för modellering av tågväg är *Station route*. Den är nödvändig när simuleringsverktyget ska lägga tågväg genom en

station. Vid en bestämd punkt, som motsvarar stationsgräns i verkligheten (*station boundaries* i Railsys) så lägger simuleringsverktyget tågväg genom stationen till en annan stationsgräns där tåget lämnar stationen. För att simuleringen ska kunna genomföras måste dessa *Station routes* definieras i infrastrukturmodulen. Det är viktigt att alla möjliga vägar genom stationen definieras, annars kommer simuleringsverktyget inte kunna lägga rätt väg genom stationen. Det är också viktigt att *Station routes* som inte är möjliga i verkligheten inte skapas, risken finns annars att felaktig tågväg fås. *Station routes* är också kopplat till vilka alternativ som är möjliga för *Alternativ tracks* (se vidare). *Station route* har använts i denna studie eftersom det är krav för att simuleringen ska kunna köras.

- **Bidirectional routing:** Denna metod används för att förhindra att två tåg går ut på en enkelspårig stäcka samtidigt. Genom att markera en sträcka mellan två växlar kan Railsys säkerställa att ett tåg som går ut på sträckan inte har ett motriktat tåg på samma sträcka. *Bidirectional routing* sträckor definieras i infrastrukturmodulen, från växel vid mötesstation till växel vid nästa mötesstation. *Bidirectional routing* har använts i denna studie för att minska risken för deadlocks.
- **Alternative tracks:** Denna funktion har använts för att möjliggöra att tågväg kan läggas om vid station från planerad tågväg som tidigare bestämts i tidtabellen. Om en blocksträcka som ett tåg ska trafikera vid en station är ockuperad av ett annat tåg kan Railsys flytta tågväg. Vilka tågvägar Railsys kan välja mellan och hur de ska prioriteras definieras av *Alternative tracks*. Detta behövs göras för samtliga stationer där *Alternative tracks* ska användas. För denna studie har *Alternative tracks* använts för att förseningar inte ska generera felaktiga följdörseningar.
- **Dependet links:** Det finns möjlighet att förhindra deadlocks genom att koppla två eller flera länkar så att om en länk är belagd så blir även de kopplade länkarna belagda. Detta är användbart om det efter testsimulering uppdagas att det uppstår konflikter på grund av att Railsys av olika anledningar inte klarar av att förutse en konflikt framöver men där det i verkligheten skulle ha förhindrats. *Dependet links* används oftast i fall där många deadlocks uppstår. För detta arbete har *Dependent links* inte behövts användas.

4. Resultat

4.1 Bromsprocent

Bromsprocenten togs fram genom att jämföra bromsförmågan för ett tåg med ATC-inställning med ett tåg med ERTMS inställning och därefter öka bromsförmågan (motsvarar bromsprocenten) tills tåget med ERTMS inställning motsvarande hos ett ATC-tåg (se tabell 1). Inställning A motsvara nuvarande inställning av bromsprocent; inställning B motsvara högsta; inställning C mellan ökning; och inställning D motsvara minskning av bromsprocenten.

Tabell 1. Bromsprocent (%)

	Inställning A	Inställning B	Inställning C	Inställning D
X55	151	211	181	121
X62	151	211	181	121
Rc4 1600ton 80 km/h	88	128	108	68

För persontågtyperna X55 och X62 fås samma bromsprocent: inställning A är 151 %, inställning B 211 %, inställning C 181 %, och vid inställning D fås 121 %. För godstågsvarianten Rc4 (1600 ton, 80 km/h) blir motsvarande bromsprocent: 88 % med inställning A; för inställning B 128 %; inställning C 108 %; och inställning D 68 %.

4.2 Gångtidsanalys

Gångtiderna redovisas för tre tågtyper: två persontåg och ett godståg (se tabell 2). För samtliga tågtyper har gångtider tagits fram för olika inställningar av bromsprocent.

Tabell 2. Beräknade gångtider

	Inställning A	Inställning B	Inställning C	Inställning D
X55	2:14:31	2:14:11	2:14:19	2:14:48
X62	2:26:32	2:25:25	2:25:52	2:27:28
Rc4 1600 ton 80 km/h	4:08:39	4:08:39	4:08:39	4:08:40

För godståg fås ingen större påverkan på gångtid. Där blir gångtiden 4:08:39 för samtliga inställningar förutom för inställning D, där det blir en förlängning på 1 sekund. Att skillnaden blir så liten beror på att det endast är ett stopp med i beräkningen – vid Umeå godsbangård. Godståg har också färre inbromsningar inför hastighetsförändringar; detta eftersom godståg har lägre maxhastighet än persontågen och får då såklart färre hastighetsförändringar.

För persontåg fås störst skillnad för tågtypen X62. Där fås en gångtid med inställning A på 2:26:32. Vid inställning B fås 2:25:25 medan inställning C ger en gångtid på 2:25:52. Vid inställning D blir gångtider 2:27:28. För tågtyp X55 blir skillnaden mindre. Inställning A ger gångtid på 2:14:31. Inställning B och C ger gångtid på 2:14:19 respektive 2:14:11. För inställning D fås gångtid på 2:14:48.

I det hela går det att konstateras att gångtiderna inte påverkas nämnvärt av förändrade bromsförmåga. Om vi tar den största skillnaden i gångtid, ca 2 min för X62, och jämför det med sträckans längd mellan Sundsvall och Umeå bör minskningen – i gångtid – ses som marginell.

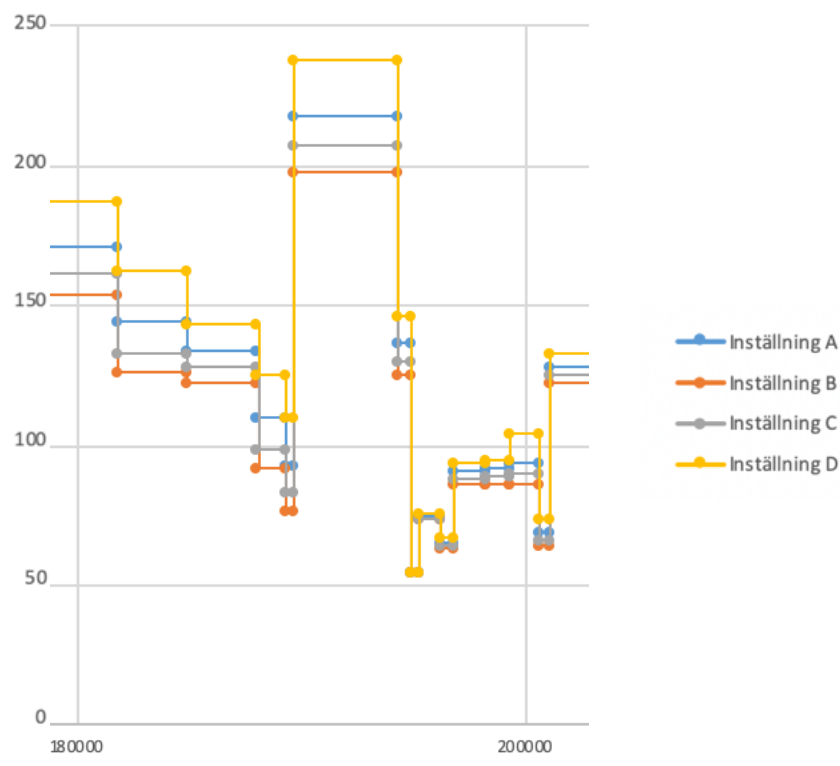
4.3 Headwayanalys

Headway har tagits fram för tre tågtyper: två persontåg och ett godståg (se tabell 3). För samtliga tågtyper har headway beräknats för de olika inställningar av bromsprocent. Headway har tagits fram för hela sträckan Sundsvall C–Umeå C/Umeå Godsbangård (se Bilaga B).

Högsta värdet på headway fås för ett X55 210 sekunder med inställning A. För övriga inställningar på bromsprocent fås för inställning B 188 sekunder, inställning C 198 sekunder, och inställning D 229 sekunder. För ett X62 fås liknande förändring i headway: inställning A 215 sekunder, inställning B 191 sekunder, inställning C 201 sekunder, och inställning D 237 sekunder. För godståg blir skillnaden minimal: 423 sekunder fås för inställning A, B, och C. Vid inställning C blir headway 424 sekunder.

Tabell 3. Högsta värde på headway i sekunder (s).

	Inställning A	Inställning B	Inställning C	Inställning D
X55	210	188	198	229
X62	215	191	201	237
Rc4	423	423	423	424
<i>1600ton 80km/h</i>				



Figur 7. Headway-diagram, sträcka där störts påverkan på headway fås för ett X55 tåg.

Utifrån framtagna headway går det att beräkna fram hur många fler tåg som kan trafikera sträckan under en timme (se tabell 4). För att illustrera hur stora skillnader som skulle kunna fås har sträcka valts där störst skillnad mellan headway fås och inte sträckan som är den faktiskt dimensionerande (se figur 7).

Tabell 4. Maximalt antal tåg som kan trafikera sträckan mellan två signaler under en timme.

	Inställning A	Inställning B	Inställning C	Inställning D
X55	17,14	19,15	18,18	15,72
X62	16,74	18,85	17,91	15,19
Rc4				
1600ton 80km/h	8,51	8,51	8,51	8,49

Med inställning A kan det, vid utvald sträcka, passera 17st X55 tåg samt 16st X62 tåg per timme (tågantal avrundas nedåt till heltal). För inställning B kan tågantalet ökas till 19st X55 tåg samt 18st X62 tåg. För inställning C fås 18st X55 tåg och 17 tåg X62 tåg. Vid inställning D av bromsprocent blir det istället endast möjligt att trafikera sträckan med 15 tåg för både X55 och X62.

Jämförelse mellan inställning A och B visar att det går att åstadkomma en ökning med 2 tåg per timmer. Jämför med inställning D kan skillnaden bli 4 tåg för X55 medan den blir lite mindre, 3 tåg, för X62. För godståg är den dimensionerande headway lika för inställning A, B, och C vilket innebär att endast 8 godståg kan trafikera banan samtidigt utan att behöva bromsa in mot tåg framför. För inställning D fås marginell försämring av headway vilket betyder att även med minskning av bromsförmågan kan endast 8 godståg trafikera banan.

För att beräkna den maximala skillnaden i headway för de olika inställningarna har sträckan mellan signal vid km-tal 88+958 till 91+405 för X55 valts (se Bilaga B). För X62 har istället sträckan från signal vid km-tal 216+986 till 220+111 valts (se Bilaga B). För godståg används sträckan mellan signal vid km-tal 506+306 och 510+096 (se Bilaga B).

4.4 Punktlighetsanalys

Har följer resultatet av simulering och sammanställt punktlighetsresultat. Punktligheten redovisas utifrån slutstation, vilket för denna simulering är Sundsvall C och Umeå (se tabell 5). Vid Umeå gäller för persontåg stopp vid Umeå C och för godståg Umeå Godsbangård. Notera att slutstation gäller vid avgränsning för denna studie, tåg som i tidtabell egentligen ska fortsätta efter Sundsvall eller Umeå sägs ha slutstation vid dessa två stationer.

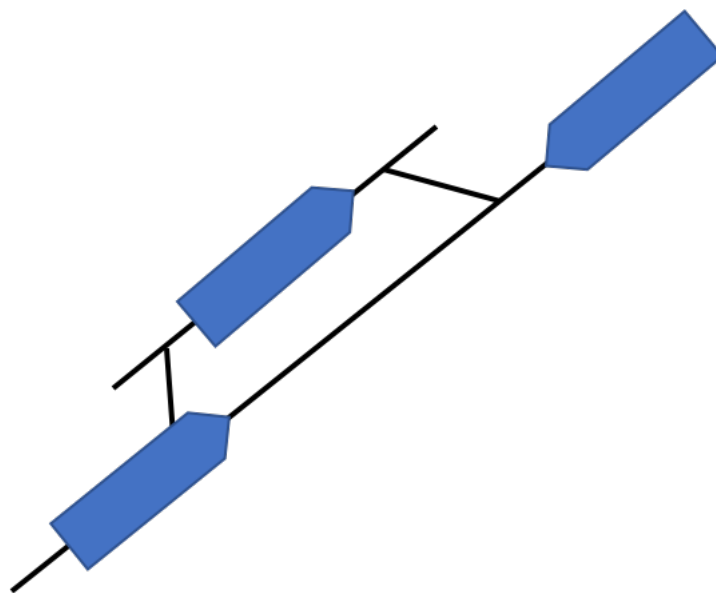
Tabell 5. Punktlighet vid slutstation Sundsvall eller Umeå.

	Inställning A	Inställning B	Inställning C	Inställning D
Sundsvall	96,33 %	97,11 %	97,11 %	95,91 %
Umeå	97,00 %	97,58 %	97,54 %	96,39 %
Deadlock	0	0	0	1

För simulering med inställning A fås en punktlighet på 96,33 % i Sundsvall och 97 % i Umeå. Den höga punktligheten beror på att många tåg i tidtabellen har slack, det vill säga tid som försenade tåg har att ta av för att ankomma i tid till slutstation. För simulering med inställning A fås inga deadlocks för de simulerade tidtabellerna. Genom att studera stickprov av tidtabeller går det anta att detta beror på att relativt få tåg trafikerar banan samtidigt, vilket medför att Railsys klara av att lösa de konflikter som uppstår.

Med inställningar B fås en punktlighet som är lite bättre än för inställning A: 97,11 % i Sundsvall och 97,58 % i Umeå. Likande resultat fås med inställning C: 97,11 % punktlighet i Sundsvall och 97,58 % i Umeå. För inställning D blir punktligheten lite sämre: 95,91 % i Sundsvall och 96,39 % i Umeå.

För samtliga simuleringar, 100 störda tidtabeller med olika bromsförmåga, har endast 1 deadlock fåtts. Detta uppstår i en simulerad tidtabell med inställning D. Anledningen till detta är att ett försenat tåg tappar tid vid inbromsning för möte vilket leder till följd effekter som tillslut ger ett deadlock vid mötesstation, eftersom två tåg försöker mötas när redan ett tåg står inne på mötesstationen (se figur 8).



Figur 8. Situation som skapar deadlock i Railsys. Blåa pila motsvarar tåg, med färdriktning i pilens riktning.

4.5 Kapacitet

Eftersom de indata som krävs för beräkning av kapacitetsutnyttjandet – gångtider, tågantal, infrastruktur – förändras marginellt, eller är oförändrad, vid förändring av bromsförmåga så kommer kapaciteten, utifrån kapacitetsberäkning, bli oförändrat. Alltså, kapacitetsutnyttjandet bli densamma. Effekten på utnyttjandet blir också allmänt mindre då den beräknas över en kortare sträcka, tillskillnad för vad som använts för analyserna i detta arbete. Kom dock ihåg att oförändrad kapacitet gäller utifrån matematiska kapacitetsberäkningar.

5. Diskussion

5.1 Gångtidsanalys

Utifrån resultatet av gångtidsanalysen framkommer att störst skillnad i gångtid fås för persontåg av typen X62, medan skillnaden i gångtider är mer eller mindre obefintlig för godståg. Det är rimligt att anta att detta beror på att X62 har flera planerade stopp inlagda i analysen i motsats till godståget som endast har en start och ett stopp. En slutsats är att förändrad bromsförmåga får påverkan på gångtider för tåg med många stopp; vilket betyder att påverkan på rena passertider är minimalt. Detta kan vara problematiskt då många analyser använder passertider och inte gångtider. Vi bör dock vara lite försiktig med detta antagande, för det kan vara så att skillnaden som fås mellan X62 och godståget snarare är att godståget håller en jämnare hastighet och inte behöver bromsa in mot hastighetsförändringar i lika hög grad som ett X62. Det som talar emot att detta skulle vara fallet är att persontåget X55, som har färre stopp än X62 men fler än godståget, får mindre skillnader mellan olika bromsförmåga än för X62. X55 och X62 kör efter samma hastighetsprofil så skillnaden i gångtider bör vara mer lika ifall effekten av inbromsning mot hastighetsförändringar skulle vara orsaken. Det går därför att göra bedömningen att gångtidsanalysen kommer få störst påverka för persontåg med många uppehåll, med reservationen att det då gäller gångtider med start och stopp och inte passertider.

En aspekt som bör tas upp är att resultatet från gångtidsanalysen är något optimerade jämfört med verkligheten. Simuleringsverktyget Railsys utgår från att tåget alltid accelererar och bromsar in utifrån en optimerad körning; att det skulle motsvara faktisk körning är osannolikt. Effekterna av inbromsning blir därför mindre i Railsys då det blir färre inbromsningar och accelerationer. Det finns heller ingen möjlighet i Railsys att utnyttja möjligheten till överhastighet och att köra ”på pipet”, vilket också skulle påverkat gångtidsanalysen. Antagandet att tågförare kör med överhastighet i verkligheten och inte i Railsys styrks av att det i tidtabellen finns minustider vilket skulle tyda på att tåg faktiskt kör snabbare än vad som simuleras i Railsys.

5.2 Headwayanalys

Resultatet från headwayanalysen visar att de stora effekterna på headway fås på sträckor med inbromsning mot stopp; vilket vanligtvis motsvara inbromsning för stopp vid station. I verkligheten kan det även innebära inbromsning för tågmöte. Men i de headwayanalyser som gjorts i detta arbete har endast stopp för resandeutbyte tagits med.

Om blocksträckan där störst skillnad fås mellan de olika bromsförmågorna är banans dimensionerande sträcka kan en förändrad bromsförmåga få betydande effekt på kapaciteten, eftersom det kommer att avgöra hur många tåg som kan trafikera banan.

Men om blocksträckan inte är dimensionerande blir effekten på antal tåg mer eller mindre obefintlig. I sådant fall blir endast effekten att banans robusthet något förbättras. Om den dimensionerande sträckan inte skiljer sig nämnvärt mellan olika förarbeteenden så kommer det inte medföra någon större effekt på övriga sträckor – det kommer ändå inte gå att få plats med fler tåg. Utifrån resultatet är det just detta som händer på Botniabanan. Skillnaden mellan dimensionerande headway för de olika inställningarna blir inte mer än 6 sekunder. Och mellan inställning A och B blir det inte mer än 4 sekunder. Detta bör dock överensstämma rätt bra med verkligheten, då det är rimligt att anta att dagens bana är utformad för att få så låg headway som möjligt där den blir som högst; exempelvis vid inbromsning in mot station.

5.3 Punktlighetsanalys

Den skillnad som fås i punktlighet mellan de olika alternativen är små. Antagandet är att punktligheten inte påverkades nämnvärt på grund av två effekter: att simulerad tidtabell har mycket slacktid att ta ifrån vid försening; och att Botniabanan för simulerat dygn har låg trafikmängd jämfört med andra delar av järnvägsnätet, vilket leder till färre konflikter vid försening. Dessa antagande styrks av att deadlocks endast uppkommit under en av simuleringarna. Detta borde tyda på att det är få tågmöten i systemet, situationer som har störst risk att leda till deadlocks, vilket då minskar den totala risken för att deadlocks uppstår.

Eftersom det finns slacktider, och att systemet är lågtrafikerat, är det svårt att dra för stora slutsatser. Det som ändå går att konstatera är att det blir någon typ av påverkan. Eftersom Botniabanan har relativt få tåg, men trots detta ändå får en påverkan på punktligheten, så är det rimligt att anta att effekten skulle bli betydligt större på ett järnvägssystem med högre trafikmängd – exempelvis Stockholm. Resultat från analyserna av gångtider och headway styrker detta antagande. Gångtidsskillnaderna blir större ju fler stopp tåget har, vilket är vanligt i ett järnvägssystem med mer planerade stopp, exempelvis pendeltrafik. Resultatet från headwayanalysen ger också större skillnader vid inbromsning mot stopp. Det är också rimligt att anta att tidtabell med mindre trafik ger större möjlighet till inkörning vid försening än banor med mer trafik.

Utifrån detta går det anta att bromsförmåga får en påverkan på punktlighetsanalyser trots att resultatet från denna studie visar på en mindre påverkan. Men, i sådant fall gäller påverkan på resultatet av analyser för järnvägssystem gäller system med höga trafikmängder.

5.4 Kapacitetsberäkningar

Intressant att notera är att den förändrade bromsprocenten inte får påverkan på kapacitetsutnyttjandet som tas fram av de matematiska kapacitetsberäkningarna. Detta på grund av att den indata för beräkningarna som påverkas är gångtider; vilket får liten förändring vid förändrade bromsprocent. Att kapacitetsutnyttjande inte visar någon effekt kan därför vara missvisande. Resultaten från headwayanalysen visar att kapacitetsutnyttjande kan ökas, exempelvis kan det för X62 gå hela 2 extra tåg per timme, den effekten skulle de matematiska kapacitetsberäkningarna missa.

6. Slutsatser

Det framkommer av resultatet från analyserna att ett järnvägssystem med relativ låg trafikmängd, som exemplet Botniabanan, får lite effekt på kapacitetsanalyser med förändrat förarbeteenden. Att framföra kvantitativa värden utifrån resultatet är därför inte möjligt. Däremot går det göra antaganden om hur det skulle påverka analysmetoderna på ett större järnvägssystem.

Utifrån gångtidsanalysen kan slutsatsen göras att störst påverkan av olika bromsförmågor fås vid inbromsning mot stopp; vilket innebär att vid gångtidsanalys fås störst effekt för tåg med många uppehåll/stopp, det vill säga för regional tåg och pendeltåg, medans effekten blir mindre för godståg.

Utifrån resultatet från headwayanalysen går det att dra slutsatsen att olika bromsförmågor skulle ge effekter på enskilda blocksträckor. Men för hela banan skulle effekten bli mindre ifall blocksträckan inte är dimensionerande.

Utifrån resultatet från punktlighetsanalysen går det också att dra slutsatsen att olika bromsförmågor påverkar analyserna. Det går dock inte utifrån denna studie att avgöra hur stor denna effekt skulle vara på ett större järnvägssystem.

6.1 Framtida studier

Detta examensarbete har identifierat områden där det finns behov av vidare studier:

- Studera påverkan av den försämrade möjligheten till överhastighet vid övergång från ATC till ERTMS. Det har framkommit att tågförare idag använder säkerhetssystemets möjlighet till överhastighet. Denna möjlighet kommer minska med ett införande av ERTMS. Leder detta till att tågförare kör mer försiktigt än med ATC? Vilka effekter får det i så fall på kapacitetsanalyser och på trafikering?
- En utförlig analys om vilken bromsprocent som är möjliga för ERTMS-utrustade tåg. Även om detta arbete, på grund av tidsrestriktioner, endast utgått från grova antagande kring bromsprocent har det visats att det för ERTMS finns möjligheter att öka bromsprocenten. Men om det ska vara genomförbart i praktiken bör mer utförliga värden tas fram, och verifieras genom studier av faktiskt förarbeteende. En sådan studie skulle potentiellt göra det möjligt att köra ERTMS mer optimalt, och ge ett bättre resultat i restider och kapacitet.

Referenser

- [1] European Commission (2019), ERTMS - History of ERTMS. Tillgänglig online: https://ec.europa.eu/transport/modes/rail/ertms/general-information/history_ertms_en (2019-05-25).
- [2] Trafikverket (2015), Införandeplan för ERTMS. 2015-2025., TRV 2015/63202, Trafikverket: Borlänge. Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/contentassets/16873c4615a44941a89783aa5ad1f8e0/införandeplan_for_ertms_2015-2025.pdf (2019-05-25).
- [3] Yngström Wänn, S. (2017), Trafikslagsövergripande plan för utveckling av metoder, modeller och verktyg – för analys av samhällsekonomi, järnvägskapacitet, effektsamband och statistik samt för trafik- och transportprognoser, 2015/72480, Trafikverket: Borlänge. Tillgänglig online: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/19599/Ineko.Product.RelatedFiles/2017_087_trafikslagsovergripande_plan_for_utveckling_av_metoder_modeller_och_verktyg.pdf (2019-05-25).
- [4] Bårström, S., Granbom, B. (2012), Den svenska järnvägen. Trafikverket: Borlänge.
- [5] Unife (2019), Deployment World Map. Tillgänglig online: http://www.ertms.net/?page_id=55 (2019-05-25).
- [6] European Union Agency for Railways (2016), ERTMS/ETCS - System Requirements Specification, Chapter 3, European Union Agency for Railways: Valenciennes.
- [7] Eriksson, K. (2018), Järnvägens kapacitetsutnyttjande 2017, TRV 2017/116023, Trafikverket: Borlänge. Tillgänglig online: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/43059/Ineko.Product.RelatedFiles/2018_050_jarnvagens_kapacitetsutnyttjande_2017.pdf (2019-05-25).
- [8] Trafikverket (2019), Kapacitet. Tillgänglig online: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/Kapacitet/> (2019-06-02).
- [9] Trafikverket (2013), PM – Kapacitet, Trafikverket: Borlänge. Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/contentassets/31849f6d486a493bb70ddefdb71491e9/arkiv/pm_kapacitet_okt_2013.pdf (2019-05-25).
- [10] Trafikverket (2015), Riktlinjer täthet mellan tåg, TRV 2014/97400, Trafikverket: Borlänge. Tillgänglig online: https://www.trafikverket.se/contentassets/33c32c2e03a8403584a7c001f992e87a/riktlinjer_tathet_mellan_tag_t16_ver_2.pdf (2019-05-25).
- [11] Köhler, P., Knutsen, D. (2017), Kapacitetssimulering Malmbanan år 2021, Trafikverket: Borlänge.

- [12] Trafikverket (2016), Tågplan – att skapa tidtabeller för tåg. Tillgänglig online: <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/jarnvag/tagplan-att-skapa-tidtabeller-for-tag/> (2019-05-25).
- [13] Vectura (2012), Kompletterade utredningsarbeten för ny järnväg Göteborg - Borås, Vectura: Stockholm. Tillgänglig online: <https://docplayer.se/15983719-Trafikanalys-kompletterande-arbeten-for-ny-jarnvag-goteborg-boras.html> (2019-05-25).
- [14] Jansson, A., Olsson, E., Erlandsson, M., (2005), "Bridging the gap between analysis and design: improving existing driver interfaces with tools from the framework of cognitive work analysis", Cog Tech Work, vol 8, ss. 41-49.
- [15] Resrobot (2019), Umeå–Sundsvall–Gävle–Stockholm. Tillgänglig online: https://tagtidtabeller.resrobot.se/tidtabell/tag41_14256.pdf (2019-06-02).

Ordlista

Ordlista med vanligt förekommande järnvägstermer:

ATC: Automatic Train Control, automatiskt signalsäkerhetssystem som är en tillämpning av ett ATP-system (Automatic Train Protection) utvecklat av Sverige.

ERTMS: European Rail Traffic Management System, tågledningssystem utvecklat av EU. Ska på sikt ersätta ATC. Består av delsystemen ETCS och GSM-R.

ETCS: European Train Control System, paneuropeiskt signalsäkerhetssystem med syfte att få interoperabilitet över nationsgränser. Ersätter funktionellt ATC.

GSM-R: Global System for Mobile Communications-Railway, järnvägstillämpning av GSM.

ETML: system för planering av tåglägen och kapacitet på gränsöverskridande järnvägskorridorer.

Bromskurvor: ERTMS systemet beräknar ett antal bromskurvor som både ska guida föraren att bromsa in men även gripa in om föraren överstiger den högsta tillåtna hastigheten.

Robusthet: Järnvägssystemets förmåga att hantera störningar.

Headway: Kan definieras på olika sätt, men oftast gäller den tid som ett efterföljande tåg måste håll mot framförvarande tåg för att inte behöva bromsa.

Baliser: Placerade vid järnvägsspåret och sänder information om infrastrukturer till passerande tåg.

Litterat: Beteckningar på typer av tåg som används för att skilja på järnvägsfordon.

Driftplats: Ett från linjen avgränsat område av banan som kan övervakas av tågklarare mer detaljerat än vad som krävs för linjen.

Km-tal: Banans längdmätning. Exempel: km 15+068 avser en punkt 68 meter efter banans 15:e kilometermarkering.

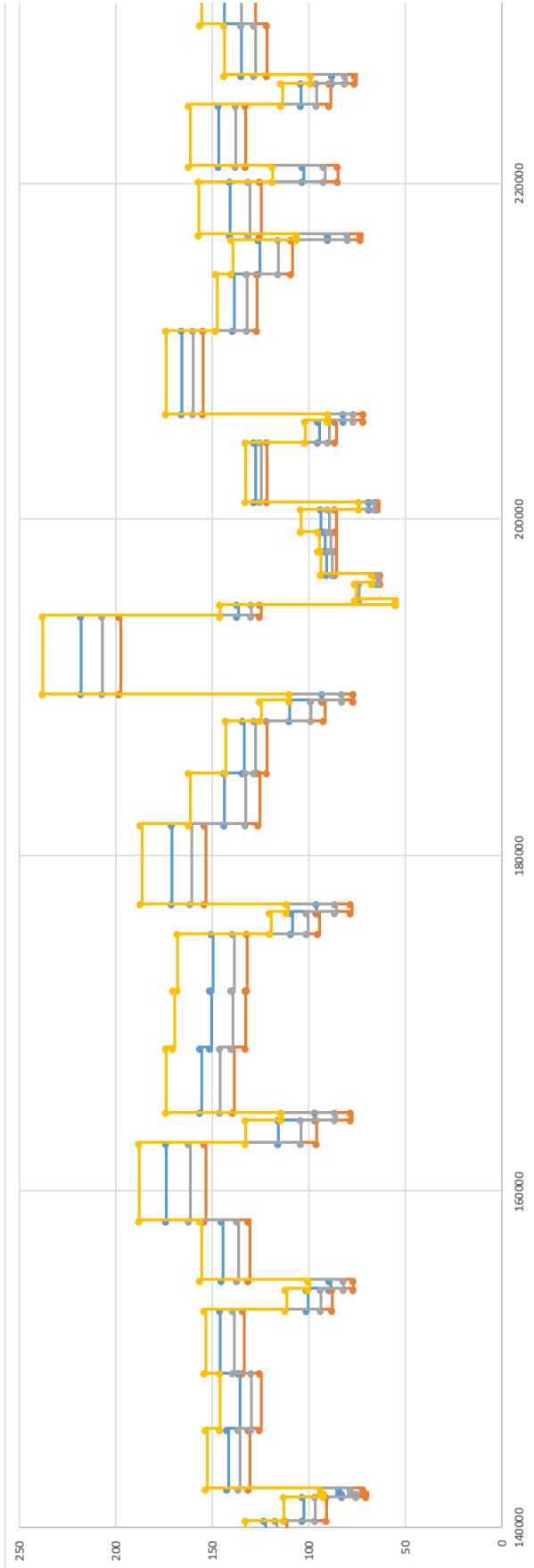
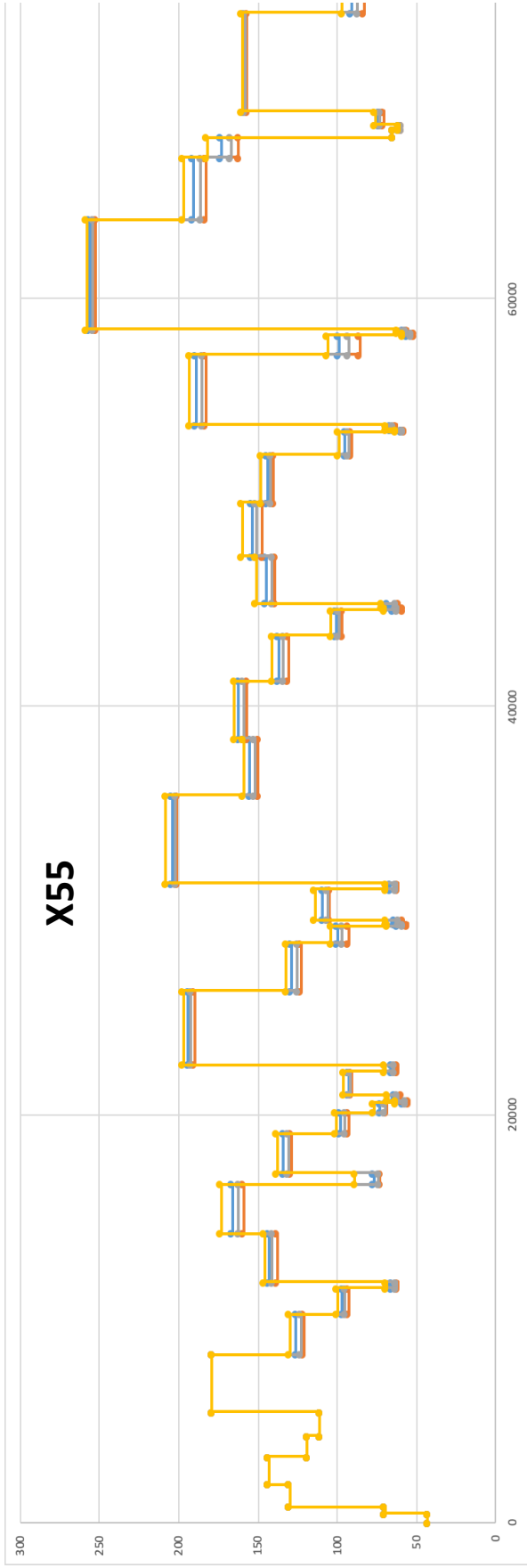
Bilaga A

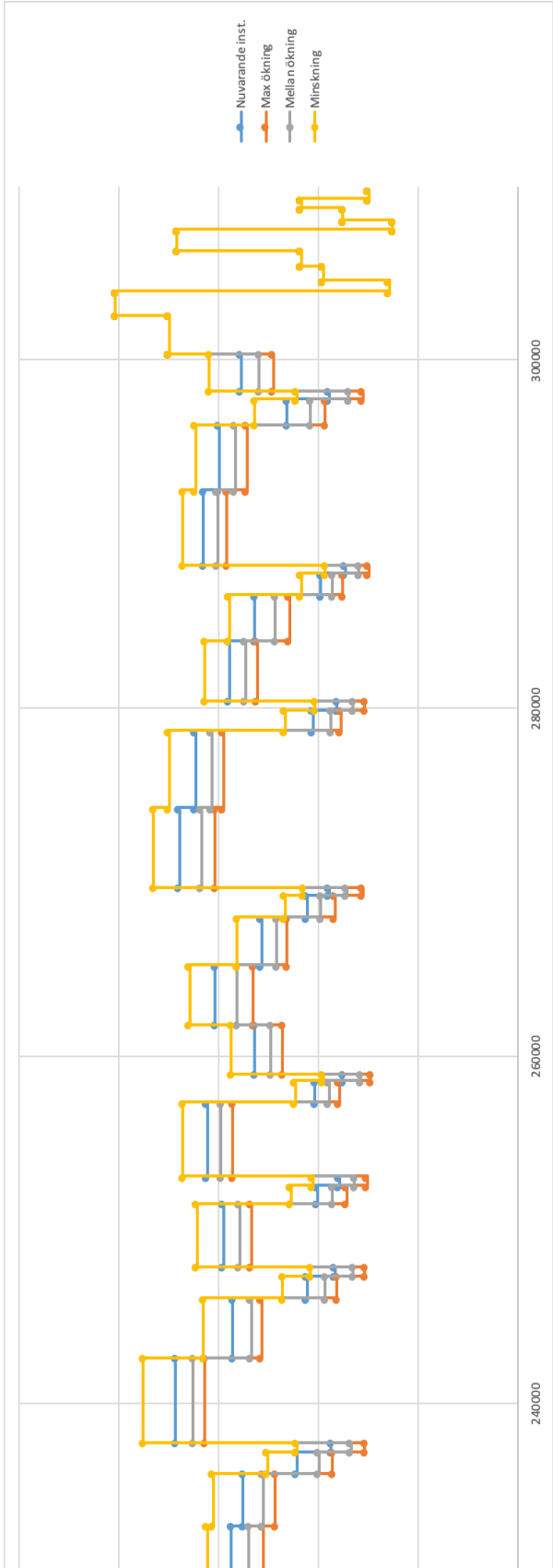
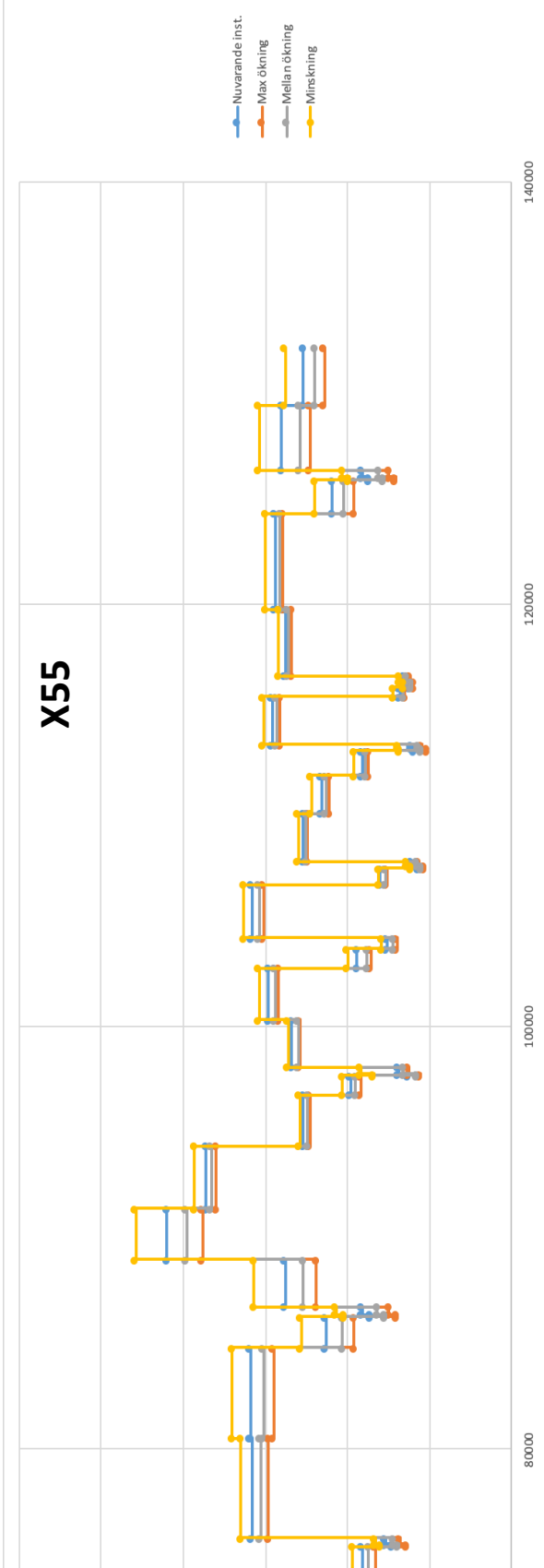
Antal och typ av tåg som ligger i tidtabellen som simulerats. Gäller tåg som startar under simulerat dygn samt tåg som ankommer till slutstation inom simulerat dygn:

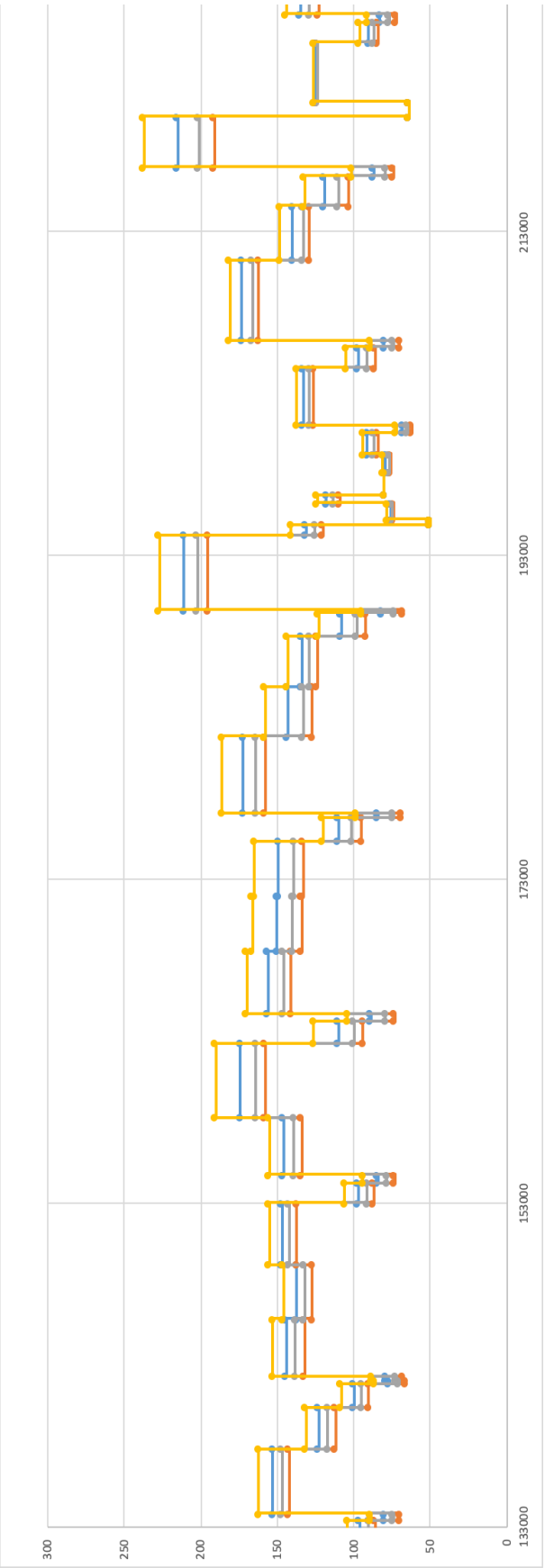
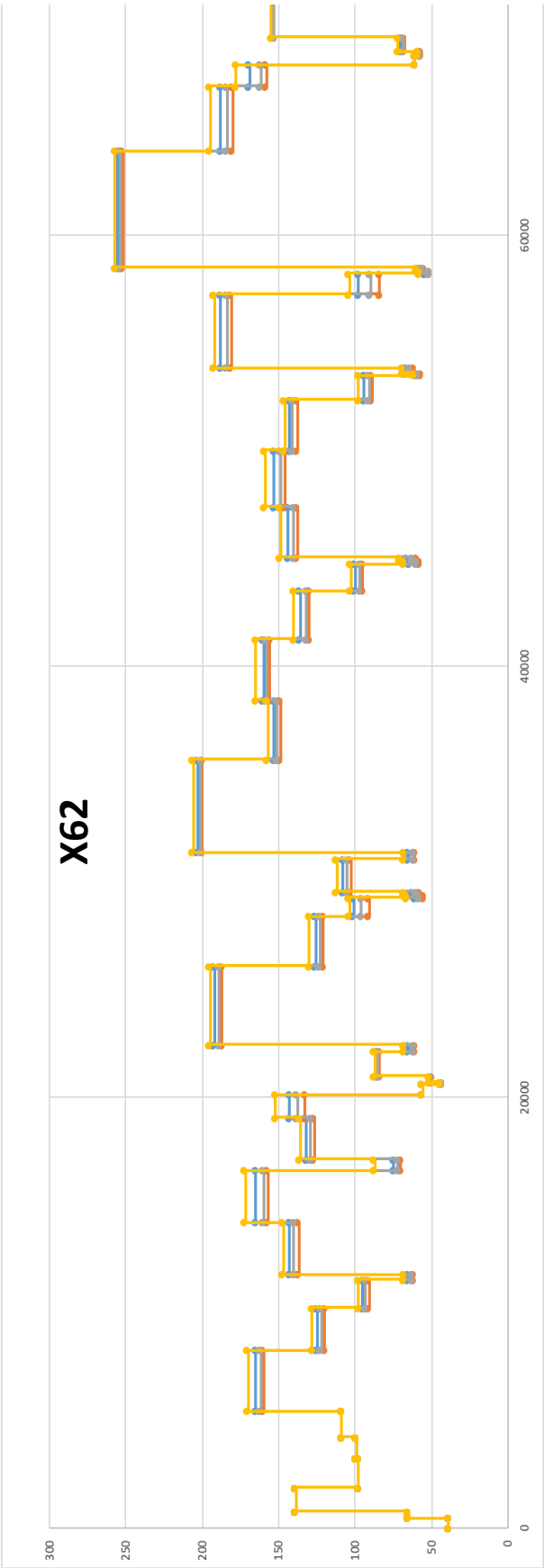
Tågkategori	Tågtyp (Lok eller motorvagn)	Trafikering	Antal	Beteckning Railsys	Lokdragna			Motorvagn
					Vikt (ton)	Hastighet (km/h)	Multipelkörning (2 eller fler lok)	
Godståg	142	Timrå - Gimonäs	1	142M+7_9	700	90	JA	-
Godståg	142	Gimonäs - Timrå	1	142M+27_8	2700	80	JA	-
Godståg	Rc4	Sundsvall - Dynäs - Ånge	1	Rc4+11_9	1100	90	NEJ	-
Godståg	T44	Dynäs - Hallsberg	1	T44+8_9	800	90	NEJ	-
Persontåg	Rc6	Stockholm - Riksgränsen	1	Rc6+8_16	601-800	160		-
Persontåg	X55	Stockholm - Umeå	2	X55	-	-	-	1
Persontåg	X55	Umeå - Stockholm	1	X55	-	-	-	1
Persontåg	X62	Sundsvall - Umeå	5	X62	-	-	-	1
Persontåg	X62	Örnsköldsvik - Umeå	3	X62	-	-	-	1
Persontåg	X62	Nordmaling - Umeå	1	X62	-	-	-	1
Persontåg	X62	Härnösand - Umeå	2	X62	-	-	-	1
Persontåg	X62	Umeå - Nordmaling	1	X62	-	-	-	1
Persontåg	X62	Umeå - Örnsköldsvik	3	X62	-	-	-	1
Persontåg	X62	Umeå - Sundsvall	6	X62	-	-	-	1

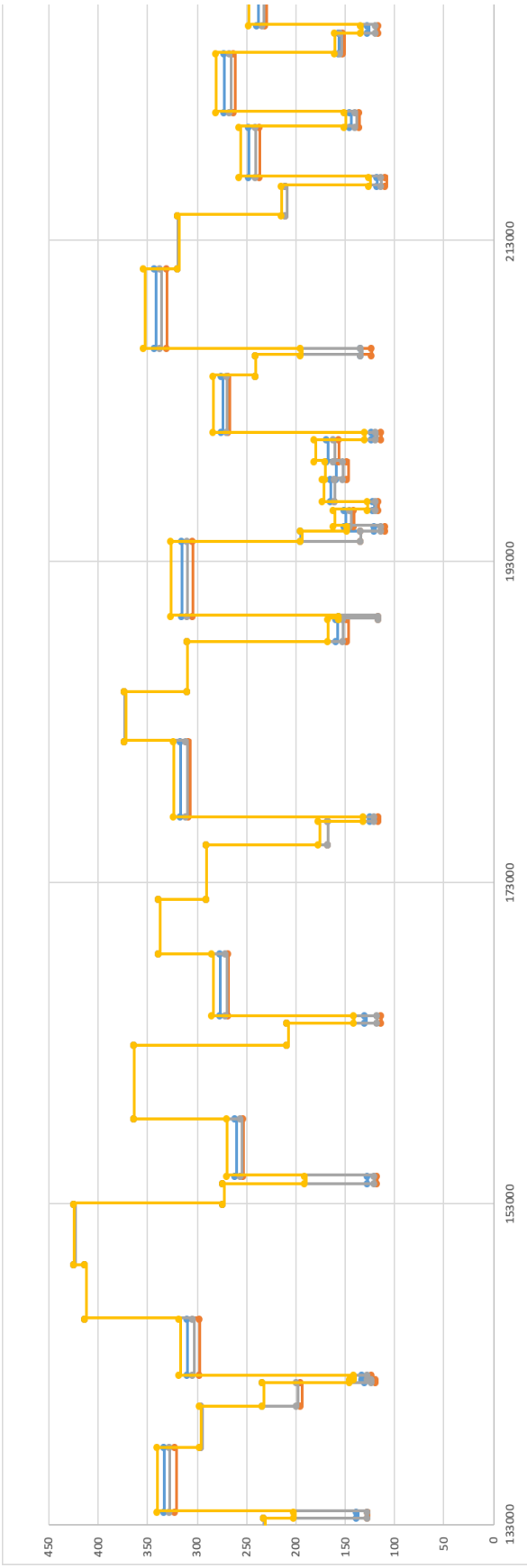
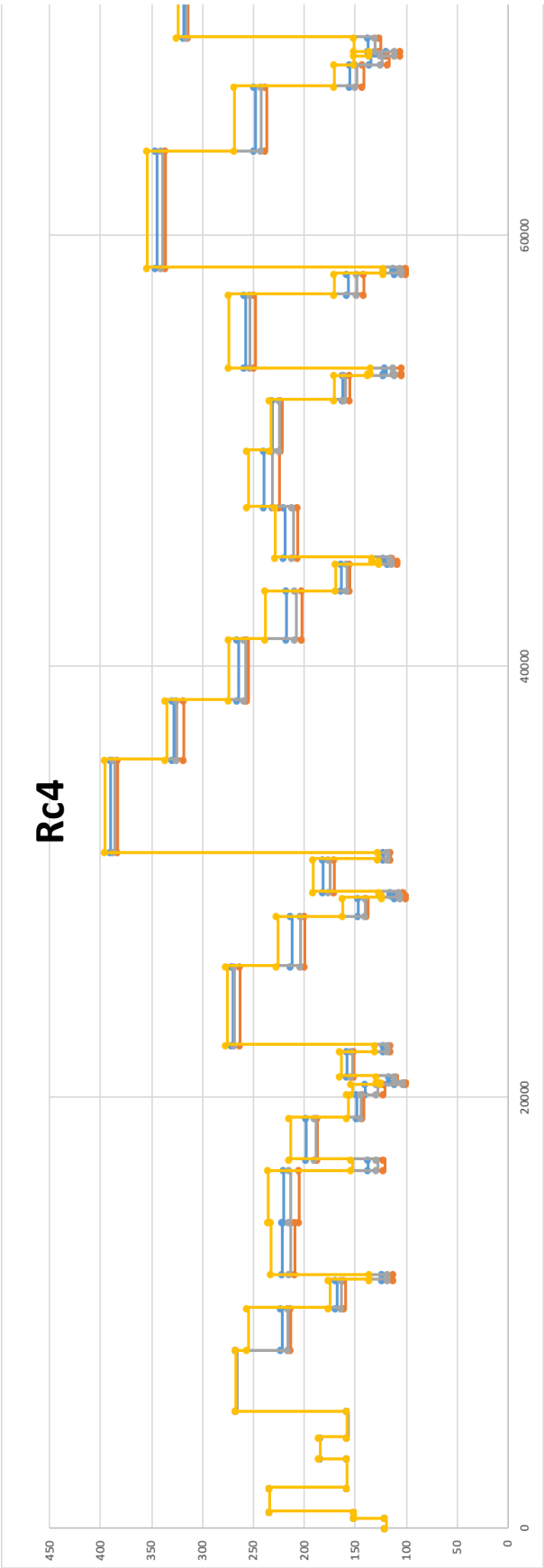
Bilaga B

Headway-diagram för samtliga simulerad tåg (*se nästa sida*).









Rc4

