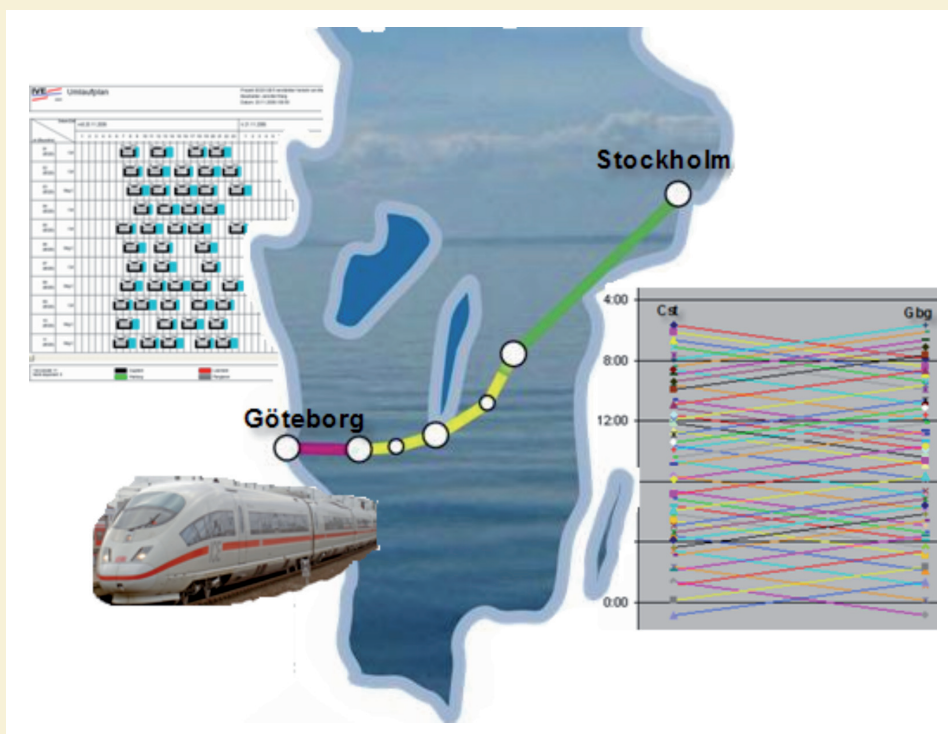


Omloppsplanering för tågtrafik Exempel från Ostlänken / Götalandsbanan

JENNIFER WARG



**KTH Arkitektur
och samhällsbyggnad**



Examensarbete
Stockholm 2008

Omloppsplanering för tågtrafik
Exempel från Ostlänken / Götalandsbanan

Train allocation planning
Examples from Ostlänken / Götalandsbanan

Examensarbete

Jennifer Warg

Avdelningen för Trafik och logistik

KTH Järnvägsgruppen

Förord

Denna rapport omfattar en beskrivning och analys av arbetet som genomfördes under våren och sommaren 2007 i Stockholm som examensarbete på civilingenjörsutbildningen på Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) Stockholm, Institution för Infrastruktur, avdelningen för Trafik och Logistik.

Valet av ämnet, "Omloppsplanering för tågtrafik; Exempel från Ostlänken / Götalandsbanan" grundades på mitt tidigare arbete "Optimierung der Fahrzeugumläufe für das Projekt Ostlänken/Götalandsbanan". Arbetet gjordes under hösten 2006 som examensarbete på den tyska ingenjörsutbildning "Internationales Bauingenieurwesen" på FH Mainz som leder till tyska examen "Diplom-Ingenieurin (FH)". Detta arbete handlade om omloppsplanering på Ostlänken och Götalandsbanan. Frågor och reflektioner som uppstod i denna undersökning togs upp här och ämnet breddas ut.

Under det här arbetet arbetade jag till halvtid som trafikutredare på järnvägskonsultföretaget Railize International AB. Arbetet har utförts i nära samarbete med detta konsultföretag. Railize stödde mig i det här arbetet och jag vill tacka mina kolleger för detta. Speciellt vill jag tacka Anders Lundberg, Markus Gunnervall och Eric Huot för hjälpen.

Jag vill dessutom rikta ett speciellt tack till Bo-Lennart Nelldal, min handledare på KTH, för stöd och hjälp i arbetet. För övrigt är jag väldigt tacksam för stödet som jag fick av min familj samt mina vänner i Tyskland och inte minst av min pojkvän som inte bara hjälpte till med korrekturläsningen av det här arbetet utan även uppmuntrade mig för att komma i mål med mitt arbete.

Jag vill också tacka alla planerare som ställde upp och besvarade enkäten och bidrog med information till det här arbetet.

Ett stort TACK till alla som hjälpte till! Utan er hade mycket i det här arbetet inte kunnat genomföras!

Stockholm, augusti 2007

Jennifer Warg

Abstract

This degree project treats the problem of vehicle disposition in railway traffic. Vehicle planning describes and analyses more exactly. It investigates in which steps of the planning process this kind of planning has to be made and how it coheres with other factors or steps in planning. Furthermore, different computer programs and methods that can be used for vehicle disposition are analysed. Last but not least shows a practical application for vehicle planning with help of the project Götalandsbanan/Ostlänken, planned high-speed railways in Sweden. Ostlänken is the eastern stretch of Götalandsbanan. Götalandsbanan itself shall link Gothenburg and Stockholm (see map at the front page). The analysis includes even a comparison between different alternative traffic systems. This report treats furthermore also timetable planning in some degree. However, mainly shall show useful methods for vehicle disposition planning.

Referat

Detta examensarbete behandlar ämnet fordonsdispositionen i tågtrafik. Fordonsplanering beskrivs och analyseras närmare. Det undersöks i vilka steg av planeringsprocessen den här typen av planering måste genomföras och hur den hänger ihop med andra faktorer och steg i planeringen. Dessutom analyseras olika program och metoder som kan användas för omloppsplanering. Slutligen presenteras omloppsplaneringen praktiskt vid exemplet Götalandsbanan/Ostlänken, två planerade höghastighetsjärnvägar. Ostlänken är Götalandsbanans östra del och ska gå mellan Stockholm och Linköping, medan Götalandsbanan ska gå ända fram till Göteborg (se karta på försättsbladet). Analysen omfattar även en jämförelse av olika trafiksystem. Arbetet behandlar även i viss utsträckning tidtabellsplanering. Huvudsakligen ska det dock visas lämpliga metoder för omloppsplanering.

Übersicht

Diese Examensarbeit behandelt das Thema Umlaufplanung im Zugverkehr. Fahrzeugplanung wird näher beschrieben und analysiert. Es wird untersucht, in welchen Phasen des Planungsprozesses diese Art der Planung durchgeführt werden muss und wie sie mit anderen Faktoren bzw. Teilen der Planung zusammenhängt. Außerdem werden verschiedene Programme und Methoden, die man zur Umlaufplanung anwenden kann, untersucht. Schließlich wird Umlaufplanung am Beispiel Götalandsbanan/Ostlänken, den geplanten Neubaustrecken für Hochgeschwindigkeitsbahnverkehr, praktisch erläutert. Ostlänken ist Götalandsbanans östlicher Teil und soll zwischen Stockholm und Linköping verlaufen, während Götalandsbanan bis nach Göteborg gehen soll (siehe Karte auf dem Titelblatt). Die Analyse beinhaltet auch einen Vergleich verschiedener Verkehrssysteme. Diese Arbeit behandelt außerdem auch Fahrplanerstellung zu einem gewissen Maß. Hauptsächlich sollen doch geeignete Methoden für Umlaufplanung dargestellt werden.

Innehållsförteckning

Förord	2
Abstract	3
Sammanfattning	6
Summary	8
Zusammenfassung	10
1 Inledning	12
1.1 Bakgrund	12
1.2 Syfte	12
1.3 Omfattning och avgränsning	12
1.4 Projekt Ostlänken/Götalandsbanan	13
2 Problembeskrivning - Omloppsplaneringens roll i planeringen av tågtrafiken	15
2.1 Introduktion i ämnet omloppsplanering	15
2.2 Planering på olika sikt	17
2.3 Samband mellan omloppsplanering och annan planering.....	21
3 Exempel på metoder och program för omloppsplanering	22
3.1 Undersökning bland planerare	22
3.2 Metoder och program	25
3.3 Resultat av undersökningen	33
4 Tillämpning på Götalandsbanan/Ostlänken	38
4.1 Höghastighetståg	40
4.2 InterRegio-linjer	49
4.3 Regionaltåglinjer	56
4.4. Resultat.....	61
5 Analys av arbetsmetod	64
5.1 Tidtabeller	64

5.2 Samband mellan tidtabellerna och omloppsplaneringen.....	70
5.3 Effekter.....	73
6 Diskussion och slutsatser	75
7 Referenser	78
8 Förteckningar	81
8.1 Förkortningsförteckning.....	81
8.2 Figurförteckning.....	82
8.3 Tabellförteckning	84

Sammanfattning

Stora investeringar görs i nya järnvägar. Höghastighetståg och utvecklingen av andra effektiva trafikeringssystem med järnväg innebär att det miljövänliga färdmedlet tåg blir mycket konkurrenskraftigt jämfört med flyg och bil. Samtidigt blir trafiksystemen större och planeringsförutsättningarna mer komplexa. För att nå bästa lönsamhet krävs därför effektiva planeringsmetoder. I detta arbete undersöks vilket inflytande omloppsplanering i tågtrafik kan ha.

Syftet är att analysera när omloppsplanering genomförs respektive är lämpligt att genomföra i samband med planering av tågtrafik och vilket inflytande olika faktorer har. Dessutom analyseras och jämförs olika program och metoder för omloppsplanering. Projektet Ostlänken/Götalandsbanan, som handlar om den planerade höghastighetsjärnvägen mellan Stockholm och Göteborg, används för att tillämpa omloppsplanering. Detta projekt är ett utmärkt exempel på ett komplext system.

Omloppsplanering kan göra nytta i olika faser i planeringsprocessen. I infrastrukturplaneringens tidiga skeden kan det vara värdefullt för att få en översikt över samhällsekonomi och faktorer som gynnar eller försämrar möjligheterna att ha ett effektivt fordonsomlopp inom respektive projekt. I den medel- till kortsiktiga planeringen blir såväl indata som syfte mer konkreta tills att man producerar den plan som sedan används i tågplanen. I den kortsiktiga operativa planeringen av dagens omlopp är omloppsplanering nödvändig för att parera förändringar som den aktuella situationen kräver. En undersökning som gjordes bland planerare vid olika företag bekräftade att omloppsplanering i praktiken framför allt genomförs i medel- och kortsiktig planering.

Manuell planering samt sex olika planeringsverktyg för omloppsplanering undersöktes genom research och intervjuerna med planerarna och jämfördes med hänsyn till planeringssituationen i respektive företaget. Det finns många olika varianter på hur omloppsplanering kan kopplas ihop med de andra typerna av planering. Några program kan användas för allt planeringsarbete medan andra bara fokuserar på fordonsomloppsplanering och en eller två aspekter till (t.ex. underhållsplanering). Det finns både för- och nackdelar med att behandla flera delar i samma program och det är viktigt att välja metod utifrån vad som behövs i den specifika situationen som företaget/planeraren befinner sig i.

I en granskning av själva omloppsplaneringsdelen konstaterades att grafiken är ganska lik i alla program. De skiljer de sig dock ganska mycket åt angående sättet hur de fungerar samt vilka verktyg som ingår och hur mycket programmen är anpassade till kraven som tågtrafiken ställer. Det bedömdes vilka verktyg som är fördelaktiga och i vilka av programmen de ingår. Trots att det oftast är bäst med många möjligheter och bra funktioner konstaterades att syftet med planeringen och bakgrunden i företaget är viktig för val av program.

Tillämpningsexemplet handlade om tre olika trafiksystem: Götalandsbanan som är den planerade höghastighetsjärnvägen mellan Stockholm och Göteborg; Ostlänken som är ett delavsnitt av Götalandsbanan och slutligen ett jämförelsealternativ där trafiken och infrastrukturen är jämförbara med dagens situation. För alla linjer som påverkas av den nya infrastrukturen sammanställdes tidtabeller och omloppsplaner som togs fram i samband med ett tidigare arbete. Planeringen visade att fordonsinsatsen kunde förbättras betydligt genom effektiv planering.

Fyra olika tågtyper betraktades: regional-, IR-, snabb- och höghastighetståg. Dessa tågtyper kunde jämföras beträffande olika faktorer inom de tre alternativa trafiksystemen. Det tydliggjordes bland annat att en minskning i fordonsbehovet innebär ett avsevärt minskning i inves-

teringskostnad. I jämförelsen visade sig alternativet med Götalandsbanan vara bäst. Detta beror mest på att fordonsbehovet är litet i förhållande till trafikutbudet. Eftersom systemen skiljer sig mycket kan man inte säga att detta alternativ är bäst på alla sätt och för varje fordons- typ, det har i alla fall totalt sett i de flesta områden fördelar mot de andra alternativen. För att bekräfta denna uppgift behövs det dock en samhällsekonomisk analys.

Alternativa ansatser för tidtabeller samt trafikeringsplaner användes för att till slut komma fram till den mest effektiva tidtabellen och omloppsplanen. Problem och svårigheter beskrevs och analyserades. Det visade sig att mellan tidtabellen och omloppsplanen finns ett starkt samband och att speciellt omfördelningar av turerna i tidtabellen kan ge stora vinster för re- sursbehovet. Ett exempel visar en förbättring med 25 % jämfört med en tidtabell som fram- togs efter bland annat efterfrågan men utan hänsyn till omloppsplaneringens behov.

Arbetet visade att omloppsplanering kan ge effektiva resultat. En slutsats är därför att den bör genomföras noggrant. Det är inte bara viktigt att planera konkreta fordonsomlopp i kort- eller medelsiktig planering, utan det kan även ge fördelar att bestämma fordonsbehovet redan i tidi- gare skeden. Hur stor nyttan av en tidig analys är beror dock alltid på projektet. Även plane- ringsmetoden ska väljas enligt det specifika behovet. Undersökningen visade att det finns många olika datorprogram som erbjuder verktyg för omloppsplaneringen och att dessa skiljer sig betydligt. Det är alltid viktigt att analysera behoven först. Ett viktigt resultat av arbetet är även att ett optimerat omlopp, speciellt med hjälp av justeringar i tidtabellen, kan förbättra re- sursanvändning betydligt och att det därför är en brist att sambandet mellan tidtabell och om- lopp oftast inte betraktas.

Summary

Huge investments are made in new railways. High-speed trains and the development of other effective traffic solutions with trains make that this mode of travel with its environmental advantages becomes very competitive with flight and car traffic. At the same time become the traffic systems huger and the prerequisites more complex. To reach the highest efficiency, effective planning methods are needed. In this thesis, the potential influences of train allocation planning are analysed.

The aim is to analyse in which step of the planning process of railway traffic vehicle planning is done or rather when it is adequate to do it. The influence of several different factors on the vehicle allocation is treated as well. Furthermore, different programs and methods for vehicle allocation planning are analysed and compared. The project Ostlänken/Götalandsbanan, which is about the planned high-speed railway between Stockholm and Gothenburg, is used to show examples from the reality. This project is a good example for an infrastructure investment as described before.

Vehicle allocation planning can get profits in different phases of the planning process in an infrastructure project. Early planning can be valuable to get an overview about economical factors and requirements for an effective train allocation. In the medium- and short-term planning become aim and input more and more precise until the plan which will be used in praxis is produced and finally the current traffic is regulated. An examination among traffic planners in different companies confirmed that vehicle allocation planning most of all is executed in the last described phase and long-term allocation planning only is an exception.

Manual allocation planning and six computer programs for vehicle allocation planning were analysed with help of research and the interviews with the traffic planners and were compared according to the planning situation in the companies. There are many different alternatives how allocation planning can be colligated with the other types of planning. Some programs can be used for all planning work while others only focus on vehicle allocation planning and one or two more aspects (for example maintenance planning). To have all the parts in one program has both advantages and disadvantages and it is important to choose the method according to the requirements of the specific situation of the planer/company.

Concerning the allocation planning itself was ascertained that the graphic was quite similar in all the programs. However, there were big differences between them concerning the way they worked, the included tools and how much they were adjusted to the requests of railway traffic. It was evaluated which tools were the most advantageous and which of the programs have these. Although it often is best with lots of possibilities and good functions, it was ascertained that even here, aim and background of the planning and the company is most important for the choice of the program.

The practical application of allocation planning was shown with help of three different traffic systems: Götalandsbanan as the planned high-speed railway line between Stockholm and Gothenburg, Ostlänken as a part of Götalandsbanan and last but not least an alternative where traffic and infrastructure are comparable to the situation today. For all lines that are affected by the infrastructural changes, timetables and vehicle allocation plans are compiled in this report. They were developed in an earlier work. The planning showed that the use of vehicles could improve immensely with the help of effective planning.

Four different train types were considered: regional, interregional, fast and high-speed trains. In the three traffic systems, the train types were compared concerning diverse factors. Among other things, it was shown that a diminution in number of vehicles needed leads to a significant decrease in investment costs. In the comparison it was revealed that the alternative with Götalandsbanan was best. That was mostly based on the fact that the requirement of vehicles is little compared to the offered traffic. Because of the big differences between the systems, it is not possible to say that this alternative is best in every point and for all the vehicle types, but it has totally seen big advantages in most fields compared to the other two alternatives. In order to confirm this statement, however, an evaluation of the economical efficiency of the alternatives is needed.

Alternative approaches for timetables and operation planes were used to finally get the most effective timetable and allocation plan. Problems and difficulties were described and analysed. It was revealed that timetable and allocation plan has a significant linkage and that especially a redistribution of departures can lead to immense winnings for the need of resources. An example showed an improvement of 25% compared with a timetable developed after the market needs among others, but without consideration of vehicle planning.

The evaluation showed that allocation planning can lead to effective results. En conclusion is therefore that it shall be done properly. It is not only important to plan concrete train allocation in short or middle term perspective, but it can also have advantages to calculate the need of vehicles already in earlier steps of planning. How huge the positive effects of an early analyse can be depends always on the project. Even the method for planning shall be chosen after the specific needs. The evaluation showed that there are lots of different computer programs that offer tools for vehicle allocation planning and that these differ a lot. It is always important to analyse the needs first. An important result of this thesis is also that an optimized allocation, especially with the help of adjustments in the timetable, can improve the use of resources a lot and that it therefore is a deficit not to look at the relation between timetable and train allocation.

Zusammenfassung

Große Investitionen werden in neue Zugstrecken getätigt. Hochgeschwindigkeitszüge und die Entwicklung anderer effektiver Verkehrslösungen auf der Schiene sind die Triebfeder dafür, dass das umweltfreundliche Fahrtnittel Zug im Vergleich zum Flugzeug und Auto an Konkurrenzkraft gewinnt. Gleichzeitig werden die Verkehrssysteme komplexer. Um die bestmögliche Effektivität zu erreichen, werden deshalb wirkungsvolle Planungsmethoden benötigt. In dieser Arbeit wird analysiert, welchen Einfluss Umlaufplanung im Eisenbahnverkehr haben kann.

Es wird untersucht, welche Methoden und Programme bei der Planung der immer größer werdenden Bahnnetzen sowie den immer komplexer werdenden Systeme und Voraussetzungen nützliche Hilfe leisten können. Ziel ist es, zu analysieren wann Umlaufplanung im Zusammenhang mit der Planung von Bahnverkehr durchgeführt wird bzw. nützlich ist durchzuführen und welchen Einfluss verschiedene Faktoren auf diese Planung haben. Außerdem werden verschiedene Programme und Methoden für Umlaufplanung analysiert und verglichen. Das Projekt Ostlänken/Götalandsbanan, das die geplante Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen Stockholm und Göteborg behandelt, wird angewandt um Beispiele aus der Praxis zu zeigen. Dieses Projekt ist ein vorteilhaftes Beispiel für eine Infrastruktursatzung wie zu Beginn angesprochen.

Umlaufplanung kann in unterschiedlichen Phasen des Planungsprozesses eines Infrastrukturprojektes nützlich sein. In frühen Stadien kann diese Planung wertvoll sein um eine Übersicht über die Wirtschaftlichkeit sowie die Faktoren, die die Möglichkeiten für einen effektiven Zugumlauf in dem speziellen Fall verbessern oder verschlechtern, zu schaffen. In der mittel- bis kurzfristigen Planung werden sowohl Ausgangsdaten als auch Zielvorstellung konkreter. Schließlich wird der Plan erstellt, der dann in der Praxis angewendet werden soll und zuletzt der aktuelle Umlauf gemäß der aktuellen Verkehrssituation gesteuert. Eine Untersuchung unter Planern bestätigte, dass Umlaufplanung in der Praxis hauptsächlich im Rahmen des zuletzt genannten Schrittes, also der kurz- und mittelfristigen Planung, durchgeführt wird. Eine langfristige Umlaufplanung kommt demnach nur in Ausnahmefällen vor.

Manuelle Umlaufplanung sowie sechs Computerprogramme für Umlaufplanung wurden mithilfe der Antworten der Planer in der Befragung sowie zusätzlicher Informationen aus Recherchen untersucht und im Zusammenhang mit der Anwendungssituation im jeweiligen Unternehmen verglichen. Es gibt viele verschiedene Varianten, wie Umlaufplanung mit den anderen Planungsschritten verknüpft werden kann. Einige Programme können zu sämtlichen Planungsarbeiten benutzt werden, während andere sich nur auf Umlaufplanung und ein oder zwei zusätzliche Aspekte wie zum Beispiel Unterhaltsplanung spezialisieren. Es hat sowohl Vor- und Nachteile mehrere Teilgebiete im gleichen Programm zu behandeln und es ist wichtig, die Methode entsprechend des unternehmens-, planer- und situationsspezifischen Bedarfes zu wählen.

In einer Analyse des Umlaufplanungsteiles selbst wurde festgestellt, dass die Grafik in allen Programmen ähnlich ist. Die Programme unterscheiden sich jedoch ziemlich bezüglich der Funktionsweise, der vorhandenen Werkzeuge sowie dem Maße der Anpassung an die Anforderungen des Zugverkehrs. Es wurde bewertet, welche Werkzeuge vorteilhaft sind und in welchen Programmen diese vorhanden sind. Obwohl es oft am besten ist, viele Möglichkeiten und gute Funktionen zu haben, wurde konstatiert, dass auch hier Planungsziel und -hintergrund im Unternehmen bei der Programmwahl im Vordergrund stehen.

Praktische Anwendung von Umlaufplanung wurde an drei verschiedene Verkehrssysteme gezeigt: Götalandsbanan als geplante Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke zwischen Stockholm und Göteborg, Ostlänken als ein Teilabschnitt der Götalandsbanan und schließlich eine Vergleichsalternative mit ähnlichem Verkehr und Infrastruktur wie heute. Für alle von den Veränderungen durch die neue Infrastruktur betroffenen Linien wurden im Zusammenhang mit einer vorhergehenden Arbeit Fahrpläne und Umlaufpläne zusammengestellt. Es zeigte sich, dass der Fahrzeugeinsatz durch effektive Umlaufplanung bedeutend verbessert werden konnte.

Mit Regional-, IR-, Schnell- und Hochgeschwindigkeitszug wurden insgesamt vier unterschiedliche Zugtypen betrachtet. Diese konnten bezüglich verschiedener Faktoren in den drei alternativen Verkehrssystemen verglichen werden. Es wurde unter anderem deutlich gemacht, dass eine Reduzierung des Fahrzeugbedarfes eine bedeutende Minderung der Investitionskosten mit sich führt. Im Vergleich zeigte sich, dass die Alternative mit der Götalandsbanan am besten ist. Dieses wird vor allem damit begründet, dass der Fahrzeugbedarf im Vergleich zum Verkehrsangebot gering ist. Da die Systeme sehr unterschiedlich sind, kann man nicht sagen, dass diese Alternative in jeder Hinsicht und für alle Fahrzeugtypen am vorteilhaftesten ist, sie hat allerdings insgesamt gesehen in den meisten Bereichen Vorteile gegenüber den anderen beiden Varianten. Nur eine Wirtschaftlichkeitsberechnung kann jedoch bestätigen, ob diese Beurteilung voll zutrifft.

Alternative Ansätze für Fahr- und Verkehrspläne wurden angewandt um schließlich den effektivsten Fahr- und Umlaufplan zu entwickeln. Probleme und Schwierigkeiten, wurden beschrieben und analysiert. Es zeigte sich, dass diese Pläne stark zusammenhängen und dass insbesondere eine Umverteilung von Fahrten im Fahrplan enorme Gewinne bezüglich des Bedarfes an Ressourcen geben kann. Ein Beispiel zeigt eine Verbesserung um 25 % verglichen mit einem Fahrplan, der unter anderem mit Rücksicht auf die Nachfrage, jedoch nicht auf die Erforderlichkeiten der Umlaufplanung erstellt wurde.

Die Arbeit zeigte, dass Umlaufplanung effektive Ergebnisse liefern kann. Ein Fazit ist deshalb, dass diese sorgfältig durchgeführt werden sollte. Es ist nicht nur wichtig, konkrete Fahrzeugumläufe in der kurz- und mittelfristigen Planung zu erstellen. Es kann auch vorteilhaft sein, den Fahrzeugbedarf bereits früher zu bestimmen. Wie nützlich eine frühe Analyse sein kann ist doch immer vom Projekt abhängig. Auch die Planungsmethode soll in Abhängigkeit mit dem spezifischen Bedarf gewählt werden. Die Untersuchung zeigte, dass es viele unterschiedliche Computerprogramme gibt, die Werkzeuge für die Umlaufplanung anbieten und dass diese sich beachtlich unterscheiden. Es ist immer wichtig, zu allererst den Bedarf zu analysieren. Ein anderes wichtiges Ergebnis dieser Arbeit ist, dass ein optimierter Umlauf, besonders mithilfe von Anpassungen im Fahrplan, die Ressourcenanwendung bedeutend verbessern kann und dass es deshalb ein Defizit ist, dass der Zusammenhang von Fahr- und Umlaufplan in den meisten Fällen nicht betrachtet wird.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I samband med arbetet "Optimierung der Fahrzeugumläufe für das Projekt Ostlänken/Götalandsbanan"¹ genomfördes en analys av fordonsbehovet för projektet Ostlänken/Götalandsbanan, en järnvägsutredning för en ny höghastighetsbana mellan Stockholm och Göteborg. Resultaten utifrån denna undersökning om infrastrukturens påverkan på fordonsbehovet har sammanställts i detta examensarbete. Utredningar i ämnet omloppsplanering görs baserade på detta exempel. Datorprogrammet DISPO som användes för det nämnda arbetet analyseras mer noggrant och jämförs med andra program som är gjorda för samma syfte. Olika metoder för omloppsplanering ska jämföras såväl som påverkan av olika faktorer analyseras. Det ska utredas hur omloppsplanering kan ske på det mest effektiva sättet.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka omloppsplanering för tågtrafik. Det omfattar en granskning av planeringsprocessen och olika typer av planering kopplade till omloppen. Det ska dessutom redovisas vilka olika metoder som kan användas för att planera fordonsomlopp, hur de skiljer sig och vilka för- och nackdelar dessa har. Faktorer som har inflytande på omloppen ska uppvisas och undersökas. Dessutom ska det utredas hur förändringar (t.ex. i tidtabellen) påverkar resursanvändningen. Tillämpningen på Ostlänken/Götalandsbanan ska visa ett exempel för omloppsplaneringsprocessen. Tidtabellerna och fordonsbehov ska redovisas och de tre olika trafiksystemen ska jämföras. På så sätt visas det vad man kan komma fram till med hjälp av omloppsplanering. Med exemplet ska det även uppvisas vilka effekter effektiv omloppsplanering kan ha. För övrigt ska också lämpliga metoder för tidtabellsplanering i samband med omloppsplanen redovisas.

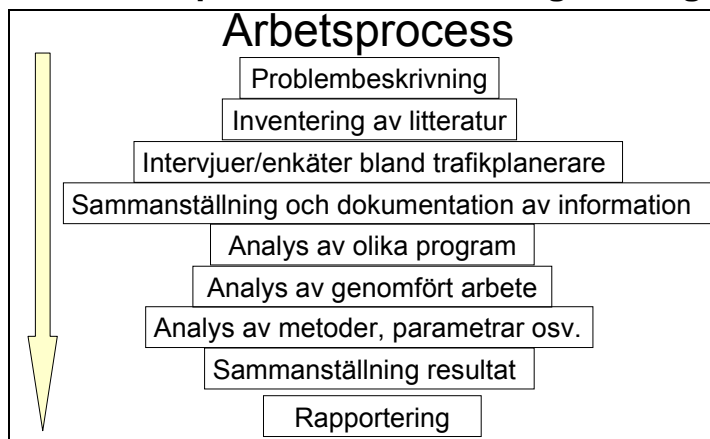
1.3 Omfattning och avgränsning

Det här arbetet bygger på exemplet Ostlänken/Götalandsbanan. Strategier och metoder testades med linjer utifrån detta projekt. Huvudsakligen behandlas omloppsplanering i tågtrafik, det analyserades dock även två program som är gjorda för buss- respektive anropsstyrd trafik. Antalet undersökta hjälpmedel till omloppsplanering begränsades till sju stycken.

I följande avsnitt ska nu arbetsprocessen beskrivas och en översikt över innehållet av det här examensarbetet ges.

¹ Optimiering av fordonsomloppen i projektet Ostlänken/Götalandsbanan, december 2006

1.3.1 Arbetsprocess och forskningsstrategi



Figur 1: Arbetsprocess

Figur 1 visar arbetsprocessen som ligger bakom det här arbetet.

Först inventerades problemet och syftet bestämdes. Detta gjordes i samband med de problem och frågor som uppstod i samband med arbetet som skrevs hösten 2006. Sedan söktes litteratur till ämnet. Detta innebar samtidigt att information om andra metoder för omloppsplanering måste tas fram. Efter en intensiv bakgrundsundersökning togs

några frågor fram för att användas vid faktainsamling bland planerare som arbetar med omloppsplanering. Genom enkäter och intervjuer kunde en översikt över program och metoder skapas. Informationen som de inblandade planerarna levererade var en viktig bas för en jämförelse mellan olika metoder och visade hur viktiga olika faktorer är.

Sedan sammanfattades resultaten av omloppsplaneringen för Ostlänken/Götalandsbanan. Metoder för planering och optimering beskrevs, analyserades och förbättrades och problem som uppstår i detta sammanhang uppvisades. Förutom detta undersöktes inflytandet som olika parametrar har på omloppsplaneringen. Till slut sammanställdes alla resultat och rapporten författades.

1.3.2 Översikt

Examensarbete kan ämnesmässigt uppdelas i tre delar. Den här första delen handlar mest om omloppsplaneringen allmänt, medan den andra delen är mer praxisrelaterat i och med att resultaten utifrån omloppsplaneringen på Götalandsbanan redovisas och analyseras. I tredje delen ska sedan metoder och strategier beskrivas och analyseras innan arbetet avslutas med slutsatsen.

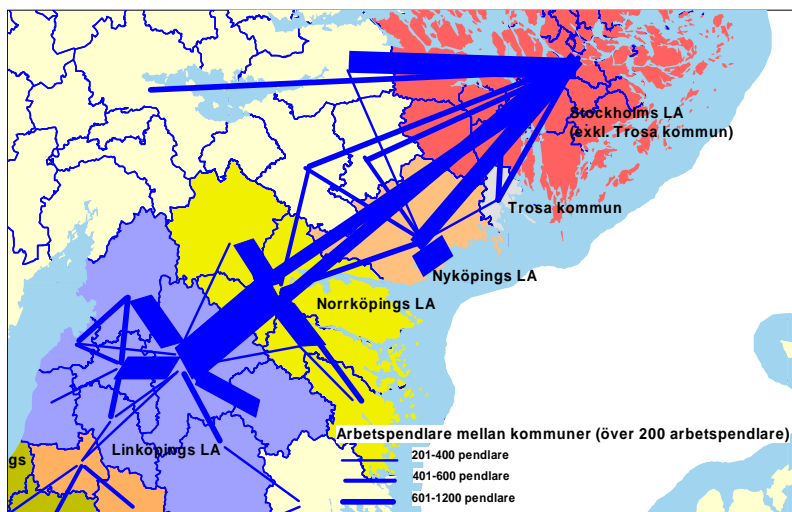
Det följande avsnittet ska nu som inledande beskrivning tar upp vad omloppsplanering handlar om och vilken roll den spelar i planeringsprocessen och i samband med de andra planeringarna. Dessutom ska det som exempel använda projektet presenteras närmare. Därefter ska olika program och metoder samt deras för- och nackdelar presenteras. Det ska även nämnas exempel på var, på vilket sätt och med vilket syfte varje verktyg används.

I andra delen ska omloppsplaneringen i projektet Ostlänken/Götalandsbanan tas upp. Resultaten ska presenteras och sambandet mellan infrastrukturutbyggnad samt medföljande ändringarna i trafik och fordonsbehov analyseras.

Del tre ska närmare beskriva vilka svårigheter och möjligheter som uppstår när omloppen planeras och optimeras. Det ska dessutom visas, vilka effekter en förändring av olika faktorer kan ha. Slutligen ska slutsatsen avrunda det här examensarbetet.

1.4 Projekt Ostlänken/Götalandsbanan

Som sagt används Projektet Ostlänken/Götalandsbanan som exempel i det här arbetet. Här följer en kort beskrivning av dessa projekt.



Figur 2: Arbetspendlare mellan Stockholm och Linköping

Via Ostlänken och Södra Stambanan kopplas Stockholm, Sveriges mest befolkade region, ihop med Sveriges tredje största stad Malmö i syd. Genom den nya infrastrukturen kan den nuvarande restiden (4:24h) förkortas till 3:15h. Sträckan Stockholm-Malmö ingår även i Europabanan som fortsätter från Malmö via Köpenhamn till Hamburg.

Det andra projektet som används i examensarbetet är Götalandsbanan, en planerad järnväg mellan Stockholm (Järna) och Göteborg. Ostlänken är det östra delavsnittet av denna struktur. Med hjälp av Götalandsbanan ska restiden mellan Sveriges största och näst största stad kortas till 2:15h och konkurrenskraften gentemot flyget stärkas. Idag tar tågresan minst 2:55h vilket gör att flyg- och biltrafiken har större trafikandelar.



Figur 3: Järnvägsnät för persontrafik i Syd-/Mellansverige idag

Till och mellan Stockholm, Göteborg och Malmö går landets största trafikströmmar. De flesta mässor, konferenser eller evenemang äger rum i de nämnda städerna. Idag trafikerar snabbtågen Södra Stambanan mellan Stockholm och Malmö/ Köpenhamn, och Västra Stambanan mellan Stockholm och Göteborg (röd och blå markerad i Figur 3). I jämförelse ser man i Figur 4 den planerade linjestäckningen av Götalandsbanan samt kopplingen till Malmö/Köpenhamn via Södra Stambanan (i blå).



Figur 4: Med Ostlänken och Götalandsbanan

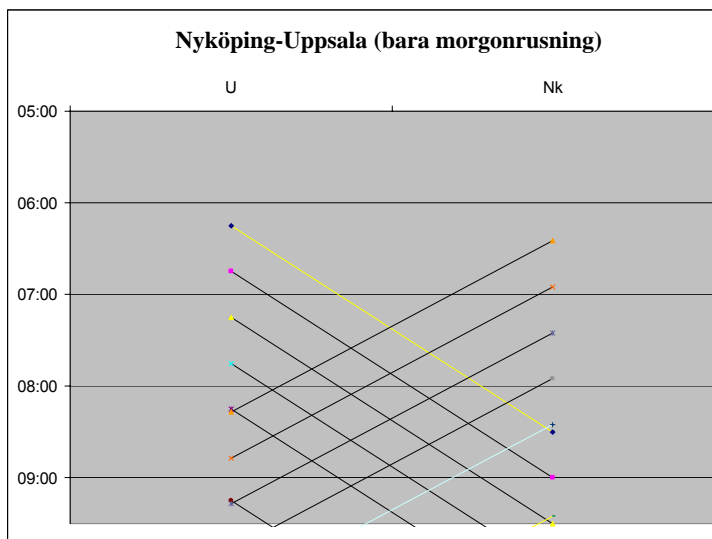
Planerad Byggstart för Ostlänken är någon gång mellan 2010 och 2015. Just nu pågår järnvägsutredningen. Den ska vara klar 2008. Inom projektet Götalandsbanan har man inte kommit så långt än. Planeringsprocessen beskrivs senare. Planerad invigning är 2020 för Ostlänken och 2030 för Götalandsbanan.

2 Problembeskrivning - Omloppsplaneringens roll i planeringen av tågtrafiken

2.1 Introduktion i ämnet omloppsplanering

Omloppsplaneringens syfte är att tilldela ett fordon till varje tur som finns i tidtabellen. Detta ska nu beskrivas närmare i det här avsnittet.

2.1.1 Vad är omloppsplanering?



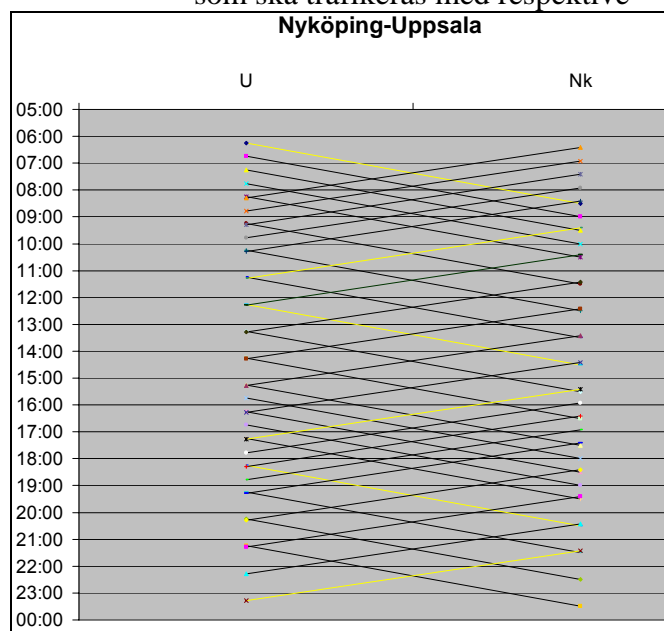
Figur 5: Del av en grafisk tidtabell (förenklad, europeisk form) och exempel på manuell omloppsplanering

fordon markeras i den valda färgen. För att fördela turerna börjar man med den första avgången på morgonen. I exemplet (Figur 5) startar det gult markerade fordonet kl. 06:15 i Uppsala och ankommer kl. 08:30 i Nyköping. Resan i ljusblått ska genomföras strax innan den gula turens ankomst. Detta gör det omöjligt att använda samma fordon.

Sedan tittas det på nästa avgång från Nyköping. Frågan är om tiden mellan planmässig ankomst och avgång räcker till för att vända och serva tåget och att utjämna förseningar. Kan den besvaras med "ja", så bestämmer man att avgången körs med samma fordon så att den markeras gult. På samma sätt fortsätts tills det inte finns

Här följer ett enkelt exempel i ämnet omloppsplaneringen. Figur 5 visar en del av en grafisk tidtabell för regionaltågen mellan Uppsala och Nyköping. För att underlätta togs alla tågnummer bort. En linje motsvarar en persontur mellan de två stationerna. Början (övre ändan) och slutet (nedre ändan) anger avgångs- och ankomsttiden.

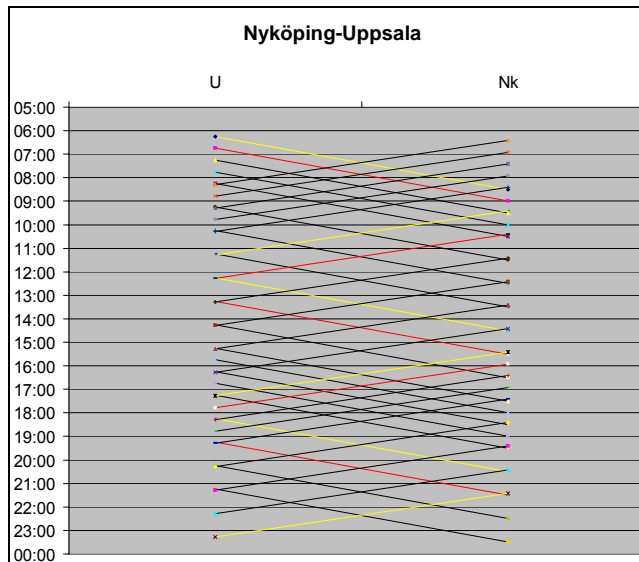
Den enklaste metoden för det ovan nämnda målet på omloppsplaneringen, att tilldela alla avgångar till fordon, är den manuella som ska visas här. För varje fordon som används väljs en färg. Alla avgångar som ska trafikeras med respektive



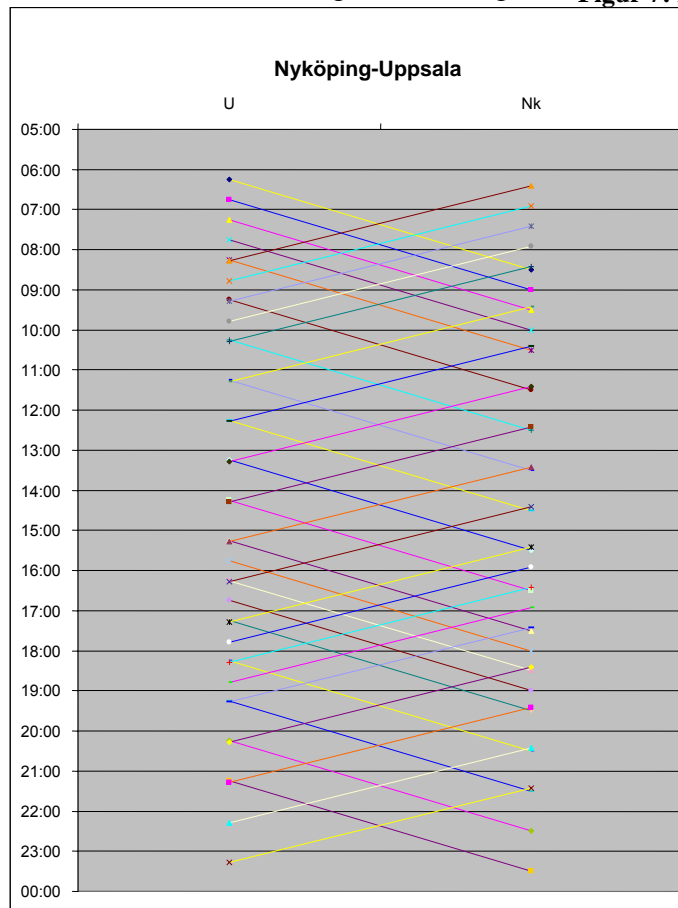
Figur 6: Avgångar som trafikeras av fordon 1 (gult)

några avgångar kvar som fordonet kan ta på respektive dagen (Figur 6). Ett fordon som startade i Uppsala på morgonen på dag 1 behöver inte avsluta sista avgången på samma station. I så fall uppstår ett flerdagigt omlopp. Ett exempel är det rödmarkerade fordonet i Figur 7. Fordonet startar i Uppsala och är över natten i Nyköping. Först efter två eller fler dagar kommer det att deponeras vid startstationen igen.

Efter att turer har tilldelats till första fordonet fortsätter man med ett nytt fordon och en ny färg. Processen upprepas tills alla turer är fördelade (Figur 8). Slutligen



Figur 7: Fordon med flerdagigt omlopp (rödmarkerat)



måste kontrolleras om antalet fordon på morgonen och kvällen är lika på alla stationer så att trafiken på nästa morgon kan ske på samma sätt. Annars måste utgångssituationen återställas genom en tomkörning.

Den här visade planeringen är naturligtvis förenklad. I praktiken måste det t.ex. även kontrolleras var det finns möjlighet att deponera tågen under natten och hur stor kapacitet respektive depå har. Svårigheter i praktiken uppstår också när alla avgångar inte ska köras med samma tågtyp. Exempelvis kan det behövas längre tåg till vissa avgångar eller olika sorters tåg måste samordnas. Samtidigt hänger omloppsplanen även ihop med annan sorts planering. Personal, spårbeläggning på stationen, underhåll och mycket mer måste planeras i enhet med omloppen. Allt detta behandlas närmare senare i det här arbetet.

Figur 8: Turfördelning för en vardag (linje Nyköping-Uppsala)

2.1.2 Varför görs omloppsplanering?

Ändamålet med omloppsplanering är oftast att optimera hela trafiksystemet så att ett bra utbud kan erbjudas till låga kostnader. Det speciella syftet beror dock på planeringsnivån.

Det man kommer att tänka på först är att omloppsplaneringen naturligtvis behövs för att kunna genomföra trafiken, dvs. omvandlar tidtabellen i praktik och styra vilket fordon som ska vara var och köra vilka turer. Det kan dock även vara effektivt att syssla med omloppsplane-

ring tidigare i planeringsprocessen (exempelvis för att kunna estimeras fordonsbehovet) eller när trafiken redan är igång och omplaneringar måste ske pga. t.ex. fordonsbrist.

Ett vanligt mål med omloppsplanering är att klara av trafiken med så få fordon som möjligt så att behovet är litet och investeringskostnaderna kan hållas låga. Detta gäller för nya projekt, men även t.ex. om man vill utöka trafiken utan att fler fordon måste köpas in.

Omllopsplaner behövs för att kunna styra trafiken. Det är viktigt att veta vilka tågset som sätts in var och man måste hålla koll på var de kan deponeras när de inte är i trafik. Samtidigt måste även tas hänsyn till underhållsbehovet. Eftersom tågen inte har någon kilometer- och timräknare måste det dokumenteras för varje tåg hur många kilometer som tillryggalagts. Detta är basen för att bestämma när underhållsåtgärder är nödvändiga. Tågen tas in i verkstan efter att de har kört en viss sträcka eller antal timmar. Dessutom finns det naturligtvis även oplanerade stopp pga. akuta brister. Dessa kan också ställa till det för de gjorda omloppsplanerna eftersom fordonet kanske inte kan sättas in som planerat och ändringar behövs för att undvika att en eller flera turer bara kan köras försenat eller inte alls. Punktligheten är ur konkurrensskäl väldigt viktig för kollektiva färdmedel. Detta är speciellt viktigt för tågtrafiken, eftersom förseningar oftast har stora effekter på efterföljande och mötande tåg och sprider ut sig i hela nätet.

2.2 Planering på olika sikt

Planering kan ske på olika sikt. Långsiktig planering ska utreda hur målet kan nås på lång sikt och vilka metoder som är mest effektiva för att uppfylla målet. Det handlar oftast om en strategisk målsättning som till exempel att förbättra luftkvaliteten i Stockholms innerstad eller att bygga ut kollektivtrafiken. Även nyinvesteringar (som t.ex. inköp av en ny maskin) omfattas såväl som att rekryteringsåtgärder planeras. Långsiktig planering kan dock även ha mer konkreta mål, exempelvis att skapa en årsplan för trafikering, personal och resurser.

Kortsiktig planering sker på en mer noggrann nivå. Den sysslar med problem som redan har uppstått eller frågeställningar som angår den nära framtiden. Det är till exempel den konkreta arbetsplaneringen med tjänsteplan eller konsekvenser utifrån väg-/spårarbeten.

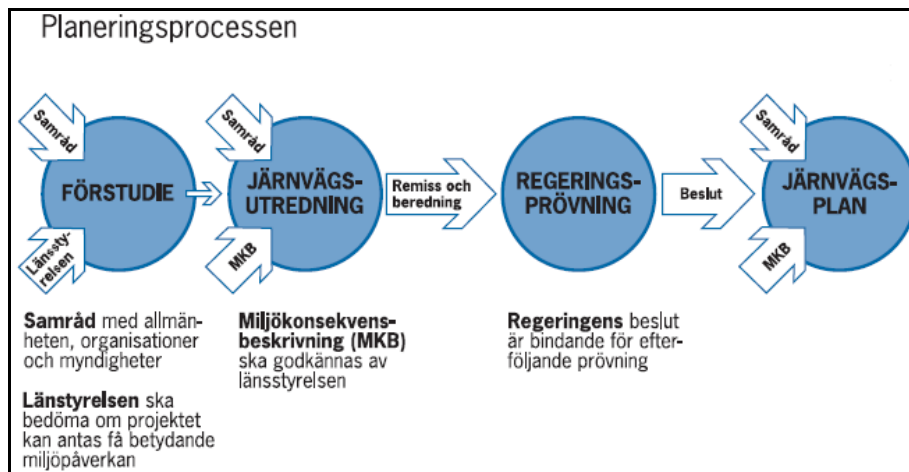
Mellan långsiktig planering som syftar på att nå mål som ligger längre fram i framtiden och konkret planering som gäller den aktuella trafiksituationen som kräver snabba beslut och åtgärder finns det ett antal olika steg. Här ska nu undersökas i vilka planeringssteg omloppsplanering kan/ska ingå, vad planeringen syftar på och vilka effekter den kan ha.

2.2.1 Långsiktig planering

För att visa hur omfattande begreppet ”långsiktig planering” är ska här beskrivas alla steg från ett projekts början fram till konkret långsiktig planering för en bestående infrastruktur.

Målet för den här planeringen är en långsiktig hållbar utveckling. Hänsyn måste tas till att den nyplanerade infrastrukturen oftast ska kunna användas i flera årtionden och att den inte är någon stor hinder för eventuellt nödvändiga ytterligare utbyggnader i framtiden. Ett bra exempel är det svenska bannätet som är igång sedan 150 år. Genomfarten genom Stockholm C har till exempel fortfarande samma antal spår som när den byggdes för mer än 130 år sedan.

Innan ett järnvägsprojekt kan realiserats krävs det en ingående planeringsprocess inom vilken det planeras på lång sikt. Här ska det nu tydliggöras de steg som ingår. Projektet Ostlänken, dvs. planeringen av en ny höghastighetsbana, används som exempel. Undersökningen ska även göras för framtida steg som inte har nåtts än i projektet.



Figur 9 visar planeringsprocessen inom järnvägsprojekt enligt "Lagen om byggande av järnväg" och Miljöbalken. Beroende på projektets storlek och svårighet tar det oftast flera år innan byggandet kan påbörjas och trafiken kan komma igång.

Figur 9: Planeringsprocessen inom järnvägsprojekt

Alla steg ska här framställas närmare och omloppsplaneringens roll i dessa beskrivas. Sedan ska även konkret planering upptas.

2.2.1.1 Förstudien

I planeringens första steg, för- och idéstudien, utreds om det är möjligt att genomföra projektet. Visioner klarläggs och syftet bestäms och första övergripande basutredningar görs. Detta innebär även att samråd med berörda måste ske och miljöpåverkan undersökas. I en första samhällsekonomiska undersökning ska bedömas om projektet sannolikt kommer att vara lönsamt.

Förstudien för Ostlänken inleddes 2001 och avslutades 2003. Främst undersöktes det möjligheter för linjesträckningen angående miljöpåverkan, genomförbarhet och samhällsekonomisk lönsamhet. Detta innebär inte någon form av omloppsplanering. I ett sådant tidigt skede kan omloppsplaneringen användas som stödpoint för fordonsbehovet för ett projekt i den här storleksordningen. Detta kan vara en viktig faktor för uppskattningen av projektets samhällsekonomiska lönsamhet. Problemet är dock att det behövs ganska mycket indata för detta. Varken tågtyper, trafikeringen, tidtabeller eller infrastruktur existerar i tillräckligt stort omfattning för att räkna fram en någorlunda användbar omloppsplan. Insatsen som krävs är därmed större än nyttan. Eftersom det inte finns några djupare utredningar alls är det väldigt troligt att alla antaganden kommer att förändras inom processen. Därmed måste till och med en användning som bas för senare utredningar ifrågasättas för en så tidigt framställd omloppsplan. Det rekommenderas därför att räkna med antaganden respektive riktvärden för att uppskatta det ungefärliga fordonsbehovet i förstudien. Detta sparar tid och pengar samtidigt som att noggrannheten räcker till i det här tidiga skedet.

2.2.1.2 Järnvägsutredning

Järnvägsutredningen är väldigt omfattande. Oftast finns det många olika alternativ för projektet. Efter beslutet om vilka lösningar som ska utredas vidare har fattats sker planering inom många olika delområden med målet att komma fram till det bästa alternativet som underlag för projekteringen. Järnvägsutredningen omfattar såväl tekniska undersökningar som även trafikprognoser, samhällsekonomiska bedömningar och en miljökonsekvensbeskrivning. Utredningen går på remiss och sedan provas tillåtligheten av regeringen.

Även i järnvägsutredningen är det flesta för omloppsplaneringen viktiga faktorer osäkra. I utredningens gång tas det fler och fler beslut vilka hjälper till att få noggrannare indata till omloppsplaneringen. Eftersom det oftast ingår mycket djupare samhällsekonomiska studier kan

fordonsbehovet dock vara en viktig faktor eftersom investeringskostnaderna för fordonen utgör en stor del av de totala kostnaderna. Även som första steg inom underhållsplaneringen kan omloppsplaneringen leverera intressanta uppgifter. Med dess hjälp är det t.ex. möjligt att uppskatta om underhållsfaciliteter och depåer räcker till för den framtida trafikeringen.

Ändå händer det sällan att en sådan undersökning genomförs redan i järnvägsutredningen. Detta kan även bero på att alternativutredningen oftast mest handlar om infrastrukturfrågor och att trafikeringmöjligheter (speciellt tidtabeller) inte undersöks lika noggrant förrän andra faktorer har bestämts.

Järnvägsutredningen i projekt Ostlänken påbörjades 2003. Betraktas hela Götalandsbanan har processen dock inte alls kommit så långt (se Tabell 1). Medan järnvägsutredningen för Ostlänken efter fem års arbete ska vara klar sommaren 2008, har detta avsnitt i planeringen till stora delar inte påbörjats än på den övriga delen av Götalandsbanan (se Tabell 1 för ytterligare information). För dessa delavschnitt är målet att färdigställa förstudier och järnvägsutredningar så att man kan fortsätta på samma sätt som på Ostlänken.

	Götalandsbanan				
	Ostlänken		Linköping-Mantorp	Mantorp-Jönköping	Jönköping-Borås
	Järna-Norrköping	Norrköping-Linköping			
Förstudie	Klar	Klar	Klar	Inte påbörjat än	Inte påbörjat än
JV-Utredning	Påbörjat	Påbörjat	Inte påbörjat än	-	-

Götalandsbanan				
	Borås-Bollebygd	Bollebygd-Mölnlycke	Mölnlycke-Almedal	Almedal-Göteborg C
Förstudie	Klar	Klar	Klar	Klar
JV-Utredning	Inte påbörjat än	Påbörjat	Påbörjat	Påbörjat

Tabell 1: Planeringsavschnitt på Götalandsbanan/Ostlänken samt aktuell situation

2.2.1.3 Regeringsprövning

När miljökonsekvensbeskrivningen och järnvägsutredningen är klara skickas utredningen på remiss. Sedan prövas tillåtligheten och projektet ställs ut för allmänhet och samråd sker. I projektet Ostlänken ska denna fas inledas 2008.

I och med att detta avsnitt i planeringen mest handlar om avstämning med regeringen, kommuner och intressegrupper och inte mycket om planering passar omloppsplanering inte någon del av den här fasen.

2.2.1.4 Järnvägsplan

Om regeringen godkänner utredningen bearbetas lösningen i detalj och en järnvägsplan framställs. Bredvid detaljplaneringen, projektering inklusive exakta markanspråk och genomförandeplanering ingår även en miljökonsekvensbeskrivning. Hänsyn tas till det som det koms fram till i samråden. Järnvägsplanen är förutsättningen för att byggandet få sättas igång. Banverket och länsstyrelsen måste fastställa planen tillsammans.

Järnvägsplanen handlar mest om byggandet och representation av det valda alternativet. Omloppsplaneringen kan dock också spela en roll. Till exempel kan intjänad restid pga. den valda infrastrukturen ge effekter i omloppen vilket kan leda till vinster i fordonsbehov och därmed innebära ekonomiska fördelar vilket gynnar samhällsekonomin. Så kan fördelarna visas på ett bra sätt. Ännu viktigare kan det dock vara att det tas hänsyn till fordonsomloppen inom projekteringen. I och med att trafikeringen planeras mer detaljerat i samband med järnvägsplanen kan även omloppsplanen utredas mer noggrant. I ett stort projekt som Ostlänken kan det vara viktigt att iaktta informationen som omloppsplaneringen levererar. Som resultat kan det inte bara visas hur många fordon som behövs, men även viktiga upplysningar om krav som ställs till infrastrukturen. Man får fram hur många tågset som ska ha uppehåll vid vilken station och hur länge, så att man vet ungefär hur stor kapacitet stationen måste uppvisa. Samma gäller för nätter och helger med lägre trafik, där man kan få fram hur många tågset som ungefär måste deponeras i närheten av vilken station så att man kan kontrollera om de bestående depåerna räcker till. Tar man hänsyn till faktorerna som enligt dispositionsplaneringen är viktiga kan man undvika att byggandet senare inte täcker behovet. Om en ny station ska byggas kan till exempel redan nu ses om det finns vettiga kopplingar mellan linjer som därför kräver t.ex. växlar för fordonsutbyte som man annars inte skulle tänka på. Samma gäller vägen till service- och underhållsfaciliteter som ska underlättas så mycket som möjligt. Utifrån restiden vet man dessutom ungefär om tågen på en speciell linje skulle kunna ha uppehåll på stationen vilket ger en stödpunkt i frågan hur viktigt det är att tågvändningen kan ske snabbt. Sådana frågor kan behandlas mer noggrant i det här steget än i tidigare skeden. Medan det i järnvägsutredningen kan vara från stor fördel att kunna bedöma behovet för depåer tack vare omloppsplaneringen, kan i järnvägsplanen redan tittas på vändspår och andra mer detaljerade frågor.

I och med att Banverket även måste bedriva investeringsplanering är fordonsdispositionsplanering naturligtvis också väldigt viktigt för att kunna uppskatta hur många tågset det behövs för alla tågtyper som ska sättas in.

2.2.1.5 Årlig planering - Tågplan

Banverket leverans skapar en årlig tidtabell för hela trafiken på det svenska järnvägsnätet som betecknas som "Tågplan". De ger ut en förfrågan med önsknings för de nya tidtabellerna till operatörerna. Dessa levererar förslag ungefär ett halvt år innan tidtabellen ska börja gälla. Efter Banverket och berörda har lämnat synpunkter, används tiden därefter för korrigeringar, utredning och detaljplanering. I tågplanen ingår även trafikprognoser, en resursanalys, prioriteringar för gods-/persontrafik samt för särskilda tågslag och/eller linjer och förbindelser. Även omlopps- och personalplanering samt underhållsplanering ingår.

Eftersom den konkreta tidtabellen bestäms i det här steget är även omloppsplanen den som ska användas i praktiken när tidtabellen gäller. Oftast är det så att tidtabellen bestäms först och alla andra planer bygger på den. Som det ska visas senare är sambandet mellan tidtabell och omlopps-, personal- och underhållsplan betydliga så att var och en kan ha inflytande på den andra och övergripande planering kan innebära förändringar som kan ha stor nytta.

I tågplanen bestäms de konkreta omloppen för tågen. Det vill säga att det optimala sättet för turernas fördelning på tågen bestäms med hänsyn till linjernas krav (t.ex. längd på tåget). Detta kopplas inte till ett speciellt tågset, men det anges hur det ska se ut. I planen ska det t.ex. anges att tåg A, som tar över första avgången kl. 06:05 på morgonen i Göteborg ska sammansättas av en motorvagn typ X, två mellanvagnar typ Y och en manövern vagn Z. Det måste även redan anges i vilken depå detta tågset måste stå till förfogande. Spårbeläggning samt

underhållsplaner ingår också redan i den här planen och även behovet för reservtåg borde det tas hänsyn till.

Tågplanen görs för ett år men är indelat i två perioder. När tågplanen börjar gälla i juni sker de största förändringarna, sedan görs även några, oftast mindre förändringar i december. Man kan alltså säga att den här typen av planering genomförs två gånger om året i järnvägstrafiken, dock oftast bara en gång intensivt med tanke på att förändringarna gör att arbetet blir större. I fall att speciella händelser uppträder kan det hända att den här planeringen delvis måste göras om vid andra tidpunkter också. Detta kan exempelvis vara inför en avspärrning av en delsträcka (t.ex. i samband med banarbete) som kräver förändringar i trafiken.

2.2.2 Kortsiktig planering

Kortsiktig planering handlar om att agera rätt på kort sikt. I och med att tågplanen anger trafikeringen långsiktigt behöver omloppen vanligtvis inte planeras på kort sikt. Behovet uppstår bara i speciella situationer. Vad händer om det saknas ett tågset i depå A eller om det bara finns fel typ? Fordon B måste tas in i verkstan och nu saknas det – finns det ett annat tågset som kan användas i stället? Avgången X är 30min för sen. Finns det en möjlighet att minska eller eliminera förseningen? All dessa frågor behöver snabba och vettiga beslut. Hur bra dem kan lösas beror dock också på den långsiktiga planeringen. Punktlighetsfrågan är till exempel viktig. Därför måste omloppen innehålla tillräckligt med buffert för att jämna ut förseningar. I kortsiktig planering är en möjlig åtgärd exempelvis att vända tåget vid möjlighet tidigare när man märker att förseningar inte kan jämnas ut för att komma i fas. Eftersom sådana ingrepp kräver följdåtgärder (t.ex. möjlighet för ersättningsbussar/bytesmöjlighet) så att även detta kräver vissa förutsättningar som måste ha tagits hänsyn till i långsiktig planering.

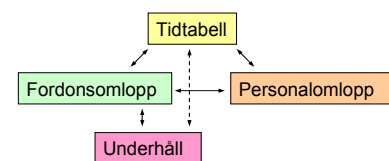
I kortsiktig planering ingår också en omplanering inför tillfälliga händelser. Detta kan exempelvis vara en avspärrning av en del av infrastrukturen. Det kan även hända att kapaciteten måste tillfälligt förstärkas på en viss linje så att längre tåg behövs som kanske just till denna tidpunkt inte behövs på en annan linje.

2.3 Samband mellan omloppsplanering och annan planering

Omloppsplanering påverkas av flera olika faktorer. Förutom infrastruktur och fordonstyper är det även faktorer som planeras precis innan eller efter ett omlopp för exempelvis en ny tidtabell tas fram. Dessa olika planeringssteg står i samverkan med varandra och ska tas upp här.

Som det beskrevs innan ligger **tidtabellsplaneringen** oftast först i processen när det gäller att skapa en ny tidtabell och planering av allt det som behövs för att kunna trafikera den. Enligt kundens önsknings skapas en lämplig turlista. Till den måste sedan tilldelas **fordon** och **personal**. Samtidigt måste även tas hänsyn till fordonens **underhållsbehov** (se Figur 10).

Det finns inga enhetliga regler vilken planering som måste genomföras först. Eftersom fordonsomloppen ställer helt annorlunda krav än personalomloppen är det svårt att genomföra de gemensam. Tågen behöver en viss tid för att vändas i stationen, lokföraren kan inte köra hur länge som helst utan måste ha en tillräckligt lång rast efter en bestämt tid osv.



Figur 10: Samband mellan olika sorters planering

Samtidigt måste hänsyn tas till att fordonen måste tas in för att underhålla de. Varje tågomlopp ska helst vara så att den passar exakt till en perfekt tjänsteplan och tvärtom och underhållsåtgärder ska vara nödvändiga precis när tågsetet tidtabellsberoende ändå har långt uppehåll vid en depå där dessa kan genomföras. Även tidtabellen passar perfekt in i de behoven som fordonen och personal ställer.

Att det precis beskrivna är ett drömscenario som skiljer sig i väldigt stor omfattning från verkligheten kan man tänka sig. Problemet att koordinera alla faktorer är väldigt svårt, men även oerhört viktigt. Förutom själva byggnaderna utgör personal och fordon de högsta kostnaderna. I driften utgör personalen till exempel cirka 70 % av kostnaderna som operatören har. För företagets ekonomi innebär det därmed stora fördelar om personalomloppen är effektiva så att det inte behövs använda onödiga resurser. Samma gäller för fordonen. Med tanke på investerings- och underhållskostnader är det väldigt lönsamt att spara in ett fordon.

Det här komplexa problemet är i de flesta fallen knappast lösbart utan datorprogram. I nästa avsnitt ska olika metoder och program för omloppsplanering beskrivas. Det ingår även en beskrivning på hur de andra planeringsstegen genomförs.

3 Exempel på metoder och program för omloppsplanering

Det här avsnittet handlar om metoder och program som kan användas för omloppsplanering. På Persontrafikmässan (19-21 oktober 2006 i Älvsjö) skaffades en översikt över program som kan användas för omloppsplanering. Genom vidare informationssökning på Internet och bland planerare togs det fram ytterligare information över dessa program. Dessutom genomfördes en undersökning bland planerare som arbetar med fordonsdisponering. Detta gjordes framför allt via intervjuer samt skriftligt informationsutbyte i form av enkät och e-mail.

3.1 Undersökning bland planerare

Undersökningen genomfördes under första halvåret 2007. Förfrågan riktades till olika operatörer i Sverige och utomlands. De företag som kontaktades var antingen intressanta i sig själv eller genom den programvara som de använder.

3.1.1 Företag som deltog

De fem företagen som var beredda att bjuda in mig för en intervju eller svara skriftligt på mina frågor ska beskrivas kort innan deras målsättningar och metoder visas.

Roslagståg bedriver trafiken på Roslagsbanan åt SL. Infrastrukturen består av 65 km spår och 39 stationer i nordöstra Stockholm och trafikeras med tre linjer.

RWA-Rail är en konsult som erbjuder service inom järnvägsplanering, prognoser, logistik och supply management, tidtabellsplanering, software och databas specifikation, prov och implementering såväl som transportforskning.

Swebus ”utvecklar, säljer och producerar kollektivtrafik på entreprenad åt Sveriges länstrafikbolag och står i dagsläget för cirka 30 % av de offentliga busstransporterna i landet.”² Linjetrafik är deras största arbetsområde. Åt Stockholms lokaltrafik (SL) kör de

² <http://www.swebus.se/index.asp?mainid=139&subid=0&subsubid=0>

busstrafiken i Södertälje, Bromma, Tyresö, Sigtuna, Upplands Väsby, Mälardöarna, Nacka/Värmdö, Huddinge/Botkyrka, samt Järfälla och Upplands Bro. Intervjun genomfördes med en planerare som är ansvarig för Stockholmsregionen och där speciellt för planering av busstrafik i Nacka/Värmdö.

DB Regio AG, Region Rhein/Neckar är operatören som bedriver regionalexpress-, regional- och pendeltågen i Rhein/Neckar-region (delar av Bundesländerna Hessen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg) i Tyskland.

Stockholmståg bedriver pendeltågstrafiken i Stockholm och är därmed operatör för de mest trafikerade järnvägslinjerna i Sverige.

3.1.2 Frågorna

Enkäten som användes som bas både för de skriftliga förfrågorna och intervjuerna finns i bilaga 1. Frågeformuläret översattes även till engelska och tyska och användes för kommunikation med operatörerna utomlands. Hänsyn togs till att ur sekretesskäll inte alla kunde svara på alla frågor.

Frågorna syftar främst på att utreda hur planeraren genomför omloppsplanering, varför de använder den valda metoden, hur de utnyttjar programmet/metoden och vad som är huvudsyftet med planeringen. Ändamålet var att analysera hur programmet/metoden fungerar och hur den används. Detta innebar även att kopplingsmöjligheter till andra program undersöktes och sambandet mellan omloppsplanering och annan planering i den speciella situationen efterfrågades. Dessutom innefattar enkäten även allmänna frågor till scenariot där metoden kommer till användningen så att en jämförelse mellan de olika metoderna i olika situationer blir möjligt.

3.1.3 Bakgrund för planeringen i de tillfrågade företagen

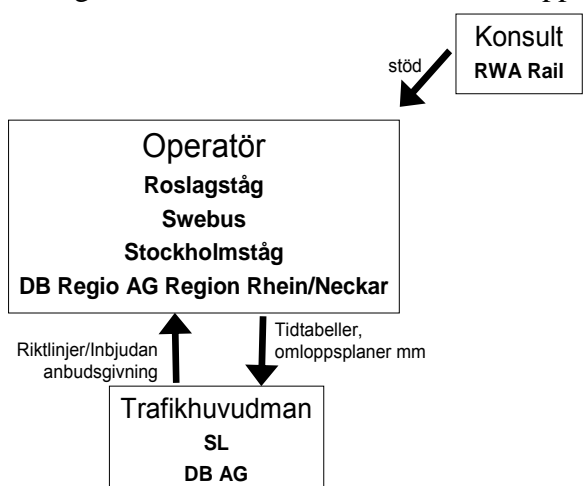
Innan resultaten redovisas steg för steg ska det först ges en översikt över storleken på trafik och infrastruktur som planerarna sysslar med. Därför ska infrastrukturens längd såväl som antalet använda fordon i de respektive systemen jämföras och företagets roll beskrivas.

Förutom den brittiska konsulten RWA-Rail arbetar alla deltagare som **operatör**. Stockholmståg, Roslagståg samt Swebus utför arbetet åt SL i Stockholm och DB Regio AG Region Rhein/Neckar åt Deutsche Bahn AG (DB) i Tyskland. Detta gör att de genomför omloppsplanering i ungefär samma planeringssteg, nämligen i samband med **planeringen av en ny tidtabell**. Kunden (DB eller SL) ger önskingar och riktlinjer för tidtabellen och operatören levererar som förslag en ungefärlig tidtabell flera månader innan den ska börja köras. Efter kunden och berörda (t.ex. kommunen) har lämnat synpunkter används de sista månader innan tidtabellens omsättning för utredning och detaljplanering. DB Regio AG och Stockholmståg använder samma program som i anknytning till den nya tidtabellen även i **trafikledningen**, dvs. för planering av den aktuella trafiken.

I samband med den första utredningen tas det knappast hänsyn till omloppsplanering. Det beror mestadels på att det oftast inte handlar om helt nya linjer eller sträckningar eller exempelvis stora förändringar på turtätheten, och att många aspekter gör att tiderna är låsta så att stora andelar av de gamla tidtabellerna inte ändras. Därmed sker inga stora förändringar i fordonsbehovet heller. Själva omloppsplanen måste dock naturligtvis göras om varje gång det ska komma ut en ny tidtabell. Då handlar det sedan om konkreta omloppen som ska köras och som baserar på den verkliga tidtabellen. Att göra denna planen redan i första steget (innan kunden och andra har lämnat synpunkter) är meningslöst därför att man kan räkna med förändringar i den preliminära tidtabellen som påverkar omloppet betydande.

I Stockholms lokaltrafik ges ut nya tidtabeller **två gånger om året**. Ovan beskrivna process genomförs därmed var sjätte månad av SLs operatörer. Oftast sker de största förändringarna till vintern vilket gör att planeringen i samband med den nya tidtabellen i sommaren inte kräver lika mycket arbete. DB's tidtabeller i Tyskland förnyas bara en gång om året. Förutom dessa regelbundna insatser kräver även tillfälliga förändringar såsom avstängning av delsträckor att operatörerna måste planera om fordonsinsatsen.

Trots att RWA-Rail arbetar som **konsult** och inte som operatör liksom de andra är arbetsområdena ganska lika när det handlar om omloppsplaner i och med att företaget erbjuder stöd för



operatörerna. RWA-Rail undersöker då oftast givna tidtabeller och tar fram en omloppsplan. Planerna görs oftast i samband med en franchisebudgivning där operatörerna framställer tidtabeller samt omloppsplaner för att vinna ett anbud. Detta kan innebära att operatören antingen får ersättning för gjorda arbetet eller att de även får köra trafiken. I och med att RWA-Rails arbete inte är kopplat till något speciellt projekt finns det inga bestämda tidsintervaller där omloppsplanering genomförs.

Figur 11 visar var i processen de olika parterna finns.

Figur 11: Planerarnas roll

Förutom **på lång- och medellång sikt** måste omloppen även planeras kortsiktigt. På Stockholmståg och DB Regio görs båda planeringar med samma verktyg. De andra operatörernas trafiklednings- och styrningsavdelningar däremot arbetar självständigt. RWA Rail har själv inte någonting med trafikstyrning att göra.

För att kunna jämföra planeringsmetoderna måste även **trafiksystemens omfattning** jämföras (Tabell 2). Med 848 km och 289 stationer är järnvägsnätet Region Rhein/Neckar störst. För att försörja de 32 linjerna använder de även mest fordon. Bara på de tre pendeltågslinjerna behövs 162 fordon. Även RWA-Rail sysslar med stora projekt där mellan 30 och 60 fordon fördelas över linjer som täcker totalt upp till 800 km i omkrets (IC-trafik) respektive i regionala nätet upp till 400. Pendeltågtrafiken i Stockholmsregionen når med sina två linjer bara 50 km i omkrets. Roslagstågets infrastruktur motsvarar bara en tredjedel av pendeltågsnätet trots att detta trafikeras med en linje mindre. Planeringsområdet Nacka/Värmdö som den tillfrågade planeraren behandlar är till ytan minst, men det har flest antal linjer. Då det i detta fall handlar om busstrafik i stället för tågtrafik kan systemen dock inte jämföras lika bra.

Roslagståg (operatör Roslagsbanan)	Swebus (operatör bussar Nacka/Värmdö, Stockholm)	RWA-Rail (konsult, GB)	DB Regio AG, Region Rhein/Neckar (operatör pendel- och re- gionaltågen Rhein/Neckar)	Stockholmståg (operatör Pendel- tågen Stockholm)
29 fordon 6,5 mil 3 linjer	50 linjer	30-60 fordon Regional: 20 mil omkrets IC: 40 mil omkrets	848 km 289 stationer 32 linjer	162 fordon 20 mil (5 mil omkrets) 2 linjer

Tabell 2: Sammanställning infrastruktur (som de olika planerarna arbetar med)

Väldigt viktigt för granskningen av de använda metoderna för respektive områden är även att hänsyn tas till **svårighetsnivåerna**. Bilaga 2 sammanställer alla trafiknät. Skillnaderna i omfattningen blir här ännu tydligare. Medan pendeltågens och Roslagsbanans nät är ganska överskådliga, blir det svårt att behålla översikten över nätet i region Rhein/Neckar och det visade bussnätet. Har man bara en linje som endast trafikerar mellan A och B gäller det i stort sett bara att kontrollera om man hinner köra avgången som följer direkt på ankomsten med ett och samma tågset och om situationen kan förbättras genom åtgärder som exempelvis justeringar i avgångstiderna. Lite större blir möjligheterna när flera linjer betraktas.

På Roslagsbanan slutar t.ex. alla linjer i Stockholm Östra. Eftersom det sätts in lika många tågset på alla linjer är det vettigt att kontrollera om det kan vara effektivare att byta fordon mellan linjerna, dvs. att fordon som körde första avgången på linje a ankommer till Stockholm Östra och tar över nästa avgång på linje b.

I Stockholms pendeltågstrafik däremot finns det inga gemensamma slutstationer vilket gör att utbyte mellan linjerna inte verkar meningsfullt. Här körs det dock betydligt fler tåg. Dessutom finns det i rusningstid avgångar som trafikerar kortare avsnitt som startar på en mellanstation på en linje och slutar på en station på andra linjen (t.ex. mellan Tumba (Södertälje-Märsta-linjen) och Jakobsberg (Nynäshamn-Bålsta-linjen)). Detta försvårar tågomloppen något i och med att tågen måste stå till förfogande ”mitt på sträckan” och bara under en period på morgonen och på eftermiddagen. Här blir det aktuellt att avväga om deponering eller tomkörningar är mest effektivt.

Ännu mer intressant blir det när man tittar på spårsystemet i region Rhein/Neckar. I motsats till de innan betraktade näten skiljer sig tågen här inte bara genom antalet vagnar, utan även genom tågtypen. Detta försvårar tågutbytet mellan linjerna. Systemet i sig blir mer komplext, omloppsplaneringen dock lite enklare eftersom man kan betrakta varje system för sig. Detta motsvarar planeringen som genomfördes i samband med arbetet ”Optimierung der Fahrzeugumläufe für das Projekt Ostlänken/Götalandsbanan”³ som är närmare beskrivet i kapitel 4.

Även vid planering av busstrafiken finns det olika krav för olika linjer och avgångar när det handlar om fordonsval. Och nätet är också väldigt komplext. En stor skillnad till den spårbundna trafiken är dessutom att det finns många fler möjligheter för fordonsutbyte mellan linjerna. Tågen är tvungna att använda de befintliga spåren vilket ibland gör det omöjligt att förflytta fordonet till en station som i fågelvägen ligger ganska nära. Bussar däremot kan använda nästan alla befintliga vägar vilket gör att tomkörningar i busstrafiken oftast är mycket effektivare än i tågtrafiken. Metoderna som kommer till användning för sådana uppgifter samt möjligheter och påverkan av olika faktorer behandlas senare.

Övriga aspekter som påverkar omloppsplaneringen såsom spårkapacitet och utlastning, turtätthet osv. anses vara mindre viktigt för den här jämförelsen och analysen av programmen och tas därför inte upp här.

3.2 Metoder och program

I samband med planerarnas svar ska nu program och metoder för omloppsplanering presenteras. Det ingår även en beskrivning av programmet som användes för fordonsplanering på Ost-

³ Optimering av fordonsomloppen i projektet Ostlänken/Götalandsbanan, december 2006

länken och Götalandsbanan. Dessutom ska det presenteras tre program som inte ingick i undersökningen bland planerarna.

3.2.1 Manuell planering

Principen för manuell planering är beskriven i inledande delen (kapitel 2.1.1). Denna metod används på **Roslagståg** vid planeringen av omloppen för Roslagsbanan.

Som visat är Roslagsbanans **trafiksystem** med sina tre linjer med Stockholm Östra som slutstation ganska överskådligt. Alla tågset inklusive reserver finns i Stockholm och även underhåll sker där. Alla tågset är likadana och består av tre vagnar. Enda skillnad görs vid några avgångar i rusningstiden när två tågset kopplas ihop för att skapa större kapacitet för resande.

Själva **metoden** är också ganska enkel: På en pappersutskrift av den grafiska tidtabellen planeras omloppen genom att rita in effektiva kopplingar med en penna, ungefär på så sätt som det visades i inledningen. Ibland används det flera olika färger för att behålla översikten. För att dokumentera omloppen överförs data i en exceltabell. Varje rad motsvarar ett tågset som består av motorvagn, mellanvagn och manövervagn. Alla tågnummer med avgångs- och ankomsttider samt extra uppgifter anges. En extraupplysning är t.ex. spårnumret eller informationen att tågsetet kör turen ihopkopplat med tågset Nr x och vilket av dem som ska vara först.

Den viktigaste **indatan**, tidtabellen, får trafikplaneraren från företagets tidtabellsverktyg som utvecklades av ÅF. Justeringar av tidtabellen pga. fördelar i omloppen görs sällan då förskjutningar oftast ur kapacitetsskäl inte är möjliga. **Utdata** utifrån omloppsplaneringen är exceltabellen som behövs för påföljande steg i processen och som t.ex. trafikledningen sedan använder för den konkreta planeringen med GTM. I samma skede som omloppsplaneringen genomförs även den långsiktiga personalplaneringen för de kommande sex månaderna. Roslagståg använder det danska systemet TRAPEZ där även löneberäkning ingår, själva disponeringen gör de dock manuellt. Omloppsplanerna är en viktig bas för denna planering. Underhållsplanering genomförs däremot inte av Roslagståg själv utan av Tågäga som även ansvarar för att de tåg som behövs är tillgängliga.

Den i samband med det här arbetet tillfrågade Lars-Henrik Larsson är en av **två planerare** som sysslar med omloppsplanering på Roslagståg. Det tar ungefär **en arbetsdag** att planera hela omloppet för en ny tidtabell.

Den manuella metoden används traditionellt på Roslagståg. Innan dagens tåg infördes var planeringen något svårare. Det fanns två olika typerns fordon som inte kunde blandas pga. olika prestanda. Dessutom kopplades tågseten i rusningstid på ett annat sätt då vilket gjorde att det måste tas hänsyn till åt vilket håll tågseten ska vara vända.

Förutom att dagens fordon underlättar omloppsplanering har det också visats att Roslagsbanans trafiksystem och trafikering är ganska enkla och översiktliga. Den manuella metoden räcker därmed till för att få fram ett rimligt omlopp inom kort tid. Stödande är även att tidtabellen inte brukar genomgå några större förändringar vid halvårsskiftet. Optimeringsmöjligheterna är små beroende på låsningar i tidtabellen så att det inte är troligt att man med hjälp av ett program skulle hitta bättre lösningar än manuellt. Även med tanke på tidsåtgången fungerar den manuella metoden i det här fallet utmärkt. En nackdel är dock att alla processer inom planeringen genomförs separat och med olika program. Dataöverföringarna mellan tidtabellsplaneringsprogrammet och omloppsplaneringen samt omloppsplaneringen och påföljande processer är ganska besvärliga och känsliga för fel. Ett program som omfattar flera planeringssteg skulle underlätta planeringen.

3.2.2 Fördelar med program

Förutom Roslagståg använder alla andra tillfrågade planerare program för att få fram omloppen. Här ska nu analyseras vilka för och nackdelar detta har.

I de flesta fall underlättar ett program planeringen. Redan i medelstora trafiksystem finns det otaliga möjligheter för personal- och fordonsinsättningar. Detta gör att det är svårt att hålla koll på dem och att arbeta fram den mest optimala lösningen. I programmen görs detta med hjälp av en algoritm. På så sätt är det lättare att hitta en effektiv lösning vilket leder till förbättrad resursanvändning.

Oftast tar själva inmatningen av indata den mesta tiden i planering med hjälp av ett program. Själva planeringen går sedan oftast snabbt. En stor fördel gentemot manuell planering är att små förändringar är lätta att mata in. Dessutom kan man testa olika scenarier utan att en större insats krävs. Det är förutom detta oftast möjligt att spara återkommande data såsom t.ex. tidsbehov för en speciell underhållsåtgärd, egenskaper hos tågtypen eller liknande. Planerar man manuellt måste dessa fakta arbetas in på nytt varje gång. En helt ny planering krävs vid förändring av små detaljer.

Då planering med programstöd varken är lika trög eller arbets- och tidsintensiv, är den i de flesta fallen mycket mer kostnadseffektiv.

En ytterligare fördel med att använda ett program är att digitala data kan överföras till andra program. På så sätt kan fel som uppstår vid manuellt överförning undvikas.

En nackdel vid användande av programvaror är att programmen oftast är utvecklade utanför planeringsföretaget. Detta gör att de inte är exakt anpassade till respektive behov. Oftast är det möjligt att be tillverkaren att infoga de önskade ändringarna, vilket dock innebär kostnader och tidsförlust. Planerar man manuellt kan man lättare anpassa metoden efter behovet.

3.2.3 DISPO

I **exemplet**, där omloppsplaneringen genomfördes för Ostlänken och Götalandsbanan, användes datorprogrammet DISPO. Med hjälp av DISPO kan omlopp samt underhåll planeras såväl i nutid som långsiktigt. Dispo har utvecklats av tyska Institut für Verkehrswesen, Eisenbahnbau und –betrieb (IVE mbH), ett institut på Universität Hannover. Utvecklarna arbetar ihop med företaget RmCon som också marknadsför RailSys, ett program för tidtabell- och infrastrukturmanagement. Förutom på grund av de fördelarna som DISPO ger valdes detta program därför att RailSys används i projekten Ostlänken och Götalandsbanan så att datautbyte skulle vara möjligt.

Planeringen som redovisas senare gjordes i samband med **järnvägsutredningen**, dvs. i ett mycket tidigare skede än när de tillfrågade planerarna genomför sin omloppsplanering. Även målen är olika: Medan de genomför planeringen främst för att ta fram en effektiv plan som ska köras, syftades i det nedan beskrivna arbetet bortsett från forskning angaende omloppsplanering mer på att uppskatta fordonsbehovet för den nya infrastrukturen.

Infrastrukturen i detta projekt ar i jämförelse till de andra ganska omfattande vilket ska visas senare. Användning av ett program för omloppsplaneringen hade därför fördelar.

Även **RWA-Rail** använder DISPO. Anledningen är ungefär samma: De planerar med RailSys så att DISPO som komplettering angaende fordonsinsats ligger nära till hands att använda.

Eftersom DISPO bara kan användas till omlopps- och tidtabellsplanering behövs det andra program och metoder för de andra stegen i planeringsprocessen. Som alla andra DISPO-användare användes DISPO såväl i exemplet som på RWA-Rail tillsammans med **RailSys**. En stor andel av **indatan** kan därmed enkelt importeras från projekt som byggdes upp och behandlades i detta program. Förutom tidtabellen handlar det även om infrastruktur och till viss mån fordonstyper. RWA-Rail har även en funktion för att importera redan färdiga tidtabeller som inte är i RailSys-format utan ifrån brittiska systemet TTeD. Ofta matar de också in data manuellt. Även i examensarbetet användes delvis importerat och delvis manuellt inmatat data.

Utdata ifrån DISPO är de färdiga omloppsplanerna (inklusive underhåll i fall denna planering ingick). I examensarbetet analyserades dessa data och fakta och bland annat fordonsbehovet sammanställdes. RWA-Rail använder data liksom Roslagståg för vidare planering, till exempel personalomloppen och ger omloppen vidare till operatörerna. Företaget har utvecklat en konverter som omvandlar resultatet från DISPO till text. Dessutom sammanställer även RWA-Rail en statistik som innehåller bland annat fordons-km per fordon och tågprestation. Redovisning sker även genom ett rolling stock diagram som visar statistik över allt spårtrafik.

Personalplanering stöds inte av DISPO. RWA-Rail gör detta med datorprogrammet TRACS, i examensarbetet genomfördes det inte alls. Varken RWA-Rail eller jag utnyttjade möjligheten att planera **underhåll** i DISPO. Detta beror på att omloppen bara planeras för en dag och underhållet, som antas ske på natten, därmed inte påverkar dessa. Hänsyn tas dock till enklare underhålls- och serviceåtgärder såsom exempelvis städning eller tankning som även genomförs under dagen. Återkoppling till tidtabellen med förändringar som gynnar omloppen genomförs sällan på RWA-Rail. I examensarbetet gjordes detta dock vid möjlighet.

Tidsåtgången för omloppsplaneringen beror naturligtvis mycket på projektets omfattning och på omfång av data som måste matas in manuellt. Enligt RWA-Rail tar arbetet med DISPO en halv till en dag om den mesta datan redan finns och kan importeras. I examensarbetet däremot måste mycket mer tid investeras i detta i och med att mycket indata måste utvecklas och inmatas i programmet innan beräkningar kunde genomföras. Även pga. analysen och optimeringen investerades mycket mer tid.

På grund av kopplingen till RailSys skapas en förbindelse mellan tidtabells- och omloppsplaneringen vilket minskar både insatsbehov och känslighet för fel. Det finns även ett program för trafikledning, men inte någon av dagens användare av DISPO arbetar med detta. Stöd för personalplanering finns inte med i utbudet av IVE respektive deras samarbetspartner RMCon. En nackdel är därmed att inte hela planeringsprocessen kan samordnas. Möjligheten att använda programmet för kortsiktig omloppsplanering och även aktuell trafikledning är inte stor i och med att det inte finns någon hantering av förseningar. Genom vidareutveckling som exempelvis RWA-Rails konverter är det möjligt att koppla de olika planeringsprocesserna effektivt ändå.

Att DISPO bara omfattar en del av hela planeringen har även fördelar. Man behöver inte betala för funktioner som inte används. Eftersom programmet fokuserar på ett speciellt område kan detta dessutom göras noggrannare här. Om omloppsplanering bara är en av flera funktioner i ett program behövs det mycket mer arbete för att anpassa och vidareutveckla programmet vilket kan minska kvaliteten på de olika delarna. För konsulter kan en lösning som DISPO även vara attraktiv om man vill utöka kompetensområdet på ett enkelt sätt.

En nackdel inom DISPOs funktionsutbud är att man inte kan planera spåranvändning. Förutom detta finns det ingen möjlighet att ange riktning vilket framför allt leder till problem när man kopplar ihop flera tågset. Programmet saknar för övrigt möjligheten att infoga turer från och till depån. På själva dispositionsprocessen finns det olika beräkningsmöjligheter (till exempel att tomkörningar ska undvikas), det saknas dock en funktion som syftar på att minska den passiva tiden, dvs. fordonens uppehållstid i stationen mellan körningar. Ett problem är också att det inte finns någon bra format för tidtabeller och även omloppsplanerna är svårexporterade. Detta gör att man själv måste utveckla ett bra sätt för att översända informationen till vidarebearbetning. Till och med tillbakaexport till RailSys är inte möjligt.

I DISPO görs omloppsplanerna i regel för en dag. Detta räcker oftast inte för att kunna infoga underhållsplanering därför att behovet för dessa uppstår i stort sett inte uppstår efter så kort tid. Att utvidga planeringen till flera dagar är möjligt, dock ganska krångligt och arbetsintensivt.

Varken Railize eller RWA-Rail arbetar operativt med trafikstyrning. DISPO skulle teoretiskt kunna användas också för denna del. Då det dock inte finns något verktyg som kan ta hand om förseningar är det tveksamt om trafikledning med hjälp av DISPO vore effektivt.

3.2.4 MB-rail

MB-rail marknadsförs av företaget IVU Traffic Technologies AG i Berlin. Programmet utvecklades utifrån MICROBUS som är marknadsledande inom dispositionsplanering för buss- trafik och anpassades till de speciella kraven som spårtrafik ställer. Förutom omloppsplanering ingår bland annat även tidtabells- och personalplanering i programmet.

Den stora skillnaden gentemot DISPO är därmed att programmet är väldigt omfattande i och med att alla stora delar i planeringsprocessen förenas. Trafiksystemen måste bara kodas en gång och överföring av data behövs inte. Allt från den långsiktiga planeringen till driftsplaneringen ingår, dvs. man kan också planera åtgärder vid exempelvis förseningar. Även realtidsinformation för resenärer kan skapas av programmet.

Av de tillfrågade operatörerna använder såväl **Stockholmståg** som **DB Regio AG, Region Rhein/Neckar** programmet MB-rail. Den sistnämnda operatören har även licens till Qbase vilket är det tillhörande ekonomi- och kvalitetskontrollsystemet. Ett motiv för att använda MB-rail på Stockholmståg var att programmet enligt deras uppgift vid upphandlingen 2005 var det enda som kunde hantera motorvagnståg. Citypendeln, som var operatör för de stockholmska pendeltågen innan Stockholmståg tog över, hade då precis infört programmet. Innan använde de flera ej integrerade delsystem.

Som sagt är nätet som den tyska operatören planerar mycket mer omfattande än pendeltågnätet i Stockholm som bara består av två linjer. Trots detta behövs det två personer för omloppsplaneringen inför en ny tidtabell och två till tre personer åt gången för den dagliga, operativa planeringen. Motsvarande **personalbehov** är därmed ännu större för DB Regio AG i Rhein/Neckar.

Eftersom programmet täcker hela processen används det så gott som fristående och nästan allt **indata** måste matas in manuellt. Pga. programmets omfattning behövs det inte exporteras mycket **utdata** heller i och med att själva systemet även används för trafikstyrning. Det finns dock undantag. På Stockholmståg importerar tidtabeller från TIPS som förvaltas av SJ. Anpassningar sker sedan dock i själva programmet. Dessutom används ett separat program för personalplaneringen i vilket data delvis importerar och delvis matas in manuellt. Underhåll av

fordonen sköts av inte av operatören själv utan av Euromaint. De har tillgång till MB-rail för att kunna ta ut information om fordonens rörelse samt producerade kilometer per fordon, arbetar dock själv inte med programmet utan med programmet FORD. I MB-rail markeras underhållet genom att fordonet tas ut ur trafik.

Även DB Regio AG, Region Rhein/Neckar använder andra datorprogram förutom MB-rail till och från vilka det sker ex- och import. Till skillnad mot Stockholmståg används dock även personalplaneringsmodulen i MB-rail.

En av programmets styrkor är att det är anpassat till tågtrafikens behov. Så ingår exempelvis delning och sammansättning av tågset i planeringsmöjligheterna. Presentationerna i programmet ska sammanställa informationen översiktligt. Detta är speciellt nödvändig för att möjliggöra snabba beslut i trafikledningen, dock även viktigt för åskådliggörande samt vidarebefordring av information till exempelvis tågpersonalen och resenärer.

3.2.5 HASTUS

Swebuss som enda bussoperatör bland de deltagande företagen använder datorprogrammet HASTUS av den kanadensiska tillverkaren GIRO Inc. Detta program är liksom ovan nämnda MIKROBUS välkänt bland specialisterna. Det innehåller moduler för personal- och omloppsplanering som bas för den dagliga driften. Det finns tilläggsverktyg för planering av nätet, trafikinformation för trafikanter och prestationstest.

I Sverige har Swebus cirka 50 planerare som arbetar med tidtabeller och omlopp för fordon och personal. Även planering i samband med anbud ingår i detta. Anledningen för användningen av HASTUS är att det behövs ett program som uppfyller kvalitetskraven och att konkurrenterna också använder detta program. Innan Swebus införde systemet arbetade de med liknande program som dock var mer primitiva.

Eftersom detta program är gjort för busstrafik finns det några skillnader till de ovan visade. Det handlar speciellt om vägar i nätet. Då bussarna inte är spårbundna finns det många fler möjligheter att förflytta dem från en station till en annan eller till eller från depån. I systemet definieras därför alla lämpliga rutter samt begränsningar (exempelvis i busslängd). Här är det därför ännu viktigare att alla busstyper är preciserade ganska noggrant. Detta är naturligtvis även viktigt för att programmet kan välja vilket fordon som kan sättas in på vilken linje och avgång som återigen också har sina speciella egenskaper (t.ex. ytan som står till förfogande för vändningen). I Stockholm skiljer man mellan blåa och röda bussar samt minst tre olika längder och t.ex. om det är etanoldrivna bussar eller inte.

Som beskrivits är det alltså ganska mycket **indata** som måste matas in manuellt. Förutom infrastruktur och busstyper gäller detta även regler och föreskrifter för personalen. På Swebus i Stockholm importeras tidtabellen ifrån SLs eget system. Programmen är kopplade och programmet ger även förslag på förändringar i denna som gynnar omloppen. Oftast är tidtabellerna dock låsta pga. externa faktorer.

Utdata från HASTUS går till Swebus eget program för ekonomi och uppföljning från driftavdelningen. Tidtabeller exporteras tillbaka till SLs system där de även används för online-reseplaneraren, tidtabeller vid hållplatser och liknande.

Förutom programmets bussspecifika egenskaper är det också en stor **fördel** att tjänste- och omloppsplanering samordnas. HASTUS disponerar inte bara varje del för sig utan ger också förslag på ändringar i en av planerna som gynnar den andra. I och med att även driftledningen

görs med samma program är det mycket enklare och snabbare att koordinera alla faktorer än om man måste infoga ändringar i andra delprogram först.

3.2.6 RailOpt

RailOpt är ett väldigt omfattande program som är jämförbart med HASTUS, men avsett för tågtrafik. Tyvärr fanns det ingen planerare som arbetar med programmet som var beredd att delta i den här undersökningen. Eftersom programmet är väldigt intressant ska det dock beskrivas här ändå. Programmet gjordes av Qnamic AG i Schweiz och marknadsförs av British Telecom även i Storbritannien. RailOpt utvecklades i samarbete med den schweiziska operatören **BLS Lötschbergbahn AG** med syfte att få ett program som kan användas över hela processen från idéstudie via offert, produktion och disposition till sluträkning. På Lötschbergbahn går det dagligen cirka 2000 avgångar som körs med omkring 120 lok. Nätet är med 60mil näst störst bland de ovan analyserade. Även SJ AB använder systemet.

Det här programmet möjliggör **samordning** av såväl kort- som långsiktig planering för utbud, personal, underhåll och fordonsomlopp. Även trafikledning samt uppföljning ingår. Därmed är RailOpt en databas som har verktyg för alla steg i järnvägsplanering samt drift. Olika anpassbara förslag utarbetas för att planeraren ska kunna välja det bästa.

Import och export av data (till exempel personal, fordon och infrastruktur är möjligt. BLS importerar infrastruktur och turer utifrån det schweiziska tidtabellssystemet Syfa och personal utifrån SAP HR. Ytterligare data som behövs infogas manuellt.

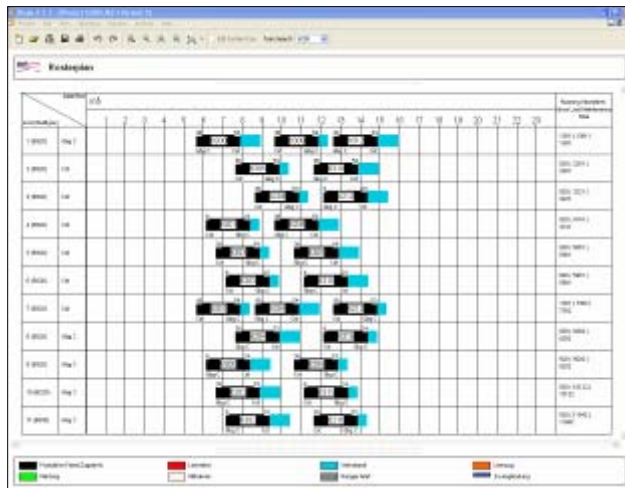
Själva **omloppsplaneringsdelen** innehåller förutom de vanliga verktygen även möjligheter att definiera turer från och till depån och föreslår standardtidsvärden för för-/efterberedelse av fordonen. För årsplanering indelas året i olika trafikeringsdagar. I detta program görs omloppsplanen vanligtvis för hela månaden vilket underlättar underhållsplaneringen i och med att behovet kan estimeras utifrån den planerade insatsen för varje fordon. Planer kan man få fram grafiskt och i tabellform vilket underlättar kommunikationen med samt information för personal och kunder.

I samband med trafikstyrningen jämförs aktuella data med planeringen så att planeraren kan reagera vid behov. Information vidarebefordras direkt till bland annat tågpersonalens datorer eftersom allt är ett enda system.

Trots att programmen verkar vara omfattande och genomtänkta innehåller de nackdelar. Tidigare antogs hypotesen att delmoduler i omfångsrika program i regel inte är lika utarbetade som om man köper ett program som bara sysslar med en specifik del. Jämför man tidtabells- och omloppsplaneringsmodulen i RailOpt med RailSys och DISPO kan man se att det bara delvis stämmer i det här fall-



let. Grafiken i omloppsplaneringsmodulerna är ganska snarlika, till exempel visas alla turer som körs med samma fordon i samma rad med horisontal tidsskala i båda programmen (se Figur 12). Möjligheterna i RailOpt verkar större än i DISPO, exempelvis eftersom det är enklare att planera för en längre tidsintervall, turer till och från depån kan beaktas samt att prov mot olika standardvärden kan genomföras. Även det i DISPO ingående underhållsplaneringsverktyget verkar vara primitivare än motsvarande i RailOpt. Jämför man tidtabellsmodulen med RailSys stämmer dock hypotesen i och med att den sistnämnda är mycket mer omfattande och noggrannare. Eftersom RailOpt inte användes och det inte fanns några informationer om programmets algoritmer var det inte möjligt att jämföra kvalitén på de resultat som programmen levererar.



Figur 12: Omloppsplan i RailOpt (till vänster) och DISPO (till höger)

3.2.7 PLANET

Även PLANET är ett program som kan användas för fordonsdispositionsplanering. Programmet är gjort av PLANit Sweden AB med syftet att möjliggöra en effektiv administration och fördelning av befintliga fordon i realtid. Även i detta fall gick det tyvärr inte att få tag i en ansvarig trafikplanerare som arbetar med programmet. I och med att programmet har ett något annat syfte än de tidigare beskrivna systemen i och med att det riktar sig mest till företag som erbjuder taxitjänster eller anropsstyrda persontransporter var det intressant att även inbegripa detta i undersökningen.

PLANET används av trafikoperatörer som t.ex. danska VästTur i Västra Själland, som erbjuder kollektivtrafik där resenären bokar via telefon eller Internet. Dessutom finns det företag som använder PLANET som delmodul bland andra funktioner i egenutvecklade system.

En betydande avvikelse till de andra betraktade programmen är beräkningsalgoritmen. Medan algoritmer i övriga program syftar till att exempelvis minska ståtiden på stationen, fordonsbehovet eller tomkörningar är den i PLANET kostnadsbaserad. I och med att planering av anropsstyrd trafik ska underlättas är huvudmålet att vid beställning av en resa hitta det fordon som på det mest effektiva sättet kan utföra resan. Här är snabba, lämpliga beslut viktiga som kräver ett utmärkt informationssystem som till exempel kan ange den korrekta positionen på alla fordon som skulle kunna användas. Den stora skillnaden till speciellt den spårbundna tågtrafiken är att fordonen kan förflyttas mycket enklare. Dessutom måste tidtabellen i tågtrafiken ur kapacitetsskäl vara förbestämd. För tågtrafik är det här programmet därför för avancerat angående information om fordonen och beställningar (som inte alls behövs för tågtrafiken). Även andra funktioner som t.ex. kontrollen om det kan tas emot fler bokningar är onödiga för tågtrafiken. Däremot saknas det saker som är bra att ha för tågtrafiken, som exempelvis möjligheten att ange och planera spårbeläggning eller kopplingar mellan tåg.

3.2.8 MOBILE-PLAN

MOBILE-PLAN är basen till flera delmoduler som marknadsförs av det tyska företaget Init. Det kan kompletteras med moduler för datamanagement, trafikledning, trafikundersökningar,

behovsstyrd trafik, depåmanagement, dynamisk trafikinformationssystem, statistik och utvärdering, rapportering och även biljettsystem.

I MOBILE-PLAN är tidtabells-, omlopps- och personalplanering kopplade. Det är därmed det enda program förutom RailOpt där dessa tre kan planeras i samverkan med varandra. Precis som i RailOpt verkar både omlopps- och personalplaneringen fungera bra, inom tidtabellsmodulen finns det dock inte alls lika många möjligheter som i exempelvis RailSys så att t.ex. kapacitetsstudier är inte möjliga att genomföra. Däremot har även MOBILE-PLAN en översiktlig grafik och möjligheten att skapa tidtabeller i olika format finns. Import och export från och till andra program är genomförbara. Programmet kan även ge information om den aktuella trafiksituationen så att det kan stödja trafikledningen. Dessutom kan man även få fram statistik.

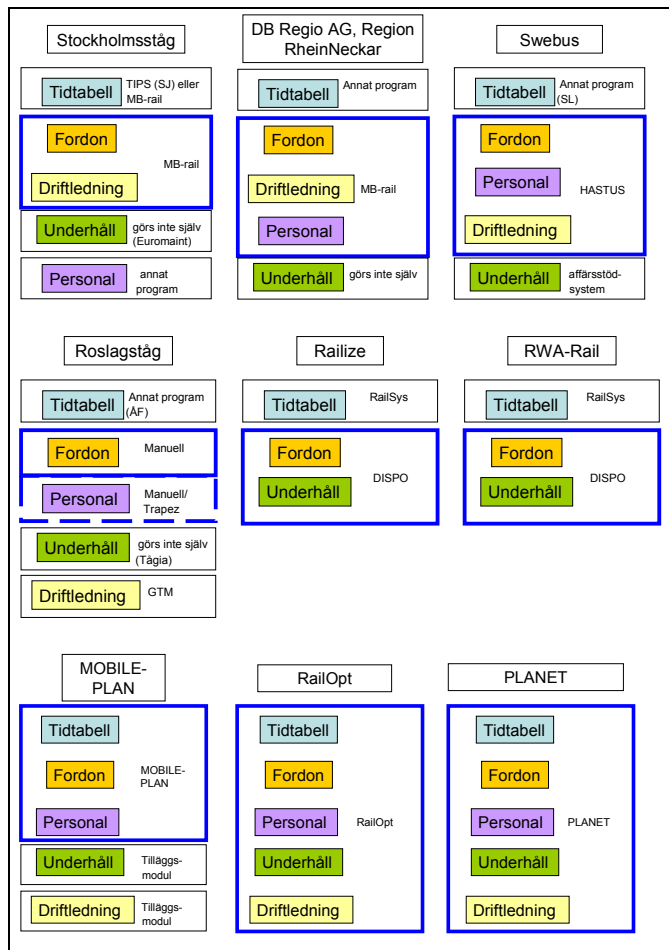
Den stora fördelen med det här systemet är att nästan allting kan göras i samma program så att dataöverföring inte behövs och i samband med detta uppstående fel kan undvikas. Modulkaraktären gör att det här programmet även har fördelar gentemot RailOpt i och med att några delmoment inte behöver köpas om de inte behövs.

Fördelar av själva omloppsplaneringen är att användaren kan välja mellan olika kriterier för omloppsplaneringen och att även turer från och till depåerna iakttas.

3.3 Resultat av undersökningen

Här ska nu resultaten på undersökningen sammanställas. Först ska metoderna och program samt deras egenskaper visas i jämförelse, sedan ska skillnaderna analyseras och bedömas.

3.3.1 Delar i planeringen som programmen täcker



Figur 13: Översikt planering företag/program

ordnat med fordonsdispositionsverktyget. Detta motsvarar systemuppbyggnaden av MOBILE-PLAN där ett huvudprogram kan upprustas med flera delmoduler för olika syften. I RailOpt och PLANET däremot finns alla funktioner samlade i ett enda program. PLANET är dock inte helt jämförbart med de andra programmen eftersom funktionerna är delvis helt anorlunda i och med att programmet är gjort för anropsstyrd trafik.

Intressant att se är att nästan alla program/företag lämnar underhållsplanering utanför omloppsplaneringen. Detta beror oftast på att de har en underleverantör som tar hand om underhållet och även planerar det. Detta är en källa till brister då dessa leverantörer oftast inte kan ha något inflytande på de övriga planeringsdelarna och anpassning som passar underhållsbehovet inte kan ske. Samtidigt syns det dock att personal- och fordonsomloppen oftast genomförs i samma program så att möjligheten för samordningen åtminstone är större där. En annan brist som syns är att tidtabellsplaneringen oftast inte ingår i samma system som omloppsplaneringen. På grund av detta och planerarnas svår kan det antas att det oftast inte sker några förändringar i tidtabellen som skulle kunna gynna omloppen. Även om det oftast inte är möjligt att ändra mycket i tidtabellen är det helt klart en brist om möjligheterna inte ens analyseras.

Eftersom kvalitén på respektive fordonsdispositionsmodulen i den här första sammanställningen inte kan visas, kan bara sambandet med de andra viktiga planeringsstegen bedömas. Därmed ligger de program som sammanfattar flest funktioner bäst till eftersom risken för dataförlust minskar när överföring mellan olika program inte behövs. Dessutom lär man sig hur pro-

Figur 13 sammanställer vilka program och metoder planerarna använder för vilken del i planeringen. Längst ner visas de tre programmen som ingen av de tillfrågade arbetar med men som analyserades pga. av deras värde för det här arbetet ändå.

Enligt illustrationen är det bara Roslagståg som använder fordonsdisponeringsmetoden uteslutande för detta ändamål. Även personalplaneringen görs av samma personer och till största delen manuellt så att man kan säga att planeringsmetoderna är samordnade ändå. På Stockholmståg, Swebus och DB Regio görs trafikstyrningen i samma program som fordonsplaneringen. Medan Stockholmståg använder ett annat program för personalplanering, är även denna del samordnad med de två förstnämnda på DB Regio AG och Swebus.

Tidtabellsplaneringen görs, bortsett från små ändringar, i andra program. På Railize och RWA-Rail används dock med RailSys ett program som är sam-

grammet är uppbyggt. Behandlar man flera delområden men i olika program med sina specifika egenskaper är det svårare att byta mellan programmen. Samma gäller om olika personer sysslar med olika delområden: Visar den ena någonting i ett helt annorlunda program är det oftast mycket svårare att förstår för den andra personen än om den arbetar med ett program eller en delmodul med helt andra funktioner men liknande sätt att fungera.

En stor fördel med samordnade moduler eller ett program som innehåller flera delområden i planeringen är att inflytande av förändringar på de andra kan förändras. Exempelvis är det i MB-rail möjligt att planera med all data samtidigt så att förändringar genast slår igenom i de andra modulerna också. Är man däremot tvungen att arbeta stegvis (som till exempel på Roslagståg) måste förändringar med påverkan på planering som gjordes i tidigare skeden införas i denna och bearbetas igen vilket kan medföra att ytterligare justeringar behövs.

En nackdel med att använda olika program som inte är speciellt gjorda för att användas ihop är att delaspekter som ingår i en del hos en tillverkare tillhör en annan del hos en annan producent. Detta gör att det kan hända att en funktion som exempelvis inte är med i omloppsplaneringsprogrammet därför att det är tänkt att genomföra detta steg i samband med en annan del av planeringen. Medan tillverkaren som tänker som beskrivit inte inbygga funktionen i ett annat program, har kanske den tillverkare som gjorde programmet som man använder andra åsikter så att man inte får denna funktion alls. Därför måste man vid användning av ej avstämda program vara ännu mer noggrann så att inga viktiga aspekter glöms bort.

Det är även lättare att lära sig en ny delmodul som fungerar på liknande sätt som en som man redan kan än ett helt nytt program. Däremot tar det mer tid att lära sig ett stort, omfattande program än att arbeta sig in i ett litet program som kanske bara behandlar ett delområde i planeringen och fel (t.ex. genom att man glömma att mata in en viktig faktor) kan uppstå lättare.

Fördelen med flera delmoduler som fungerar autonomt (t.ex. MOBILE_PLAN, DISPO) respektive olika program/arbetsmetoder (t.ex. Roslagståg) är att man kan välja ut vad som verkligen behövs och därmed spara pengar. Arbetar man med oberoende program kan man dessutom bestämma sig för det program som motsvarar behovet bäst. System som innehåller många verktyg är oftast dyra. Om arbetet med programmet är uppdelat i företaget så att bara några delar används av respektive medarbetare är det ekonomiskt mer lönsamt om det går att köpa licenser för delområden.

Alla de här betraktade arbetsmetoderna har därmed sina för- och nackdelar. I vilket fall som helst är det viktigt att samarbetet mellan de olika planeringsområdena fungerar och att man inte bara betraktar varje del för sig, utan även har en översikt över hela processen för att kunna komma på de mest effektiva lösningarna.

3.3.2 Jämförelse av omloppsplaneringsdelen i programmen

Valet av system beror naturligtvis inte bara på hur detta är uppbyggt eller hur delarna spelar ihop, utan inte minst viktigt är även hur bra själva modulerna passar det respektive behovet. Tabell 3 jämför programmen angående deras egenskaper och funktioner som är viktiga för fordonsomloppsplanering.

		DISPO	MB-rail	HASTUS	Mobile-plan	RailOpt	PLANET
Allmän information	Utvecklare	IVE	IVU	Giro	Init	Qnamic AG	PlanIt
	Användare	Railize Int. AB, RWA-Rail	DB Regio AG, Region Rhein/Neckar; Stockholmståg	Swebus	Kollektivtrafiks-företag	BLS Lötschbergbahn AG	Taxiföretag, anropsstyrd persontrafik
	Speciell för tåg-	Ja	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej

	trafik?						
Disponering tågtrafik	Möjligt att koppla/dela tågseten?	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja	Nej
	Spårbeläggning	Nej	Ja	Nej	?	Ja	Nej
	Transport mellan depå/insatsort	Nej	Ja	Ja	?	Ja	Ja
	Flerdagigt omlopp	Bara besvärligt	Ja	Ja	?	Ja	Nej
Statistik	Fordonsanvändning	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Jämförelse planering-realtitet	knappast	Ja	Ja	Med delmodul	Ja	Ja
Tekniska frågor	Dataimport	RailSys	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Dataexport	Delvis	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Präsentation	Inte bra	Bra	Bra	Bra	Bra	?
Annat				För busstrafik		Allt i ett program	För anropsstyrd trafik

Tabell 3: Jämförelse av programmen

Bara DISPO, MB-rail och RailOpt är speciellt **utvecklade för tågtrafik**. HASTUS är i första hand ett program för bussar, men används även för tunnelbane-, regional- och spårvagnstrafik. Även Init med programmet Mobile-plan har sina kunder bland olika sorters kollektivtrafiksföretag, även tågoperatörer. PLANET med sina verktyg för anropsstyrd persontrafik har däremot en helt annan målgrupp.

Detta gör att några **funktioner** som är viktiga **för tågtrafik** inte finns i alla program. En sådan är till exempel att kunna planera att tågseten kopplas ihop eller delas. Förutom HASTUS kan inget av de ej tågspecifika programmen ta hänsyn till det. Medans funktionen finns med i MB-rail och RailOpt, saknar den i DISPO. En annan intressant planeringsaspekt är spårbeläggningen. Möjligheten att planera och visa vilket spår fordonet ska använda finns bara i MB-rail och RailOpt. De andra programmen saknar antingen uppgifter om detta eller så har de inte funktionen. Denna planering måste då ingå i ett annat steg. Arbetar man till exempel med DISPO så genomförs spårtilldelning och kapacitetsanalysen i RailSys. Det är därmed ingen nackdel att funktionen inte finns med i DISPO utan att det undviker dubbelarbete. Även här syns det dock tydligt igen att koordinering mellan stegen är oundgänglig. En annan funktion som DISPO saknar saknas även i RailSys. Transporten mellan depå och insatsorten såväl på morgonen som på kvällen stödjer programmet inte. I alla andra undersökta program ingår denna tjänst med undantag av Mobile-plan där uppgiften saknas.

Bortsett från PLANET där den aktuella situationen och kundordern bestämmer trafiken är **långsiktig planering** väldigt viktig i alla program. Möjligheten att planera flerdagiga omlopp finns därför i alla system. I DISPO är det tyvärr besvärligt att bredda dygnstrafiken till flerdagstrafik. I RailOpt till exempel är det däremot till och med möjligt att göra hela årsplanering med hjälp av definiering av olika trafikdagar. Speciellt om fordonsdispositionsplanering är kopplad med underhålls- eller personalplanering är detta fördelaktigt därför att det möjliggör att planera in när personalen behöver en ledig dag eller när fordonet måste tas ut ur trafik för underhållsåtgärder och ersättas av ett annat. En sådan planering behöver dock mycket indata såsom till exempel tariffregler för personalen och exakta uppgifter om underhållsbehovet av fordon. Det beror helt på syftet med planeringen om en sådan exakt planering behövs. Syftar man bara på att förbättra omloppen räcker oftast en planering av en dag. Stora underhållsåtgärder genomförs oftast under natten så att de med några undantag inte behöver tas hänsyn till vid en sådan planering. Vill man däremot exempelvis planera tågsetens insats för en tidtabell som kommer att trafikeras precis som planerat och även veta exakt vilka fordon som måste vara var vilken dag räcker inte detta.

En **statistik** av den planerade trafiken kan man få i alla program. Detta kan till exempel vara hur många kilometer varje tågset tillryggalägger vilket är en viktig information för att kunna bestämma underhållsbehovet. Används programmet även för trafikledning är det ännu viktigare att jämföra planeringen med den verkliga trafiken. Angående tågakilometer är detta exempelvis väldigt essentiellt eftersom tåg inte har någon kilometerräknare. Att jämföra planeringen med realiteten hjälper också till att upptäcka och lösa problem. I PLANET, RailOpt och MB-rail medföljer en sådan statistik i realtid så att man kan reagera och genast styra om trafiken. För PLANET är det en av de viktigaste faktorerna eftersom huvudmålet är snabba beslut som är rätt. För Mobile-Plan kan det köpas till en delmodul för denna jämförelse. I HASTUS kan man bara få en sådan jämförelse efteråt. Den är speciellt anpassad för löneberäkning. Även i DISPO är det svårt att få fram en jämförelse mellan hur trafiken skulle se ut och hur den ser ut.

Tekniskt sett är det naturligtvis viktigt att systemet fungerar. Dessutom finns det egenskaper som kan underlätta arbetet. Det är dels sättet hur programmet fungerar, hur lätt det är att förstå funktionssättet och slutligen att det är användarvänligt i hanteringen. Programmets omfattning har redan analyserats tidigare. Hur lätthanterade själva verktygen är kunde tyvärr inte testas i det här arbetet då bara DISPO kunde användas i praktiken. Därför behandlades bara layouten och samspelet med andra program respektive import och export av data. De sistnämnda egenskaperna har alla undersökta program. Det fanns dock oftast inga uppgifter om formaten som data som ska importeras ska ha och till vilka program data kan exporteras. Detta kan dock i de flesta fall anpassas av programmets tillverkare. Så svarade till exempel nästan alla de tillfrågade operatörerna att import och export till kundens tidtabellsystem är möjligt. Några svagpunkter i denna punkt har DISPO där import från RailSys är möjligt, dock inte ifrån något annat program. Även exportdataformaten är få i detta program. Dessutom finns det bara ett tidtabells- och omloppsplansformat. Med de andra programmen utom PLANET har man däremot möjligheten att producera olika slags dokument och skicka information direkt till onlineinformationstjänster eller framställa planer för personal och trafikanter både grafiskt och i tabellform.

3.3.3 Sammanfattning av undersökningen

Programmen och deras för- och nackdelar har nu presenterats, analyserats och jämförts. Det var intressant att se hur programmen som är specifika för tågtrafik skiljer sig åt gentemot de som är mer generella respektive de för busstrafik eller anropsstyrd trafik. Samma gäller för skillnaden mellan omfattande program för hela planeringsprocessen gentemot sådana som bara behandlar delar av planeringen. Det visades även på vilket sätt några program är mer omfattande än andra även när det gäller omloppsplaneringen specifikt.

Det visades att alla system har för- och nackdelar. Testa man programmen kan man säkert hitta ännu fler problem eller förtjänster vilka inte kunde tas upp här. Man kan inte säga vilket program eller vilken metod som är lämpligast därför att detta beror alltid på syftet och när i planeringsprocessen det ska användas. Utslagsgivande kriterier är den önskade noggrannheten som behövs, vilka delmoment i planeringen som ska behandlas samtidigt, vilka andra program som redan används i företaget och vilka resurser som är tillgängliga. En enhetslösning för vilket omloppsplaneringsprogram som är bäst för alla företag finns det alltså inte. Ett program kan oftast hjälpa till att spara in mycket tid, arbete och pengar, exemplet Roslagståg visade dock att även den manuella metoden kan ge effektiva resultat om trafiken inte är komplex. Det gäller dock för alla planerare att vara öppen för förändringar så att man inte missar de fördelar som en förändring i omloppsplanering kan ge. Och en sådan lösning är oftast bara att hitta genom en lämplig algoritm i ett program.

4 Tillämpning på Götalandsbanan/Ostlänken

Det här kapitlet sammanfattar resultaten som gjordes i arbetet ”Optimierung der Fahrzeugumläufe für das Projekt Ostlänken/Götalandsbanan”. Detta arbete utredde fordonsbehovet för den planerade trafiken på den nya järnvägsinfrastrukturen inom de tre alternativen

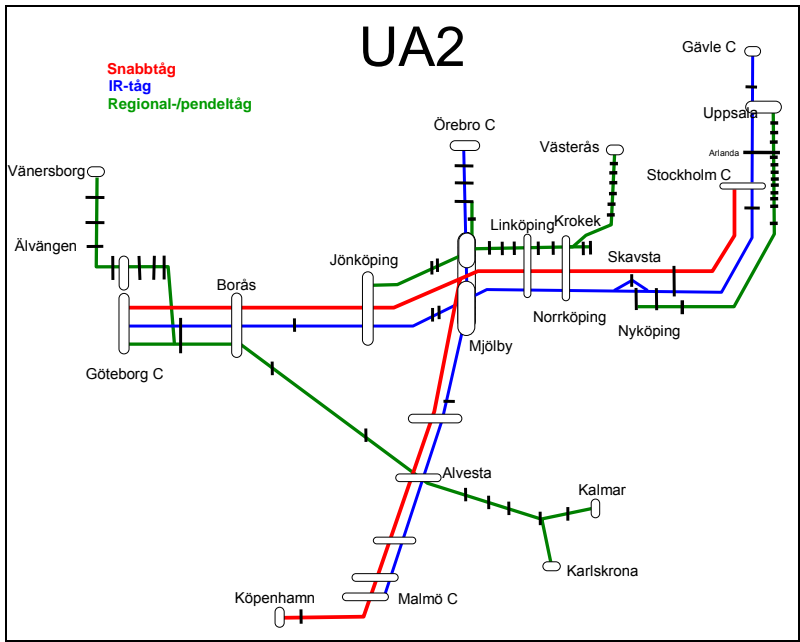
- UA2: Götalandsbanan (som utgår ifrån bygget av hela banan)
- UA1: Ostlänken (där bara Ostlänken, dvs. sträckan mellan Järna och Linköping, ska byggas och anpassningar till övriga nätet görs enligt jämförelsealternativet JA)
- JA: Jämförelsealternativet som baserar på dagens situation (med hänsyn till förändrade villkorar pga. befolkningstillväxt osv.)

Syftet med arbetet var att utreda resursbehovet för att skapa indata till en samhällsekonomisk kalkyl. Detta gjordes i samband med järnvägsutredningen i projektet Ostlänken och ska bidra med viktigt information till efterföljande tillåtlighetsprövning hos regeringen.

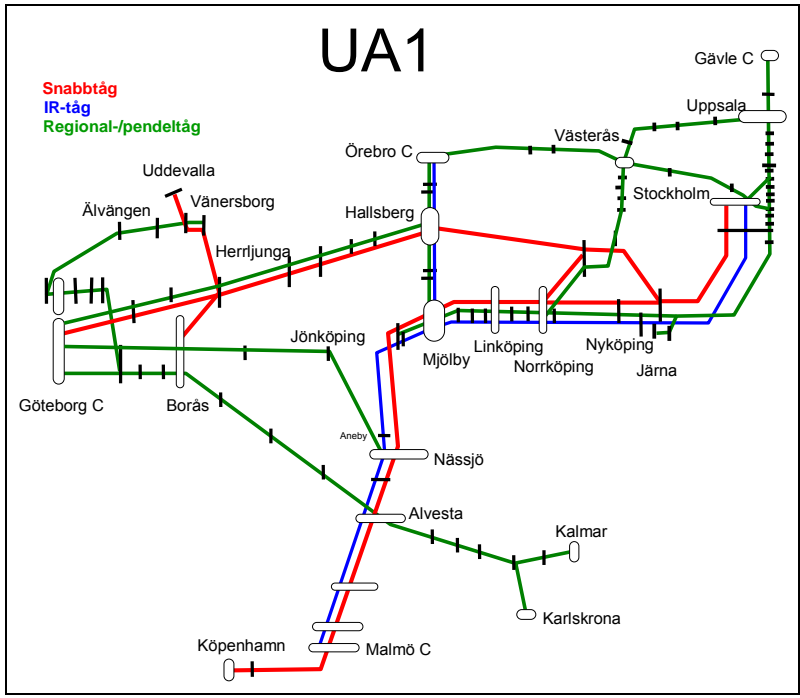
Basdata för resursanalysen togs ifrån det preliminära beslutet som fattades i tidigare utredningar. Detta omfattar framförallt trafikeringssätt, infrastrukturens utsträckning, turtäthet och fordonstyper.

Huvudmål var att optimera fordonsinsatsen och ta fram fordonsbehovet. Detta innebar även att tidtabeller behövde skapas. Genom jämförelse av förhållandet mellan fordonsbehov och utbud kunde också för- och nackdelar på de tre alternativ urskiljas. Alla linjer som drabbas av infrastrukturförändringarna som bygget av Götalandsbanan innebär ska betraktas. I UA2 är det alla linjer som ska trafikera Götalandsbanan delvis eller helt. I de andra två alternativen är det alla motsvarande linjer. Såväl höghastighets-, IR- och regionalståglinjer ingår. De tre betraktade system visas i Figur 14, Figur 15 och Figur 16.

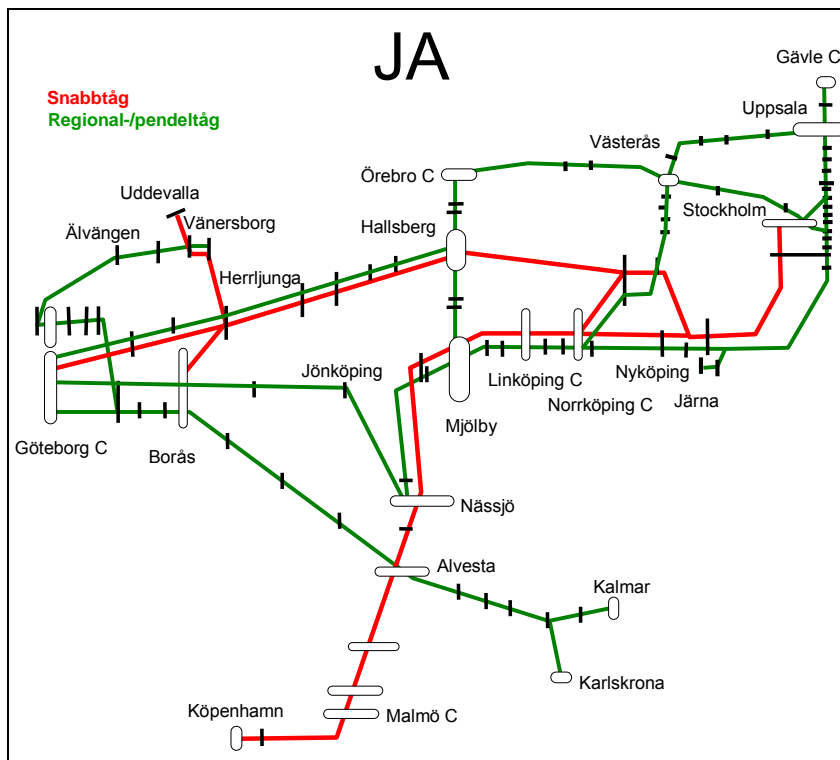
Omloppsplaneringen genomfördes med hjälp av datorprogrammet DISPO. I ovan nämnda arbetet användes version 1.8.6. I samband med det här arbetet uppdaterades alla utredningar till den aktuella versionen 2.1.2 (februari 2007).



Figur 14:
Schema trafiksystem UA2



Figur 15:
Schema trafiksystem UA1



Figur 16:
Schema trafiksystem JA

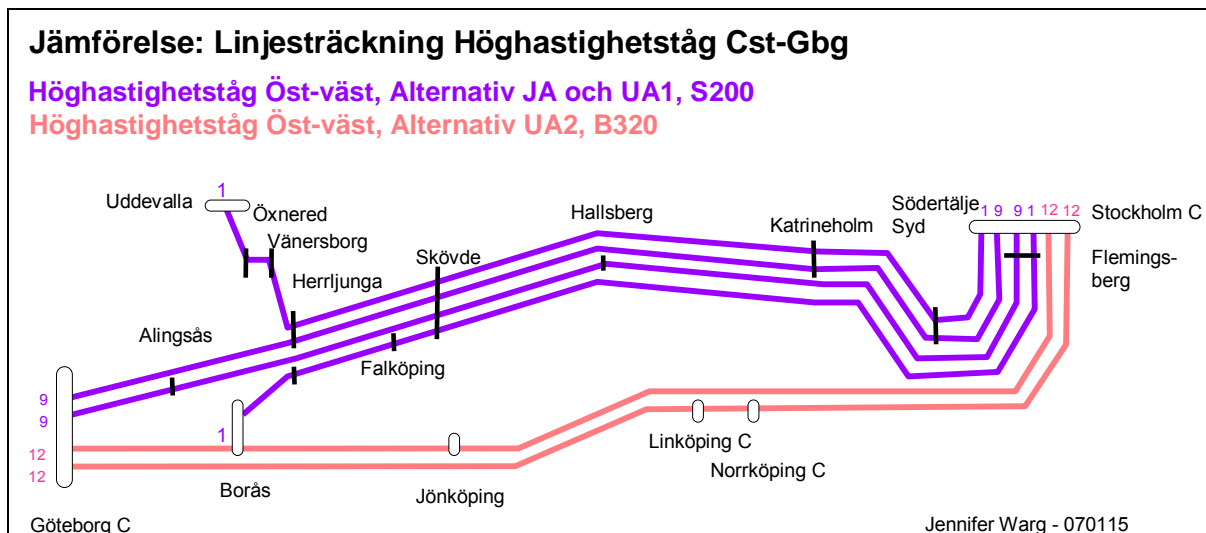
4.1 Höghastighetståg

Höghastighetståg används bara på den betraktade infrastrukturen på sträckan Stockholm-Göteborg respektive Stockholm-Malmö/Köpenhamn. Dessutom finns det i några alternativ tre linjer med endast en avgång per dag och riktning som förbinder Jönköping, Borås och Uddevalla med Stockholm. De södergående linjerna (Stockholm-Köpenhamn/Malmö/Jönköping) ska trafikeras med samma fordon i alla tre alternativen. Detta ska vara av typ S250, dvs. ett tåg som kan köra med ca 25 % överhastighet i kurvor (=S) och har 250 km/h som maxhastighet.

Trafikeringen på de andra höghastighetslinjerna skiljer sig däremot betydligt. I alternativ Götalandsbanan ska linjerna gå på den nya infrastrukturen och nya, snabba fordon (B320) planeras att användas, medan det ska sättas in S200-tåg på Västra Stambanan som anslutning av Stockholm med Göteborg/Borås/Uddevalla i JA och UA1. Det vill säga att tåg med 10 % överhastighet i kurvor och 320 km/h maxhastighet ska användas på den nya infrastrukturen jämförd med ett med 25 % överhastighet och 200 km/h på befintlig infrastruktur.

4.1.1 Linjer 6002-6005 mellan Göteborg och Stockholm

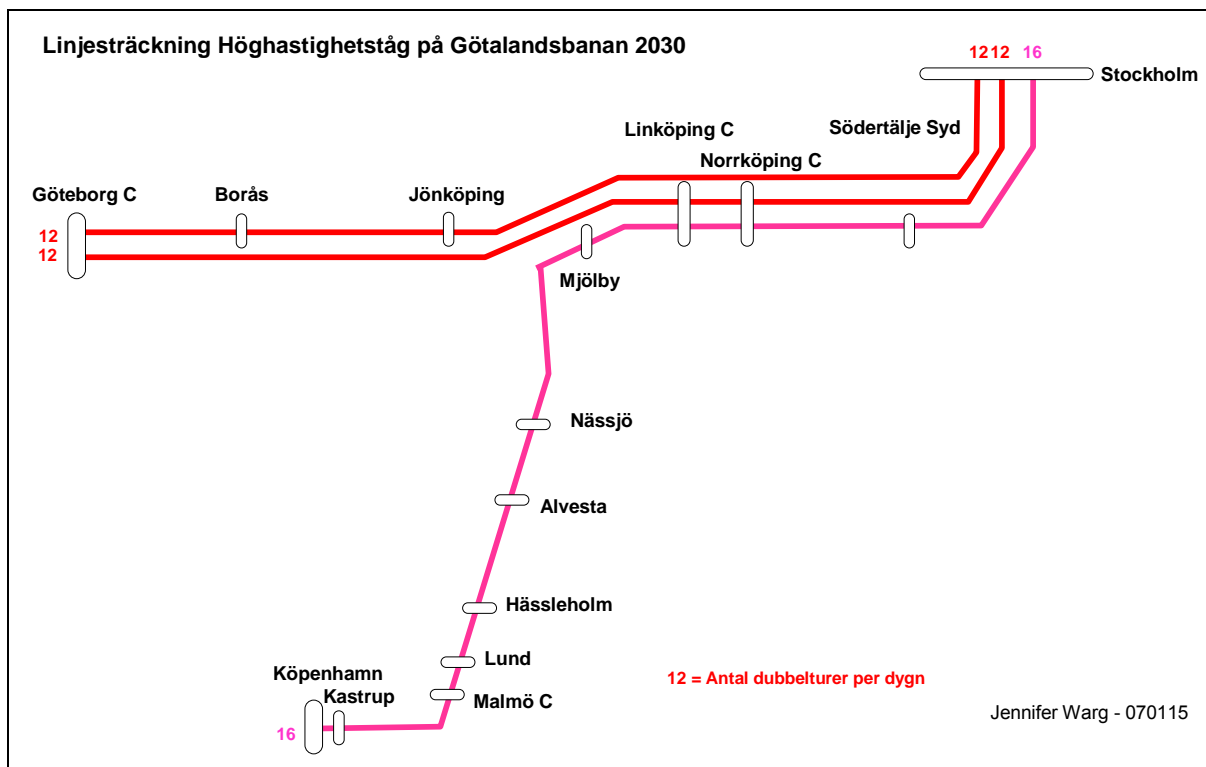
Figur 17 visar de från Stockholm västergående snabbtågslinjerna i de tre alternativen. Linjerna i UA2 trafikerar den nya Götalandsbanan, medan de i alternativ JA och UA1 använder den bestående infrastrukturen (Västra Stambanan) som färdväg. Numret på slutet av varje linje beskriver antalet dubbelturer som planeras för en vardag. Som **dubbeltur** (dbt) betecknas en avgång i respektive riktning, dvs. nio dbt mellan Stockholm och Göteborg motsvarar nio avgångar från och nio avgångar till Göteborg/Stockholm, totalt alltså 18 turer om dagen.



Figur 17: Jämförelse: Höghastighetslinjer Cst-Gbg

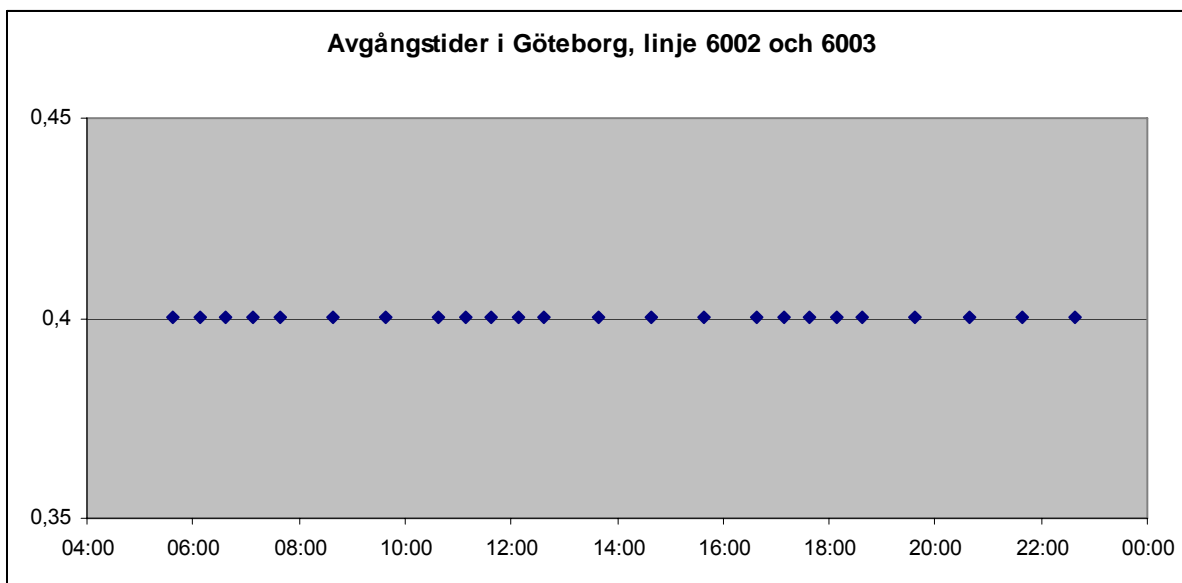
4.1.1.1 UA2

Figur 18 visar alla höghastighetslinjer som planeras i alternativ UA2, dvs. förutom de här betraktade linjerna till Göteborg (i röd) även de som går söderut (i magenta). Eftersom olika fordon används genomfördes omllopsplaneringen separat. Linje 8001 (Stockholm-Malmö/Köpenhamn, magenta) behandlas i avsnitt 4.1.2.



Figur 18: Linjenät höghastighetståg alternativ UA2

Linjerna 6002 och 6003 trafikerar samma sträcka och har liknande restider, uppehållsmönstret, dvs. stationerna där tågen på respektive linje stannar, skiljer sig dock. Därför ska tidtabellen vara styv för dessa linjer vilket betyder att de ska gå med jämna mellanrum. Tidtabellen togs fram baserade på data utifrån RailSys och metoder som beskrivs i avsnitt 5 och finns i bilaga 3.

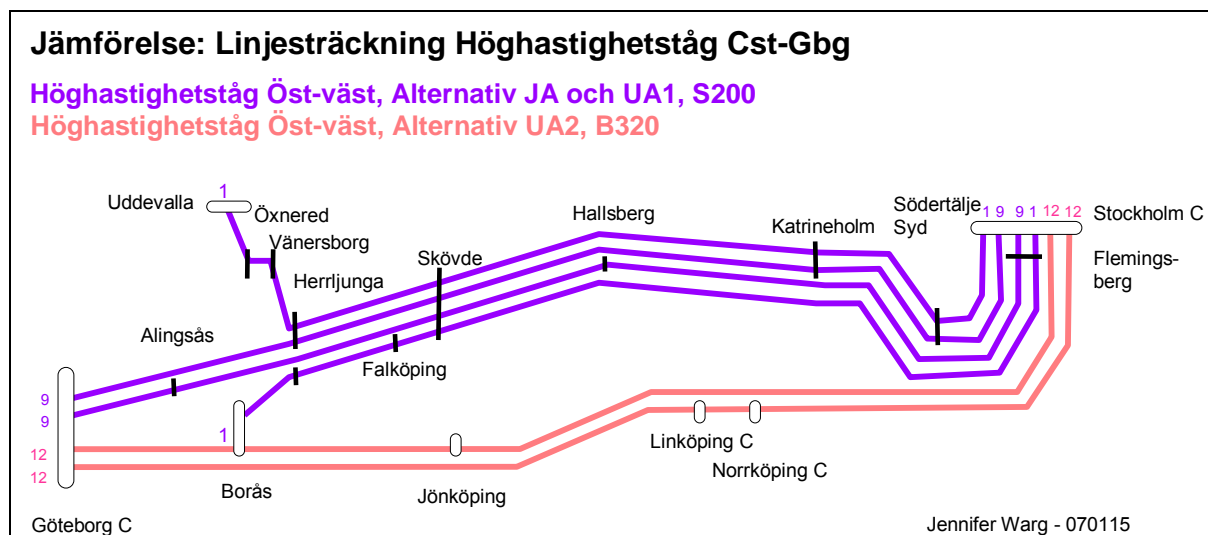


Figur 19: Avgångstider Göteborg (linjer 6002 och 6003 mot Stockholm)

Figur 19 visar fördelningen av avgångarna grafiskt. I det här fallet valdes tre perioder med halvtimmestrafik. Det är lämpligt för de här linjerna som förbinder Stockholm och Göteborg. Jämfört med två rusningsperioder underlättar ett sådant utbud framför allt att tjänsteresenärer ta sig hem efter ett möte på förmiddagen respektive till ett som börjar på eftermiddagen. Dessutom kan trafikanterna utnyttja restiden för lunchrast. Lika viktigt är dock att även fordonsanvändningen är effektiv med den här tidtabellen. Insatstågen på morgonen står inte stilla tills de kan köras i eftermiddagsrusningen, utan kan även användas i den tredje perioden med tätare avgångar. En åtgärd som kan ge extra besparingar i fordonsbehovet är att minska **vändtiden**. Som vändtid betecknas den tiden som anses vara optimal mellan fordonets ankomst i slutstationen och nästa avgång. I den ingår det tiden det tar att vända tågsetet inkl. omkopplingar i fall det är nödvändigt, men även tid för serviceåtgärder och för utjämning av eventuella förseningar. I utredningsarbetet bestämdes ett ungefärligt värde för den maximala vändtiden som sedan i optimeringsarbetet ibland anpassades. I det här exemplet ansågs till en början 60 minuter lämpliga som minsta vändtid i Stockholm. I samband med optimeringsarbetet kom man fram till att en minskad vändtid i Stockholm (44 i stället för 60 minuter) tillsammans med ovan beskrivna ändring ger att fordonsbehovet minskas till tio fordon. Detta är fyra fordon mer än vid timmestrafik, men även tre mindre än vid konstant halvtimmestrafik respektive en oanpassad tidtabell med förtätning i rusningstid. Vändtidförkortningen är genomförbar då den minsta vändtiden enligt omloppsplanen högst utnyttjas två gånger om dagen av varje fordon, då restiden kommer att vara kortare än idag och då tidsutnyttjande kan förbättras genom åtgärder inom service- eller vändningsprocessen.

4.1.1.2 UA1 och JA

I utredningsalternativet 1 trafikeras sträckan på samma sätt som idag respektive i JA med X2000 på Västra Stambanan.



Figur 20: Jämförelse av linjenätet av höghastighetstågen

Inkluderar man de två dagliga direktförbindelserna mellan Stockholm och Uddevalla respektive Borås är utbudet ganska likt det i UA2. I samråd med befogade planerare på Railize sattes turtätheten i rusningstiden från 1,5 dubbelturer per timme och riktning på bägge linjerna mellan Stockholm och Göteborg ner till en dubbeltur per timme och riktning. Detta gjordes dels för att säkerställa regelbundna avgångstider, men dels även för att undvika för koncentrerad trafik som leder till att det inte finns några avgångar på kvällen. Dessutom kan banans kapacitet utnyttjas bättre på detta sätt.

Avgångstiderna bestämdes baserade på dagens tidtabell. Då den beräknade restiden för de två alternativen år 2030 är fem minuter längre än dagens restid, flyttas avgångstiden och ankomsttiden i Stockholm med samma tidsintervall. Som i alternativ GB antas även här att avgångarna på linjerna mellan Stockholm och Göteborg är utbytbara så att övergångarna mellan hög- och lågtrafik är enklare att lösa. Utredningsarbetet gav att det är mest lönsamt att även lägga in avgångarna till/från Borås och Uddevalla i schemat för de vanliga avgångarna. Därigenom kan minst ett tågset sparas.

Idag avgår första tåget kl. 05:37 från Stockholm med ankomst kl. 08:55 i Stockholm. För att möjliggöra att Stockholm kan nå innan kl. 09, planeras i det här fallet att första snabbtågförbindelse ska avgår kl. 05:12 i Göteborg (ankomst 8:19 i Stockholm). Andra riktningen planerades på motsvarande sätt. Sista avgången ska ske rund kl. 20. Bilagorna 5 och 6 visar tidtabellen respektive omloppsplanen.

4.1.1.3 Jämförelse snabbtåglinjer från Stockholm västerut

Förutom de ovan beskrivna trafiksystemen ska även den aktuella trafikeringen betraktas. Tabell 4 visar utbudet. Förutom beteckningen på alternativ, fordonstyp och linje samt slutstationerna anges antalet dubbelturer per dygn (vardag) och maxtimme samt antalet stationer som trafikeras inklusive start och slutstation. Dessutom anges turlängden samt tidtabellstid tdt vilken anger tiden per tur inklusive uppehållstider på mellanliggande stationer men utan tid före avgången vid startstation respektive efter ankomsten på slutstation. Den totala sträckan och körtiden som tillryggaläggs på en vardag har också beräknats. Senare visas även relativa värden.

Utbudet i den här jämförelsen är störst inom alternativet UA2, där dock den totala tidtabellstiden är minst. Detta visar effekten av insatsen av det nya fordonet som kan nå högre hastigheter än det gamla. Samtidigt påverkar även det till hälften minskade antalet stationer.

Alternativ	Fordons- typ	Linje		dbt	dbt/ max h	Antal stationer	km/tur	tdt (h)	km total	tdt total (h)
UA2	B320	6002	Cst- Gbg	12	1	4	460	02:15	11040	54:00:00
		6003	Cst- Gbg	12	1	4	460	02:16	11040	54:24:00
			total⁴	24	2	6	460,00	02:15	22080	108:24:00
JA/UA1	S200	6002	Cst- Gbg	9	1	6	455	03:07	8190	56:06:00
		6003	Cst- Gbg	9	1	6	455	03:07	8190	56:06:00
		6004	Cst-Bs	1	-	6	417	03:15	834	6:30:00
		6005	Cst- Udde	1	-	6	466	03:38	932	7:16:00
			total	20	2	13	453,65	03:08	18146	125:58:00
Idag	S200	6002	Cst- Gbg	15	1	4,9 ⁵	455	03:02	13650	91:00:00
		6003	Gbg- Hal	1	1	3	258	01:58	516	3:56:00
		6004	Cst-Bs	1	-	7,5	417	03:15	834	6:30:00
		6005	Cst- Udde	1	-	6	466	03:38	932	7:16:00
			total	18	3	13	442,56	03:01	15932	108:42:00

Tabell 4: Jämförelse utbud höghastighetslinjer Stockholm-Göteborg/Borås/Uddevalla

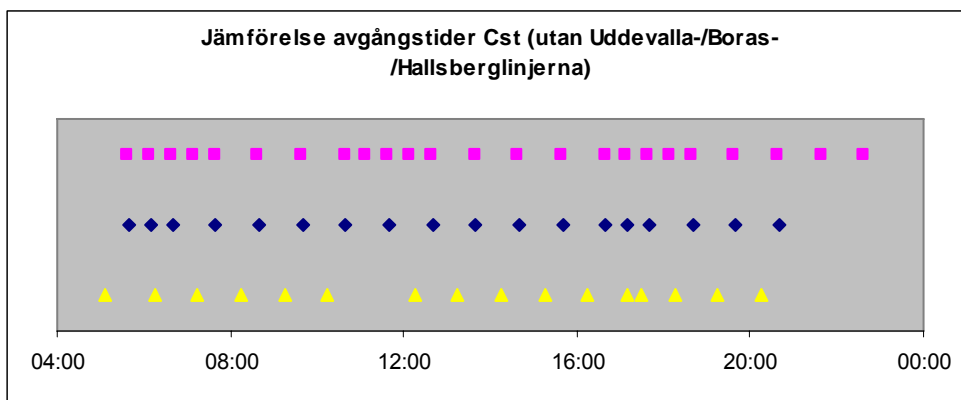
	km/tur	h/tur	km/h	stationer/tur	Frekvens vid varje station
UA2	460,00	02:15	203,69	4	0,8 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,5. tur)
JA/UA1	453,65	03:08	144,05	6	0,46 ggr per tur (=stationen trafikeras var 2,2. tur)
Idag	442,56	03:01	146,57	5	0,38 ggr per tur (=stationen trafikeras var 2,6. tur)

Tabell 5: Jämförelse: genomsnittlig längd/tur, hastighet, restid, antal stationer som trafikeras per tur

Tabell 5 gör restidsskillnaden ännu tydligare. Intressant är att såväl restiden som sträcklängden är längre i JA och UA1 än idag. Detta beror på att linjerna och deras trafikering är olika i alternativen och andelen av resor mellan Stockholm-Göteborg.

⁴ Anger det totala antalet resor per dag och i maxtimmen såväl som antalet anslutande stationer, medelvärden på restid och sträcklängd och det totala antalet kilometer och tidtabellstimmar.

⁵ Inget heltal eftersom medelvärde (omfattar linjer med olika antal uppehåll)



Figur 21: Jämförelse avgångstider Stockholm (längst upp UA2, sedan JA/UA1 och idag)

Figur 21 visar avgångsfördelningen över dagen för de tre olika alternativen. Förutom mycket attraktivare restider visas att utbudet i UA2 även är fördelaktigt tack vare tidigare ankomst-möjligheter på morgonen samt senare avresemöjligheter på kvällen med ändå acceptabla av-gångs-/ankomsttider. Detta blir även tydligt i Tabell 6:

Alternativ	Första avgång	Sista avgång
UA2	5:38-7:23 Gbg-Cst	22:38-0:24 Gbg-Cst
JA/UA1	5:12-8:19 Gbg-Cst	20:40-23:47 Cst-Gbg
Idag	5:37-8:55 Gbg-Cst	20:42-23:50 Gbg-Cst

Tabell 6: Första respektive sista tur på en vardag

Betraktar man fordonsbehovet (Tabell 7) ser man också här en kraftig fördel i alternativ UA2. Ett fordon kan i genomsnitt sättas in för en totalt sett mycket längre sträcka per dag och trots fler turer och därmed längre vändtid användas för fler tidtabellstimmar.

Alternativ	Dbt	Antal fordon	km/forдон	tdt/forдон	turer/forдон	stopps/tur	stopps/forдон
UA2	24	10	2208,00	10:50:24	4,8	4	19,2
JA/UA1	20	12	1512,17	10:29:50	4	6	24
Idag	18	12	1327,67	9:03:30	3,6	5	18

Tabell 7: Jämförelse angående fordonsbehov

Även angående kostnader i drift visar sig klara fördelar med alternativ GB jämförd med de andra (Tabell 8 och Tabell 9). Beräkningarna baserar på kostnaderna i bilaga 7.

Alternativ	Driftkostnader (SEK)	Fordonskostnader (SEK)	Totalkostnader (SEK)
UA2	158 914,40	530 173,60	689 088,00
JA/UA1	760 738,45	332 434,47	1 093 172,92
Idag	660 129,64	289 230,90	949 360,54

Tabell 8: Totalkostnader för alla alternativ

Alternativ	SEK/forдон	SEK/km	SEK/h färdtid	SEK/tur	SEK/stopp
UA2	68 908,80	31,21	6356,90	14 356,00	3 589,00
JA/UA1	91 097,74	60,24	8678,27	27 329,32	4 554,89
Idag	79 113,38	59,59	8733,77	26 371,13	5 274,23

Tabell 9: Relativa kostnader

Även om utredningsalternativ 2 verkar bäst på alla sätt får det inte glömmas bort att detta alternativ kräver stora investeringar för nybyggnad och inköp av fordon.

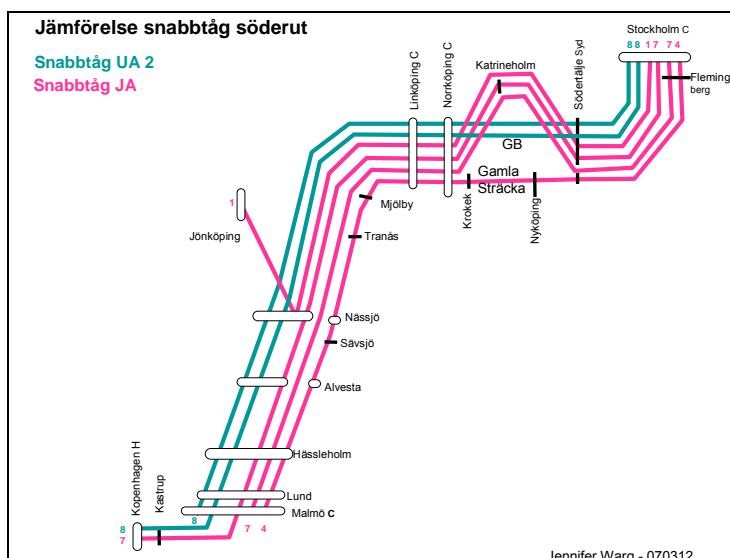
4.1.2 Linjer 8001-8004 mellan Stockholm och Malmö/Köpenhamn

4.1.2.1 UA2

Den här linjen ska trafikera Götalandsbanan och sedan fortsätta på Södra Stambanan. Enligt *PM Prinzipgraf* [17] ska 16 dubbelturer köras om dagen. Timmestrafik över hela dagen är rimligast då avgångarna inte ska ligga tätare. Detta gör att den första avgången redan går tidigt på morgonen (kl. 04:42 respektive 05:12) vilket möjliggör en ankomst i Stockholm före kl. 09:00. Även om detta beroende på den långa restiden inte kan vara huvudsyftet med den här linjen, anses en tidig avgång vara effektivare än en ankomst rund kl. 01:00 på natten. Till skillnad till Banverkets planerade utbud, i vilket alla turer ska gå mellan Stockholm och Köpenhamn, bestämdes här att varannan avgång redan ska sluta i Malmö. Den resulterade tidtabellen finns som bilaga 8. Enligt beräkningen med DISPO behövs tio fordon för den planerade trafikeringen (bilaga 9).

4.1.2.2 JA

I jämförelsealternativet som baserar sig på dagens trafikeringsmönster trafikerar snabbtågen först Västra Stambanan och fortsätter sedan via Norrköping och Linköping på Södra Stambanan. Ett undantag är linje 8003, vilken ska köras på den befintliga infrastrukturen via Nyköping och Krokek. Figur 22 visar dessa linjer i jämförelse med snabbtågslinjerna i UA2. För att tydliggöra att varannan tur slutar i Malmö delades linjen här upp i två linjer.



Figur 22: Jämförelse södergående snabbtågslinjer (JA och UA2)

I dagens tidtabell (bilaga 10) har avgångarna mellan Stockholm och Malmö/Köpenhamn väldigt olika uppehållsmönster. Den totala restiden på sträckan Malmö-Stockholm skiljer sig dock högst om tre minuter vilket gör att de kunde betraktas tillsammans. Dagligen finns det 13 dubbelturer varav bara två startar/slutar i Köpenhamn. Med start kl. 05:20 trafikeras sträckan under nästan hela dagen med timmestrafik. Fordonsbehovet beräknas vara tolv (bilaga 11). Märkligt är att det är två stycken mer än i UA2, fastän andelen längre resor (till Köpenhamn) är större och det totala antalet turer är högre samt att det räknades med en lite kortare minimivändtid i Malmö och Köpenhamn.

Jämförelsealternativets tidtabell (bilaga 12) gjordes baserande på dagens trafikering. Även här användes något kortare minimivändtider i Malmö och Köpenhamn. Det beräknades att 14 fordon behövs (bilaga 13). En minskning till 13 är möjlig, dock inte rimligt därför att detta innebär att utbudet i rusningstiden är för litet, att det finns för tidiga/sena avgångar och inga regelbundenhet i linjen själv.

4.1.2.3 UA1

Linjerna i utredningsalternativ 1 trafikerar Ostlänken och Södra Stambanan vilket liknar UA2. Skillnaden är att snabbtågen i UA2 kan använda Götalandsbanan en bit längre efter Linköping (där Ostlänken slutar). Som i UA2 bestämdes att hälften av de planerade 15 dubbelturerna till Köpenhamn bara genomförs till Malmö. Dessutom ska det även här finnas en daglig direktförbindelse från och till Jönköping.

Trots att restiden är elva minuter längre än på respektive linjerna i UA2 var det lämpligt att ta samma avgångstider som i detta alternativ med anpassningar enligt reglerna för systemtidtabeller. Resorna från och till Jönköping infogas i samma takt som de andra avgångarna. Tidtabellen bifogas som bilaga 14. I Bilaga 15, omloppsplanen, ser man att denna trafikering kräver elva fordon, det vill säga ett mer än i UA2. Detta visar att den med Götalandsbanan jämfört längre restiden ger effekter på fordonsutnyttjandet. Förutsätts samma minimivändtider hinner en tur med samma avgångstid i Stockholm i UA2 att nå en avgång i Malmö vilken inte hinns i UA1. Detta innebär längre ståtider och större fordonsbehov. Genom att förkorta vändtiden i Malmö från 30 till 20 minuter och förskjuta avgångstiderna är det teoretiskt möjligt att trafikera med samma mängd fordon som i UA2. Detta är dock av flera anledningar inte rimligt.

4.1.2.4 Jämförelse

Tabell 10 visar utbudet i alla tre alternativ som betraktades ovan samt dagens trafikering. Med den längsta sträcklängden mellan Stockholm och Malmö/Köpenhamn samt flera avgångar än i alla andra alternativ körs mest kilometer i jämförelsealternativet och även trafikeringstiden är längst.

alternativ	fordons- typ	linje		dbt	dbt/ max h	antal stationer	km/tur	tdt (h)	km total	tdt total (h)
UA2	S250	8001	Cst-Cph	8	0,5	11,00	622	04:07	9952	65:52:00
		8002	Cst-M	8	0,5	9,00	575	03:32	9200	56:32:00
			total	16	1	11,00	598,50	03:49	19152	122:24:00
JA	S250	8001	Cst-Cph	7	0,5	12,00	661	04:42	9254	65:48:00
		8002	Cst-M	7	0,5	7,00	614	03:58	8596	55:32:00
		8003	Cst-M	4	0,5	14,00	597	04:31	4776	36:08:00
		8004	Cst-Jp	1	-	7,00	389	02:58	778	5:56:00
			total	19	1	17	615,89	04:18	23404	163:24:00
UA1		8001	Cst-Cph	7	0,5	9,00	628	04:13	8792	59:02:00
		8002	Cst-M	8	0,5	11,00	581	03:38	9296	58:08:00
		8004	Cst-Jp	1	-	7,00	356	02:19	712	4:38
			total	16	1	12	587,50	03:48	18800	121:48:00
Idag	S250	8001	Cst-Cph	2	-	12,75	661	05:09	13650	91:00:00
		8002	Cst-M	11	2	10,32	614	04:25	516	03:56:00
		8004	Cst-Jp	1	-	6,50	389	03:13	834	06:30:00
			total	14	3	15	604,64	04:27	15000	108:42:00

Tabell 10: Jämförelse snabbtågsutbud Stockholm-Malmö/Köpenhamn/Jönköping

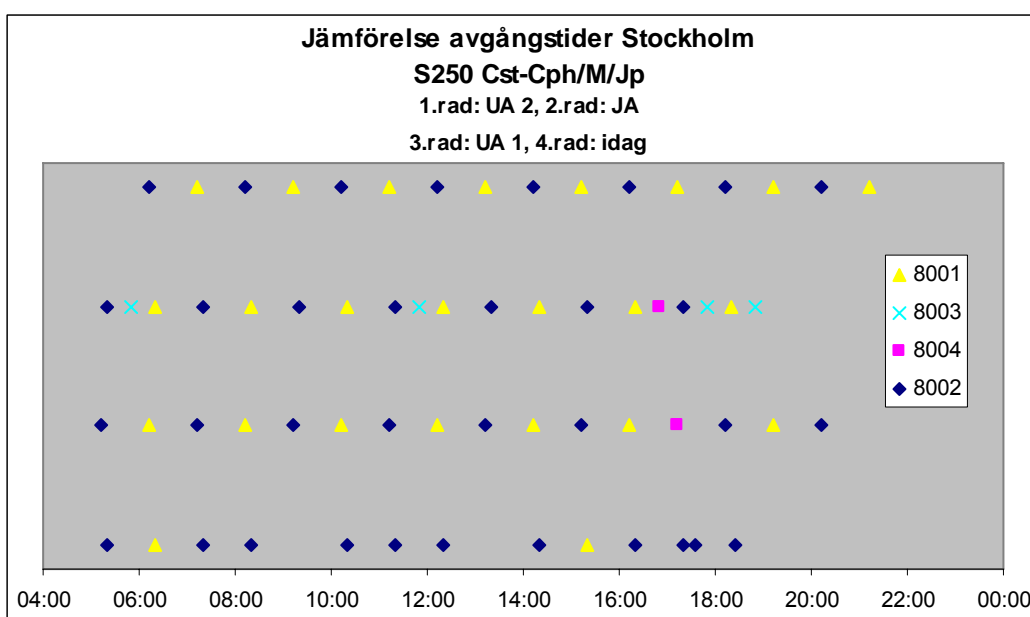
	km/tur	h/tur	km/h	stationer/tur	Frekvens vid varje station	
UA2	598,50	03:49	156,47	10,00	0,91	0,8 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,1 tur)
JA	615,89	04:18	143,23	10,32	0,61	0,8 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,6. tur)

UA1	587,50	03:48	154,35	9,88	0,82	0,8 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,2. tur)
Idag	604,64	04:27	137,99	10,39	0,69	0,8 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,4. tur)

Tabell 11: Jämförelse: Genomsnittlig längd/tur, hastighet, restid, antal stationer som trafikeras per tur

Genom Ostlänken/Götalandsbanan förkortas sträckan mellan Stockholm och Malmö/Köpenhamn med 33 respektive 39 km. Restiden blir 29 och 34 min kortare. Dessutom blir det tydligt att färre stationer trafikeras i UA1 och UA2 jämfört med idag. Turtätheten för dessa stationer blir dock högre än för dem i JA/idag.

Figur 23 visar trafikutbudet i de tre alternativen och idag, Tabell 12 anger första avgångs- och sista ankomsttiden i respektive alternativ. På grund av den kortare restiden i UA2 kan såväl första som sista avgången från Stockholm genomföras senare än i alla andra alternativ. En ökning i turtätheten genomförs bara i jämförelsealternativet och i idag, och då som mest i form av en annan linje.



Figur 23: Jämförelse avgångstider i Stockholm (i UA2, JA, UA1 och idag)

alternativ	första avgång	sista avgång
UA1:	5:12-8:50 Cst-M	20:12-23:50 Cst-M
JA:	5:20-9:18 Cst-M	18:50-23:21 Cst-M
UA2:	6:12-9:44 Cst-M	21:12-1:19 Cst-Cph
Idag:	5:14-9:40 M-Cst	18:14-23:40 M-Cst

Tabell 12: Tidtabellstider: Första och sista avgång i alla alternativ och idag

Tabell 13 visar att fordonsbehovet är lägst i alternativet UA2. Samtidigt hinner fordonen att köra fler kilometer, tidtabellstimmar och turer samt att göra fler uppehåll än i de andra alternativen.

alternativ	dbt	antal fordon	km/fordon	tdt/fordon	turer/fordon	stopp/tur	stopp/fordon
UA2:	16	10	1915,20	12:14:24	3,2	10,00	32,00
JA:	19	14	1671,71	11:40:17	2,7	10,32	28,00
UA1:	16	11	1709,09	11:04:22	2,9	9,88	28,73
Idag:	14	12	1250,00	9:03:30	2,3	10,39	24,25

Tabell 13: Jämförelse angående fordonsbehovet

Kostnaderna baserade på sträcka och färdtid (Tabell 14) visar att trafikeringssättet i jämförelsealternativet innebär de högsta kostnaderna. På grund av det stora utbudet ligger utredningsalternativet 2 kostnadsmässigt på andra plats. Trafikeringen idag är billigast.

alternativ	antal sittplatser/tåg	driftkostnader (SEK)	fordonskostnader (SEK)	totalkostnader (SEK)
UA2	300	173 440,80	453 663,36	627 104,16
JA	300	231 537,80	583 927,92	815 465,72
UA1	300	172 590,60	448 850,60	621 441,20
Idag	300	154 027,90	382 741,90	536 769,80

Tabell 14: Totalkostnader⁶

Betraktar man de relativa kostnaderna (Tabell 15) verkar dock trafikeringen i UA2 mest kostnadseffektivt. På grund av den mer effektiva fordonsinsatsen och fler turer per fordon (Tabell 13) är kostnaderna per fordon i UA2 mycket högre än i de andra alternativen, en jämförelse av prestationen visar dock fördelarna med den nya infrastrukturen tydligt.

alternativ	SEK/for don	SEK/km	SEK/h färdtid	SEK/stopp	SEK/tur	SEK/tur till Cph	SEK/tur till M
UA2	62 710,42 kr	32,74 kr	5123,40	1 959,70 kr	19 597,01 kr	6 848,27 kr	6 290,48 kr
JA	58 247,55 kr	34,84 kr	4990,61	2 080,27 kr	21 459,62 kr	7 325,82 kr	6 713,43 kr
UA1	56 494,65 kr	33,06 kr	5102,14	1 966,59 kr	19 420,04 kr	6 923,26 kr	6 365,47 kr
Idag	44 730,82 kr	35,78 kr	4938,08	1 844,57 kr	19 170,35 kr	7 394,31 kr	6 814,70 kr

Tabell 15: Relativa kostnader

Det viktigaste resultatet i den här jämförelsen är att fordonsbehovet i UA2 även är lägst här vilket utjämnar de relativt höga driftkostnaderna. För att beräkna nyttan och genomföra en riktig jämförelse behövs dock en samhällsekonomisk kalkyl.

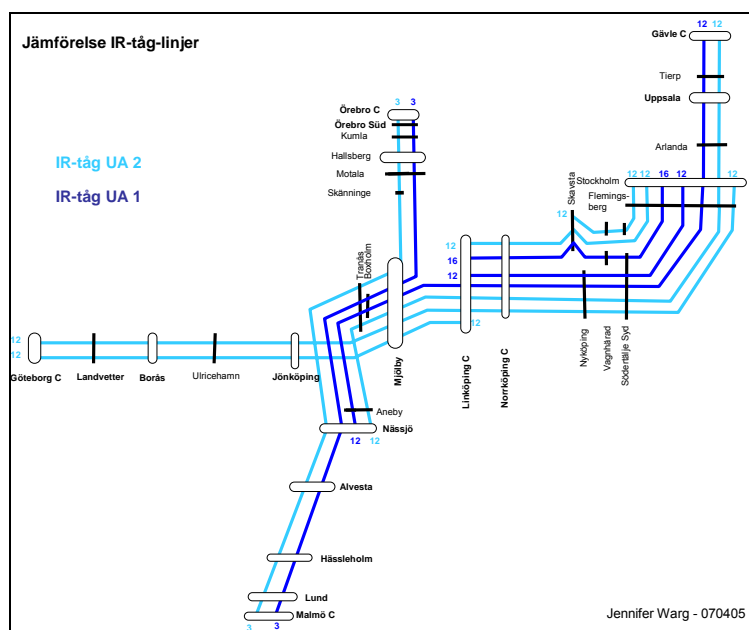
Utöver den beräkning som visades ovan ska effekten av den nya infrastrukturen utredas genom att jämföra fordonsbehovet om man antar samma trafikering i alla tre alternativen. Utredningsalternativ 1 med Ostlänken ger samma fordonsbehov som alternativ 2 (bilaga 16, tio fordon) med Götalandsbanan, men detta bara om en minskning av vändtiden i Malmö till 27 min (från 33 i UA2) är möjlig. De längre restiderna och sträcklängderna gör att utnyttjandet av fordon blir ännu bättre än i UA2. Om man minskar vändtiden i Köpenhamn och Stockholm från 60 till 48 min, kan man nå elva som fordonsbehov i Jämförelsealternativet (i stället för 13). Detta ger dock en väldigt tät trafikering som är känslig för förseningar. Därför ansågs en lösning med en minimivändtid på 57 min i Stockholm C som bättre. Detta alternativ ger tolv fordon som behov för JA (bilaga 17). För samma trafikering med dagens restider behövs det 13 fordon, dvs. ännu fler (bilaga 18). Denna undersökning visar vilka stora effekter restidsförkortningen kan ha på fordonsbehovet.

4.2 InterRegio-linjer

Här sammanställs resultatet för alla linjer som ska köras med tågtyp B250. B250 betecknar de tåg som uppnår 250 km/h som maxhastighet och kan köras med 10 % överhastighet i kurvor. Dessa tåg ska bara sättas in på linjer som trafikerar ny infrastruktur. Linjerna på vilka B250-tåg ska användas har som huvudsyfte att knyta ihop regioner och betecknas som InterRegio-linjer (IR-linjer). I JA och delar av UA1 ersätts dessa linjer i de flesta fall med linjer som har

⁶ Basdata enligt bilaga 5

ett liknande uppehållsmönster. Figur 24 visar alla IR-linjer samt linjesträckning och antal dubbelturer per dygn:



Figur 24: Jämförelse IR-linjer

Några parallella linjer ska kopplas för att skapa en styv tidtabell. Dessa linjer betraktades tillsammans när tidtabellen och omloppen planerades och markerades i samma färg i tabellen nedan.

UA2:

Linje		dbt/dygn	dbt/h
6005	G-N	12	1
6006	Cst-Gbg	12	1
6007	Gbg-Lp	12	1
8201	Cst-Lp	12	1
8202	Cst-Skf	12	1
9902	M-Ö	3	-

UA1

Linje		dbt/dygn	dbt/h
6005	G-N	12	1
6006	Cst-Lp (via Nk)	12	1
8201	Cst-Lp via Skf	16	1
9902	M-Ö	3	-

Tabell 16: Sammanställning IR-tåg-linjer i UA1 och UA2 samt koppling

4.2.1 Linjer 6006 (Stockholm-Göteborg/Linköping) och 6005 (Gävle-Nässjö) samt 6007 i UA2 (Göteborg-Linköping)

Linjerna 6005 och 6006 är ganska lika i båda alternativen. Skillnaden på linje 6005 är bara restiden mellan Linköping och Mjölby som beror på att Ostlänken slutar i Linköping. Linje 6006 slutar i UA1 i Linköping medan den fortsätter på Götalandsbanan fram till Göteborg i UA2. Detta delavsnitt på Götalandsbanan ska även trafikeras av linje 6007 så den är bara planerad för UA2.

4.2.1.1 UA2

Utifrån avgångstider och restider som togs fram för kapacitetsanalysen samt analys och optimering utreddes tidtabellen i bilaga 16. Några avgångar på morgonen och kvällen förkortades för att möjliggöra en tidig ankomst på morgonen och en sen avgång på kvällen utan att behö-

va köra väldigt tidigt eller sent. Den mest effektiva tidtabellen finns i bilaga 19. Fordonsbehovet beräknades vara 21 (bilaga 20).

Även effekten som kopplingen har på fordonsbehovet analyserades. För den skull genomfördes omloppsplaneringen även separat för alla tre linjerna. Resultatet var att ett fordon mer än med kopplingen behövs i summeringen, fastän kopplingen innebär några inskränkningar pga. ömsesidiga avhängigheter. Detta beror på att fordonen där bara tillordnas till en linje medan de tillordnas till den mest effektiva avgången i den ovan genomförda beräkningen utan hänsyn till tillhörighet till linje. Detta berör mest Göteborg som är slutstation för två linjer. I det här fallet är utbytet av fordon mellan linjerna speciellt effektivt i övergången mellan hög- och lågtrafik.

4.2.1.2 UA1

Som det redan har visats ska det i UA1 bara finnas linjerna 6005 och 6006 med skillnaden att restiden mellan Gävle och Nässjö är tolv minuter längre jämfört med samma linje (6005) i UA2 och att linje 6006 redan slutar i Linköping i stället för Göteborg.

Såväl avgångstider som tidtabellsstrukturen kunde därmed till största delen övertas från UA2. De enda förändringarna som gjordes var att första och sista avgången till respektive från Gävle förkortades och endast går från/till Linköping med hänsyn till effektivitetsförlusten pga. den längre restiden. På linje 6006 ska den första västergående avgången inte köras. Tidtabellen visas i bilaga 21.

Resultatet som DISPO ger är intressant. Genomförs fordonsdispositionen enligt metoden som syftar till att insätta så få tåg som möjligt, behövs 14 fordon (bilaga 22). Detta innebär dock två tomkörningar. Anser man att det viktigaste är att det totala antalet körda kilometer är lågt så krävs det ett ytterligare fordon för att undvika de två tomkörningarna (bilaga 23). Det är inte lätt att veta vilken lösning som är mest lönsam. I det första alternativet är driftkostnaderna högre än i det andra, medan det uppstår högre investeringskostnader i det andra alternativet.

Minska man den minsta vändtiden i Linköping till 20 minuter kan trafikeringen köras med bara 13 fordon. Trots att restiden på den här linjen är ganska kort (1:42h), den här korta vändtiden inte förekommer så ofta pga. av den oregelbundna tidtabellen, och trots att uppehållstiden i Stockholm är lång ansågs 20 minuters vändtid inte vara tillräcklig. Det först presenterade alternativet som kräver 14 fordon anses därmed som effektivast. För att utnyttja de tomkörningarna som behövs för detta alternativ, lämpar det sig att ersätta dem med i tidtabellen integrerade avgångar. Alternativt kan man låta avgången innan tomkörningen avsluta i Linköping i stället för att kör den fram till Nässjö. Detta gör att tomkörningen tillbaka från Nässjö till Linköping inte behövs. Respektive åtgärd måste då även genomföras i andra riktningen. Bilagor 24 och 25 visar hur de här beskrivna möjligheterna kan integreras.

4.3.1.3 Jämförelse

I Tabell 17 sammanställdes utbudsdata för linjerna 6005-6007. Beroende på att det finns en linje mer i UA2 och att trafiken körs fram till Göteborg, är såväl antalet linjer, dubbelturer, kilometer och tidtabellstimmer störst i detta alternativ. Även värden per tur är i UA2 högre än i UA1. I jämförelsen betraktades dock bara delavsnittet som trafikeras i båda alternativen (Tabell 18 och följande). Man ser att linjerna motsvarar varandra på detta avsnitt med några undantag.

	Fordons	linje		dbt	dbt/	antal	km/	tdt (h)	km total	tdt total (h)
--	---------	-------	--	-----	------	-------	-----	---------	----------	---------------

	-typ				max h	stationer	tur			
UA2:	B250	6006	Cst-Gbg	10	1	11	460	03:11	9200	63:50:00
			Cst-Lp	2	-	6	193	01:24	772	5:36:00
			Gbg-Lp	1	-	6	267	01:47	534	3:34:00
		6005	G-N	11	1	14	489	03:45	10758	82:41:00
			Cst-G	1	-	5	182	01:20	364	2:40:00
			N-Lp	1	-	10	114	02:20	228	4:40:00
		6007	Gbg-Lp	12	1	6	266	01:42	6384	40:48:00
			total	38	2	20	371,58	02:40	28240	203:49:00
UA1:	B250	6006	Cst-Lp (via Nk)	12	1	6	193	01:24	4632	33:36:00
		6005	G-N	9	1	15	495	03:58	8910	71:24:00
			Cst-G	1	-	5	182	01:20	364	2:40:00
			Lp-G	2	-	10	375	02:49	1500	11:16:00
			N-Lp	1	-	11	120	01:08	240	2:16:00
			total	25	2	15	312,92	02:25	15646	121:12:00

Tabell 17: Jämförelse IR-tågutbud linjer 6005-6007

	km/tur	h/tur	km/h	stationer/tur	Frekvens vid varje station
UA2	371,58	02:38	139,34	9,71	0,49 ggr per tur (=stationen trafikeras var 2,06 tur)
UA2 (bara del OL)	319,64	02:24	129,58	9,64	0,69 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,45 tur)
UA2 (bara del OL, anpassad.) ⁷	304,91	02:17	133,54	9,26	0,66 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,51 tur)
UA1	312,92	02:25	129,48	9,72	0,65 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,54 tur)
UA1 anpassad	307,52	02:23	127,25	9,70	0,65 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,55 tur)

Tabell 18: Jämförelse: Genomsnittlig längd/tur, hastighet, restid, antal stationer som trafikeras per tur

För att kunna jämföra på ett bättre sätt genomfördes fordonsdispositionen även för de anpassade varianterna (Tabell 19).

Alternativ	Dbt	Antal fordon	km/fordon	tdt/fordon	turer/fordon	stopp/tur	stopp/fordon
UA2	38	21	1344,76	9:34:18	3,62	9,71	35,14
UA2 (bara del OL)	25	13	1229,38	9:17:33	3,85	9,64	37,08
UA2 (bara del OL, anpassad)	23	13	1078,92	8:08:10	3,54	9,26	32,77
UA1	25	14	1117,57	8:39:26	3,57	9,72	34,71
UA1 anpassad	23	14	1010,43	7:51:09	3,29	9,70	31,86

Tabell 19: Jämförelse angående fordonsbehovet

Förkortningen i sträcklängd och reduktion i restid minskar fordonsbehovet med ett tågset. Insatsen är effektivare i UA2, både tids- och sträckmässigt samt även angående antal turer per fordon.

Totalt sett är kostnaderna i utredningsalternativ två naturligtvis störst pga. det stora utbudet jämförd med UA1 (Tabell 20). Tabell 21 visar att de relativa driftskostnaderna per kilometer är lägre än i UA1, de per tidtabellstimme, per tur och per stopp dock högre. Jämförs samma utbud i båda alternativen är alternativet med Götalandsbanan dock på alla sätt förutom kostnaderna per stopp mest kostnadseffektivt.

⁷ UA1/UA2 anpassad: Anpassat antal dubbelturer så att enhetligt

Alternativ	Antal sittplatser/tåg	Driftkostnader (SEK)	Fordonskostnader (SEK)	Totalkostnader (SEK)
UA2	250	284 820,54	721 786,48	1 006 607,03
UA2 (bara del OL)	250	171 177,14	423 940,78	595 117,93
UA2 (bara del OL, anpassad)	250	149 874,91	371 510,48	521 385,39
UA1	250	171 740,40	421 469,30	593 209,70
UA1 anpassad	250	155 775,53	381 836,50	537 612,03

Tabell 20: Totalkostnader⁸

Alternativ	SEK/fordon	SEK/km	SEK/h färdtid	SEK/tur	SEK/stopp
UA2	47 933,67	35,64	5007,93	13 244,83	1 363,97
UA2 (bara del OL)	45 778,30	37,24	4926,37	11 902,36	1 234,68
UA2 (bara del OL, anpassad)	40 106,57	37,17	4929,46	11 334,47	1 223,91
UA1	42 372,12	37,91	4894,47	11 864,19	1 220,60
UA1 anpassad	38 400,86	38,00	4890,35	11 687,22	1 205,41

Tabell 21: Relativa kostnader

Sammanfattningsvis kan man säga att linjerna i UA2 täcker ett mycket större område, kostnaderna är dock betydligt högre än i UA1. På den del i nätet som trafikeras av IR-tåg i båda alternativen är utbudet väldigt snarlikt. Förutom antalet uppehåll uppnår trafiken i UA2 bättre värden på alla sätt, och även fordonsbehovet är något mindre.

4.2.2 Linje 8201 (Stockholm-Linköping via Skavsta) samt linje 8202 i UA2 (Stockholm-Skavsta)

Här ska linjerna som trafikerar Skavsta betraktas. Linje 8201 förbinder Stockholm med Linköping och ska finnas i bägge alternativen, medan linje 8202 som endast ska finnas i UA2 bara ska knyta ihop Stockholm och flygplatsen Skavsta. Därför att den sistnämnda linjen inte finns i UA1 ska det insättas in fler turer på Stockholm-Linköping-linjen. Turtätheten mellan Skavsta och Stockholm blir i UA2 som högst halvtimmestrafik, i UA1 dock bara timmestrafik. Eftersom linjerna bara trafikerar Ostlänken i båda alternativen uppstår inte någon skillnad i restid eller sträcklängd.

4.2.2.1 UA2

Även i tidtabellsplaneringen för linjerna 8201 och 8202 togs det hänsyn till koppling. Avgångstiderna för båda alternativen erhöles ifrån kapacitetsanalysen. De möjliga uppehållstiderna vid slutstationerna som de medför blir inte som önskat, dvs. antingen för korta eller för långa för att fordonen kunde användas effektivt. För att förbättra situationen tillåts tio minuter som minsta vändtid i Skavsta, vilket verkar fungera därför att stationen inte stor, restiden inte lång och vändtiden i Stockholm C lång är.

När tidtabellen utarbetades togs det hänsyn till Skavstas speciella funktion som anslutning till flygplatsen. För att möjliggöra för resenärerna att hinna med de första flygen som idag avgår kl. 06:50 ska det första tåget från Stockholm redan avgå kl. 04:43. På kvällen var det viktigt att resan tillbaka till Stockholm säkerställdes. Skillnaderna i resandefördelningen över dagen är inte lika stora som på andra linjer. Förtätning i trafikutbudet är på grund av detta egentligen bara lönsam på morgonen mot Stockholm och på eftermiddagen i motsatt riktning. För att för-

⁸ Basisdata enligt bilaga 7

delar alla tolv dubbelturerna över dagen och skapa jämnare trafik bestämdes dock att båda riktningarna ska köras med kortare mellanrum både i morgon- och också i eftermiddagsrusningen. Trots detta och trots avgångarna sent på kvällen och tidigt på morgonen ansågs elva dubbelturer som tillräckligt på linjen 8202 mellan Stockholm och Skavsta. Den kopplade tidtabellen för båda linjerna finns som bilaga 26. Förskjutningarna om 30 minuter på Stockholm-Skavsta-linjen som främst behövs för övergången mellan hög- och lågtrafik är möjliga enligt kapacitetsanalys i RailSys.

Så som på de linjer som betraktades innan är det även här effektivast att sätta in två tomkörningar (här mellan Linköping och Skavsta). Detta ger sju fordon som behov, medan det enligt DISPO behövs nio fordon om man vill undvika tomma körningar. Eftersom det bara handlar om korta tomkörningar kan man här tänka sig köra dem. Det är dock även i det här fallet mer effektivt att köra dem som vanliga personturer genom att förlänga Skavstalinjen fram till Linköping. Detta fungerade även kapacitetsmässigt, så att den bästa lösningen blev en trafikering som kan köras med sju fordon och kräver en tomkörning (**alternativ 2**, bilagor 27 och 28).

Med nedsatt vändtid i Stockholm (25 i stället för 55 minuter) är det möjligt att klara av trafiken med bara sex fordon. Detta anses dock inte som en rimlig lösning därför att en sådan kort tid inte räcker till för att utjämna förseningar osv.

4.2.2.2 UA1

I UA1 ska det bara finnas linje 8201 mellan Stockholm och Linköping. De 16 planerade dubbelturerna ger timmestrafik nästan hela dagen. Ankomst- och avgångstiderna togs ifrån UA2 och kapacitetsanalysen vilket är möjligt på grund av att förutsättningarna är de samma.

För att ta hänsyn till flygresenärerna i UA1 planerades att de första avgångarna slutar i Skavsta vilket innebär att de påföljande turerna först börjar där. Tidtabellen är bifogad som bilaga 29. Resultatet utifrån DISPO anger att fem fordon krävs för den här planerade tidtabellen (bilaga 30).

4.2.2.3 Jämförelse

Eftersom linjerna i princip är lika jämförs här främst utbudet (Tabell 22 och 23):

	fordons-typ	linje		dbt	dbt/ max h	antal stationer	km/ tur	tdt (h)	km total	tdt total (h)
UA2	B250	8201+ 8202	Cst-Lp	11,5	1	7	196	01:21	4512,09	31:14:30
			Cst-Skf	11,5	1	5	103	00:42	2362,16	16:06:00
			Skf-Lp	0,5	-	3	93	00:39	93,48	0:39:30
			Tomkörn. Skf-Lp	0,5	-	-	93	-	93,48	-
			total	23,5	2	7	148,25	01:01	7061,20	48:00:00
UA1	B250	8201	Cst-Lp	15	1	7	196	01:21	5885,33	40:45:00
			Cst-Skf	2	-	5	103	00:42	410,81	2:48:00
			Tomkörn. Skf-Lp	0,5	-	-	93	-	93,48	
			total	17	2	7	185,18	01:16	6389,62	43:33:00

Tabell 22: Jämförelse utbud IR-tåg-linjer 8201 och 8202

	km/tur	h/tur	km/h	stationer/tur	Frekvens vid varje station
GB	148,25	01:01	145,82	5,94	0,85 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,18 tur)

OL	185,18	01:16	146,20	6,76	0,97 ggr per tur (=stationen trafikeras var 1,03 tur)
----	--------	-------	--------	------	---

Tabell 23: Jämförelse: Genomsnittlig längd/tur, hastighet, restid, antal stationer som trafikeras per tur

Beroende på att andelen korta turer till Skavsta är lägre i UA1 är turerna i genomsnitt längre. Totalt sett körs dock flest kilometer och längst tid i UA2, där antalet dubbelturer per dag är högst.

Intressant är att fordonsinsatsen är mycket effektivare i UA1 (Tabell 24). Trots att sträckan och färdtid per tur är längre än i UA2 kan fler turer genomföras per fordon.

Alternativ	Dbt	Antal fordon	km/fordon	tdt/fordon	turer/fordon	stopps/tur	stopps/fordon
UA2	23,5	7	1008,74	6:51:26	6,71	5,94	39,86
UA1	17	5	1277,92	8:42:36	6,80	6,76	46,00

Tabell 24: Jämförelse angående fordonsbehovet

Tabell 25 och Tabell 26 visar att de totala kostnaderna för trafikeringen är lägst i UA1. Samma gäller även för tidsrelaterade värden. Kostnaderna per uppehåll, sträcka och tur är dock lägre i UA2 än i UA1.

Alternativ	Antal sittplatser/tåg	Driftkostnader (SEK)	Fordonskostnader (SEK)	Totalkostnader (SEK)
GB	250	68 016,00	175 522,93	243 538,93
OL	250	61 710,35	159 081,84	220 792,19

Tabell 25: Totalkostnader⁹

Alternativ	SEK/fordon	SEK/km	SEK/h färdtid	SEK/tur	SEK/stopp
GB:	34 791,28	34,49	5073,73	5 181,68	872,90
OL	44 158,44	34,55	5069,86	6 493,89	959,97

Tabell 26: Relativa kostnader

Speciellt eftersom det sparas två tågset i UA1 jämfört med UA2 trots förhållandevis små skillnader verkar trafikeringen i UA1 mycket fördelaktigare. Man får dock inte glömma bort att utbudet i UA2 är attraktivare för resenärer speciellt pga. den jämförd med UA1 utökade turtätheten och fler avgångar. Detta kan till exempel öka intäkterna rejält. Ytterligare upplysningar kan därför bara en samhällsekonomisk kalkyl ge.

4.2.3 Linje 9902 (Malmö-Örebro)

Trafikeringen på linjen 9902 (Malmö-Örebro) planeras ske på samma sätt oavsett om bara Ostlänken eller hela Götalandsbanan byggs. Det ska genomföras tre dagliga turer per riktning. Rimligast är det att fördela dessa turer över dagen så att man har en avgång i varje riktning både på morgonen, på eftermiddagen och på kvällen. Detta möjliggör även en mycket effektiv fordonsinsats (två fordon). Bilaga 31 visar tidtabellen och omloppsplanen.

4.2.4 Reservtåg

Efter att alla IR-tåg-linjer har bearbetats betraktades även hur många reservtåg som behövs. För att bestämma det slutgiltiga fordonsbehovet genomfördes en dispositionsplanering för alla linjer tillsammans. Både Linköping och Stockholm är ändstationen till flera linjer så att fordonsutbyte mellan olika linjer är möjligt. I alternativet UA2 blev resultatet dock samma

⁹ Basdata enligt bilaga 7

som vid den separata disponeringen (30 fordon). I alternativ UA1 kunde däremot fordonsbehovet minskas om ett så att bara 20 fordon måste sättas in i stället för 21. Omloppsplanerna visas i bilaga 32 och 33. Tabell 27 sammanställer alla betraktade linjer med deras slutstationer och fordonsbehovet.

Alternativ	Linje		Antal fordon
UA2:	6005-6008	G-N, Cst-Gbg, Gbg-Lp	21
	8201+8202	Cst-Skf, Cst-Lp	7
	9902	M-Ö	2
	Alla		30
UA1:	6005-6007	G-N, Cst-Lp	14
	8201	Cst-Lp	5
	9902	M-Ö	2
	Alla		20 (enligt DISPO)

Tabell 27: Sammanställning linjer och fordonsbehov B250

Principiellt sett räknas det med cirka 10 % reservfordon. Om man betraktar det totala antalet här motsvarar detta tre respektive fyra fordon. Problemet är att linjerna har olika slutstationer och ett tågset som exempelvis står i Malmö i södra Sverige inte har någon stor nytta om behovet uppstår i Örebro, vilket ligger mycket längre norrut. Pga. detta analyserades det för vilka linjer reservfordonen kan användas samlat och var dessa ska deponeras på det mest effektiva sättet. Särskilt viktigt är reservtågseten när bara korta vändtider respektive buffertar för förseningar existerar i tidtabellen. Utredningen gav som resultat att sex fordon behövs som reserv i UA2, och fem i UA1.

4.2.5 Sammanfattning och jämförelse av alla IR-linjer

I bilaga 34 visas båda alternativen i jämförelse. Utbudet på IR-tåg är i UA2 betydligt bättre än i UA1. Trots en lika lång genomsnittlig restid är den totala tiden i UA2 mycket högre än i UA1. Samma gäller för antalet körda kilometer, vilket är 1,5 gånger högre i UA1. I förhållande till tidtabellstiden tillryggaläggs dessutom många fler kilometer.

Betraktar man fordonsanvändningen (bilaga 35) ger UA2 bättre resultat med hänsyn till färdvägen. Varje fordon används dock inte lika länge som i UA1, där det även genomförs fler turer och fler hållplatser trafikeras per dag och fordon. Detta tyder på effektivare fordonsinsats i UA1. Hänsyn måste dock även tas till reservfordonen, vilka utgör en större andel i UA1 jämfört med UA2 (fem reserver vid 20 respektive sex vid 30 tågset).

Även kostnader betraktas i bilaga 35. Återigen uppstår förhållandet 1,5:1. Ungefär 1,5 gånger så många avgångar i UA2 jämfört med UA1 ger en tidtabellstid, en sträcka som är cirka 1,5 gånger längre och även med nästan samma faktor höjda kostnader. Pga. denna relation är det inte möjligt att säga vilket alternativ som är effektivast. Viktigt för värderingen är dock att antalet fordon liksom de relativa kostnaderna i UA2 förhållandevis är större än i UA1. Som resultat kan sägas att fordonsinsatsen i UA1 är effektivast.

4.3 Regionaltåglinjer

Även här planeras med samma tågtyp för alla linjer, så att disponeringen och tidtabellsplanering förs genomförs separat för varje linje och sedan samlat per fordonstyp. Här planeras det med ett X52-tåg, dvs. ett motorvagnståg ur Reginaserien med maxhastighet 200km/h. Tabell 28 visar alla linjer med deras utbud i jämförelse för alla alternativ. För att kompensera IR-tåglinjerna som bara finns på den nya infrastrukturen planeras flest regionaltåglinjer i jämförelsealternativet.

JA				UA1			UA2		
Linje		Dbt/ dygn	Dbt/ max h		Dbt/ dygn	Dbt/ max h		Dbt/ dygn	Dbt/ max h
5601	U-Nr	12	1	Vs-Lp	12	1	Jö-Vs	12	1
5602	E-Vs	8	0,5						
5603	Ö-Mj	8	0,5	Ö-Nr OL	12	1	Ö-Nr OL	12	1
5701	Cst-Gbg	8	0,5	Cst-Gbg	8	0,5			
6502	Möld-N	8	0,5						
8005	Lp-G	12	1						
8102	Lp-Nk	3	0,5						
8101	Nr-Mo	30	2	Krk-Mo	30	2	Krk-Mo	30	2
8103	N-Nr	15	1	Nr OL-Tns	15	2	Tns-Nr OL	30	2
9501	Gbg-Ka	3	-	Gbg-Ka	3	-	Gbg-Ka	3	-
9502	Gbg-Kkr	3	-	Gbg-Kkr	3	-	Gbg-Kkr	3	-
9701	Bs-Vän	23	2	Bs-Vän	23	2	Bs-Vän	23	2
9702	Bs-Älv	11	1	Bs-Älv	11	1	Bs-Älv	11	1
11103	U-Jä	20	2	U - Nk OL	20	2	U - Nk OL	20	1

Tabell 28: Regionaltåglinjer och utbud i jämförelse

4.3.1 Linje 5601 (Uppsala-Norrköping/Västerås-Linköping/Jönköping-Västerås)

Trots att linjen har samma beteckning i alla tre alternativen blir likheten inte genast tydligt. Alla linjer trafikerar delsträckan Västerås-Norrköping. I UA1 fortsätter linjen därefter på Ostlänken till Linköping, i UA2 även vidare via Norrköping till Jönköping. Detta är det enda avsnittet på den nya infrastrukturen som trafikeras av den här linjen. Utöver delstråken som linjen ska trafikera i alla alternativ fortsätter linjen i JA från Västerås till Uppsala.

Angående restider skiljer sig bara delavsnittet mellan Katrineholm och Jönköping. Avgångstiderna utifrån kapacitetsanalysen i RailSys användes därför i alla alternativ. Turtäthet och det dagliga antalet dubbelturer är samma för alla tre systemen. De mest effektiva tidtabellerna finns i bilaga 36, omloppsplanerna i bilaga 37-39.

Tabell 29 ger en översikt över linjedata och fordonsbehov för linjen i de tre alternativa trafiksystemen. Linjen är i UA2 39 respektive 20 % längre än i UA1 och JA och restiden överstiger den i de andra två alternativen med 37 respektive 7 %.

Alternativ		km/ tur	tdt (h)	km total	tdt total (h)				
						Antal fordon	km/fordon	tdt/fordon	turer/fordon
UA2	Jö-Vs	326	03:11	7824	76:24:00	8	978,00	9:33:00	3,00
UA1	Lp-Vs	200	02:01	4800	48:24:00	6	800,00	8:04:00	4,00
JA	Nr-U	261	02:57	6264	70:48:00	7	894,86	10:06:51	3,43

Tabell 29: Linje 5601 i alla tre trafiksystem i jämförelse

Dessa värden ger även det största fordonsbehovet för UA2. Utnyttjandet av fordonen är dock bäst i detta alternativ. Även kostnadsmissigt uppvisar Götalandsbanans linje de effektivaste värdena.

4.3.2 Linje 5602 Eskilstuna-Västerås

Den här linjen planeras bara i jämförelsealternativet. Åtta dubbelturer per dag ska koppla ihop Eskilstuna, Västerås och de mellanliggande stationerna. Då linjen trafikerar delvis på samma avsnitt som linje 5601 som betraktades innan planerades tidtabellen på så sätt att avgångstiderna på respektive sträckan är förskjutna 30 minuter. Koppling för att nå jämna intervaller var dock inte möjligt eftersom linjerna inte trafikerar med samma turtäthet.

Tidtabellen och omloppsplanen har bifogats som bilagor 40 och 41. Det behövs två tågset, men genom en förskjutning på avgångstiderna skulle det vara möjligt att klara av alla avgångar med bara ett fordon. Detta är dock med tanke på kapaciteten orimligt.

4.3.3 Linje 5603 Örebro-Mjölby/Norrköping

Linje 5603 betraktades i alla tre varianterna. Linjen startar i Örebro och slutar i JA i Mjölby, medan den fortsätter i UA1 och UA2 (identisk linje) på den befintliga och nya infrastrukturen fram till Norrköping. I dessa alternativ ska även utbudet med tolv dubbelturer per dag vara större än i JA, där bara åtta turer per dag och riktning ska sättas in.

Tidtabellerna sammanställs i bilaga 42, omloppsplanerna finns i bilaga 43 och 44. Linjen som planeras för JA är mycket effektivare än den andra, vilket beror mest på att den ska köras med tvåtimmars turtäthet i motsats till linjen i UA1 och 2, där förtätningen i rusningstid ökar fordonsbehovet betydligt. Trots att tågseten i alla varianter kan användas väldigt effektivt utan långa väntetider på stationen behövs det för trafikeringen i UA2 fem fordon jämfört med bara två i JA. Den relativt korta tiden på slutstationerna är på ett sätt väldigt positivt, kan dock även leda till problem pga. tidsbrist för service, vändning och utjämning av förseningar. Problemen anses dock inte som stora pga. den relativt korta restiden på linjen och linjens typ.

Alternativ JA är bäst på alla sätt, såväl med hänsyn till fordonsbehovet och alla nyckelvärden i samband med fordonen som även kostnadsmässigt.

4.3.4 Linje 5701 Stockholm-Göteborg

Linje 5701 mellan Stockholm och Göteborg ska köras identiskt i alternativ UA1 och JA, i UA2 ersätts den med IR-tåglinje 6006. Eftersom linjen inte ingår i någon kapacitetsanalys skapades en tidtabell. Speciell hänsyn togs det till avstämning med snabbtågen som ska trafikerar samma infrastruktur mellan Stockholm och Hallsberg. Det gäller även för linje 5603 (Örebro-Mjölby respektive Örebro-Norrköping) med samma linjeföring mellan Örebro och Hallsberg. I Västerås beaktades att ankomsttiden inte ska ligga samtidigt med dem på linjerna 5602 och 5601. Tidtabellerna finns i bilaga 45. Avgångstiderna i Göteborg är förskjutna en timme mot dem i Stockholm, vilket dock inte innebär några problem därför att det i princip inte uppstår en rusningstid pga. de långa restiderna och den låga turtätheten.

För trafikering med åtta dagliga dubbelturer behövs det fem tågset (bilaga 46). Omloppsplanen visar att deras utnyttjande är mycket högt vilket gör insatsen effektiv. Med hänsyn till den långa restiden (4:14h) är det viktigt att tiden vid slutstationen är tillräckligt lång så att eventuella förseningar kan jämnas ut. De använda 25 och 55 minutrarna i Göteborg och Stockholm verkar vara rimliga med tanke på att de nästan motsvarar tiderna som ansätts för snabbtågen, där det dock tillkommer tidsåtgång för serviceåtgärder.

4.3.5 Linje 9701 och 9702 Borås-Vänernsborg/Älvängen

De här linjerna betraktas tillsammans eftersom de ska trafikera samma sträcka, med skillnaden att linje 9702 ska sluta i Älvängen, medan linje 9701 fortsätter fram till Vänernsborg. Som andra slutstation har båda linjerna Borås.

Linjerna i UA1 och JA ska vara identiska, medan Götalandsbanan innebär förändringar i restid och linjelängd mellan Borås och Göteborg på bägge linjerna i UA2.

Linje 9701 till Vänernsborg ska ha en högre turtäthet än linje 9702 som slutar i Älvängen (två respektive en dubbeltur i maxtimmen). Senast nämnda linje ska dock bara vara en förstärkning för förstnämnda, tidtabellerna ska inte vara styva med varandra. Bilaga 47 visar den tidtabell som ansågs vara mest effektiv. Genom en förkortning av den först antagna vändtiden i Borås (från 25 till 15 minuter) nåddes ett behov på elva fordon i samtliga alternativ (bilaga 48 och 49).

Beroende på kortare restider och linjelängder ligger fördelen i UA2. Eftersom detta inte ger någon besparing angående fordonsbehovet är skillnaden dock inte stor.

4.3.6 Linje 6502 Nässjö-Mölnadal

Linje 6502 ska bara finnas i JA. Mellan Nässjö och Mölnadal ska åtta dubbelturer köras med tvåtimmarsintervall i rusningstiden. Pga. att linjen inte betraktades i simuleringen i RailSys framtogs en helt ny tidtabell med hänsyn till planeringsprinciperna (kapitel 5.1) och berörda linjer. Dessa linjer är här de just innan betraktade linjerna 9701 och 9702, vilka använder samma infrastruktur mellan Göteborg och Korsvägen, samt regional- och snabbtåglinjerna Stockholm-Göteborg (delavsnitt Alingsås-Göteborg). Effektivast var det att sätta in linjen med 30-minuters-mellanrum till linjen Borås-Älvängen. Tillsammans med Borås-Vänernsborg-linjen ger detta 15-minuters-trafik mellan Göteborg och Korsvägen. Dessa avgångstider på detta delavsnitt har till och med testats i kapacitetsanalysen i samband med linjerna 9701 och 9702. Tidtabellerna och omloppsplanen finns i bilaga 50 och 51. Det behövs fyra fordon för den planerade trafiken.

4.3.7 Linje 8005 Gävle-Linköping och 8102 Linköping-Nyköping

Även de här linjerna planeras bara för JA. De har delavsnittet Linköping-Nyköping gemensamt och även samma restider där så att de kopplades vid planeringen. På linje 8102 (Linköping-Nyköping) ska bara tre dubbelturer per dag insättas, så att den planerades som förstärkning till linje 8005 (Gävle-Linköping, 12dbt/dygn) i rusningstid.

Som bas för tidtabellen togs avgångstiderna på IR-tåglinje 8005 (Gävle-Nässjö) i alternativen UA1 och 2. Denna linjes uppehållsmönster liknar de här linjernas, den använder dock Ostlänken vilket i samband med de snabba fordonen ger kortare restider. På morgonen och kvällen förkortades turerna delvis för att möjliggöra en tidig ankomst respektive en sen avgång för de närmastliggande stationerna. Fordonsbehovet beräknas vara nio. Tidtabellerna och omloppsplanen finns i bilaga 52 och 53. Det ska noteras att fordonsbehovet kan minskas med ett fordon, exempelvis genom att förskjuta första avgången från Gävle till Stockholm. Då måste den dock genomföras ännu tidigare, vilket inte gynnar efterfrågan.

4.3.8 Linje 8101 (Krokek/Nyköping-Motala) och 8103 (Norrköping-Tranås/Nässjö)

Linjerna 8101 (Krokek/Nyköping-Motala) och 8103 (Norrköping-Tranås/Nässjö) är lika i alla tre alternativen, såväl i linjestäckningen som i trafikeringen. I alternativ UA2 ska det insättas

30 dubbelturer per dygn på linje 8103 och därmed dubbelt så många som i de två andra alternativen. På linjen 8101 ska 30 turer sättas in i alla alternativ.

Viktigt för dessa linjer är att säkerställa möjligheten att nå Norrköping tidigt på morgonen. Baserande på bland annat detta, utredningarna i RailSys och med hänsyn till kraven som omloppsplaneringen ställer togs tidtabellerna för alla alternativ fram (bilaga 54). För alternativet JA kunde minsta fordonsbehovet nås. Där behövs det elva fordon, vilket är ett mindre än i UA1 och fyra mindre än i UA2 (bilagor 55-57). Trots att även utbudet är mindre är fordonsinsatsen mest effektiv i detta alternativ. Kostnadsmässigt är dock alternativ UA1 bäst om man betraktar kostnader per sträcka och UA angående kostnader per tidtabellstid.

4.3.9 Linjer 9501 och 9502 (Göteborg-Kalmar/Karlskrona)

För linjerna 9501 och 9502 mellan Göteborg och Kalmar samt Göteborg och Karlskrona planeras tre dubbelturer per dag och riktning. Linjesträckningarna är samma med skillnaden att Götalandsbanan används mellan Borås och Göteborg i UA2 vilket minskar restiden med nio minuter jämfört med UA1 och JA. Linje 9501 och 9502 skiljer sig bara på sista delavsnittet då linje 9501 fortsätter mot Kalmar efter Lessebo och 9502 mot Karlskrona. Såväl tidtabellen som omloppsplanen togs därför fram gemensamt (bilaga 58-60). Det behövs tre tågset i alla alternativ, så att förkortningen i restids- och linjelängd bara ger något bättre resultat angående driftkostnader.

4.3.10 Linje 11103 Uppsala-Nyköping/Järna

Linje 11103 planeras som snabbpendel mellan Uppsala och Nyköping (UA1 och 2) eller Järna (JA). För övrigt är linjeförningen, restider och antalet dubbelturer per dygn och maxtimme samma i alla alternativ.

När tidtabellen och omloppsplaner togs fram upptäcktes att förtätningen i trafiken i rusnings-tid ger betydliga skillnader i fordonsbehovet på denna linje. Eftersom förstärkt trafik i rusningstid bedöms som nödvändig valdes dock ändå den bästa lösningen som säkerställer detta. Fordonsbehovet går därmed upp till nio stycken i UA1 och UA2 och åtta stycken i JA. Med samma turtäthet hela dagen kunde detta minskas om tre fordon, dvs. till sex tågset i UA1/2 respektive fem i JA. Tidtabellerna och omloppsplaner finns i bilaga 61-63.

Trots att det behövs ett fordon mer för trafikeringen i UA1 och UA2 (med lika många avgångar, dock längre restid och linjelängd då linjen slutar i Nyköping) är utnyttjandet bäst i dessa alternativ.

4.3.11 Reservtåg

Som för IR-tågen genomfördes även för regionaltågslinjerna en DISPO-körning per alternativ där alla linjer betraktades tillsammans för att effektivisera fordonsanvändningen ännu mer. Bilagor 64-66 visar resultaten.

Resultatet i den gemensamma körningen jämfördes med summan över alla regionaltågslinjer. I UA1 och UA2 kunde det inte uppnås några fler insparningar (totalt 53 tågset typ regionaltåg i båda alternativ). I JA däremot lyckades det med en minskning om två fordon (61 i stället för 63 fordon).

Beräkningen i DISPO genomfördes på samma sätt som för IR-tågen (4.2.4 Reservtåg). Därmed fick man ett behov av tio reservtågset för både alternativen med ny infrastruktur och 13

fordon i JA. Som för IR-tågen är även här förhållandet mellan tidtabellsbetingat fordonsbehov och reservtågen mer effektivt i alternativen UA2 och UA1 än i JA.

4.3.12 Jämförelse regionaltåglinjer

Här ska först visas hur utbudet skiljer sig i de tre alternativen (Tabell 30).

	Antal linjer	dbt	km/tur	tdt (h)/tur	km total	Tdt (h) total	Km/h	Stops/tur
UA2	9	144	155,69	01:41	44837,30	485:26:00	92,49	11,94
UA1	10	137	179,79	01:47	49262,00	493:06:00	100,82	11,80
JA	14	165,5	187,19	01:55	61960,00	636:28:00	97,66	11,44

Tabell 30: Jämförelse utbud regionaltåglinjer

Störst utbud i JA ger högst antal kilometer och tidtabellstimmar. Även turrelaterat är dessa värden högst i jämförelsealternativet. I UA2 ska det fler dubbelturer insättas än i UA1, trots detta är alla andra värden lägst i alternativet med Götalandsbanan. Intressant är att medelhastigheten är högst i UA1 och lägst i UA2.

Tabell 31 ger en översikt över fordonsbehovet i relation till utbudet.

	Antal fordon	km/fordon	Tdt/fordon	turer/fordon	stopps/tur	stopps/fordon
UA2	52	862,26	9:20:07	5,54	11,94	66,12
UA1	52	947,35	9:28:58	5,27	11,80	62,15
JA	63	983,49	10:06:10	5,25	11,44	60,13
JA DISPO	61	1015,74	10:26:02	5,43	11,44	62,10

Tabell 31: Sammanställning tågsetsbehov regionaltåglinjer inkl. relativa värden

I JA uppnås den högsta prestationen per tågset. Detta beror dock delvis på att restider och sträckor är längre än i de andra alternativen där ny infrastruktur effektiviserar tider och sträckor. Detta syns även på totalkostnader. Dessa är i JA betydligt högre än i UA1 och UA2. Detta beror dock även på större regionaltågsutbud jämfört med de andra två alternativen.

	driftkostnader (SEK)	Fordonskostnader (SEK)	Totalkostnader (SEK)	SEK/fordon	SEK/km	SEK/tdt	SEK/tur
UA2	616 500 kr	1 163 613 kr	1 780 113 kr	34 232 kr	39,70 kr	3 667,06 kr	6 180,95 kr
UA1	626 237 kr	1 184 212 kr	1 810 449 kr	34 816 kr	36,75 kr	3 671,57 kr	6 607,48 kr
JA	808 312 kr	1 512 203 kr	2 320 516 kr	36 833 kr	37,45 kr	3 645,94 kr	7 010,62 kr

Tabell 32: Sammanställning kostnader regionaltåglinjer samt nyckeltal

Slutligen kan man säga att JA med störst utbud även har högst fordonsbehov, speciellt om reservfordonen räknas in. Jämförd med de andra alternativen är fordonsbehovet dock mest effektivt. Genom längre färdtider och –sträckor är kostnader för trafikeringen i JA högre än i UA1 och speciellt i UA2.

4.4. Resultat

Här ska nu sammanställas alla resultat. De tre alternativen ska jämföras och bedömas med hjälp av resultaten som presenterades innan.

I bilaga 67 presenteras allt utbudsdata. Tabell 33 jämför det totala antalet dubbelturer för alla alternativ och trafikslag. Mest antal dbt ska det insättas i alternativet med Götalandsbanan, UA2, i vilket det även ska köras mest kilometer och tidtabellstimmar. I tabellen visas även

hur stor andelen dubbelturer, körda kilometer och tidtabellstimmar är i de andra alternativen jämfört med UA2. För varje trafiksystem anges även hur dubbelturer, sträckorna och trafikeringstimmarerna är fördelade på trafiksystemen.

	dbt total	Andel HHT	Andel IR	Andel Reg	km total	Andel HHT	Andel IR	Andel Reg	tdt total	Andel HHT	Andel IR	Andel Reg	Km/h
UA2	249,0	0,16	0,26	0,58	124336,50	0,33	0,31	0,36	988:32:09	0,23	0,28	0,49	125,8
UA1	218,5	0,17	0,21	0,63	111209,62	0,33	0,22	0,44	928:55:00	0,27	0,20	0,53	119,7
JA	204,5	0,19	-	0,81	103510,00	0,40	-	0,60	925:50:00	0,31	-	0,69	111,8
Andel UA1/UA2		0,88		0,89		0,94						0,95	
Andel JA/UA2		0,82		0,83		0,94						0,89	

Tabell 33: Utbudsdata och respektive andel för varje trafikslag i jämförelse

Såväl det dagliga antalet dubbelturer som antalet körda kilometer är elva respektive 17 % högre i UA2 än i UA1 och JA. Därför att förbindelserna mellan två stationer i stor sett blir kortare med den nya infrastrukturen tillryggaläggs mycket mer effektiva km i UA2. Även den genomsnittliga hastigheten är enligt förväntan högst i alternativet med Götalandsbanan.

Den största skillnaden mellan UA1 och JA utgör IR-tågen då snabbtåglinjerna är lika i båda alternativen. Intressant att se är att såväl antalet körda kilometer som antalet dubbelturer är betydligt högre i UA1 än i JA, medan tidtabellstiden är likvärdig.

Tabell 34 jämför de alternativa trafiksystemen angående fordonsbehovet.

	fordonstyp	dbt	Antal fordon	km/for don	tdt/for don	turer/for don
UA2	B320	24	10	2208,00	10:50:24	4,80
	S250	16	10	1915,20	12:14:24	3,20
	B250	64,5	30	1275,57	9:04:36	4,30
	X52	144	52	862,26	9:20:07	5,54
	Total	248,5	102	1218,99	9:41:29	4,87
UA1	S200	20	12	1512,17	10:29:50	4,00
	S250	16	11	1709,09	11:04:22	2,91
	B250	45	20	1250,08	9:24:09	4,50
	X52	137	52	947,35	9:28:58	5,27
	Total	218	95	1170,63	9:46:41	4,59
JA	S200	20	12	1512,17	10:29:50	4,00
	S250	19	14	1671,71	11:40:17	2,71
	X52	165,5	61	1015,74	10:26:02	5,25
	Total	204,5	87	1189,77	10:38:30	4,70

Tabell 34: Jämförelse angående fordonsbehovet (alla fordonstyper i alla varianter)

Inom varianterna kan det synas att de snabbare tågen absolverar i genomsnitt en längre färdsträcka per fordon än de andra tågen. Detta beror inte bara på deras prestation, utan även på målet att de ska koppla ihop städer som ligger långt ifrån varandra, vilket inte motsvarar målet för t.ex. regionaltåg och vilket innebär att det med hänsyn till restidsmålet inte finns lika många mellanliggande stationer.

Sammanlagt behövs det 102 tågset i UA2, 95 i UA1 och 87 i JA. Detta motsvarar ordningsföljden i utbudet (antalet dubbelturer, tidtabellstiden och antalet kilometer är högst i UA2 och minst i JA). Genomsnittligt hinner varje fordon med flest avgångar i UA2 trots att turlängden och tidtabellstiden i snitt är störst i detta alternativ (bilaga 67).

Fordonsinsatsen är därmed mest effektiv i alternativen där hela Götalandsbanan ska byggas. Jämför man fordonsanvändningen i UA1 med den i JA ser man att fordonen används till färre turer i UA1. Dessa turer är dock genomsnittligt längre än i JA så att antalet kilometer per fordon är likvärdiga i bägge alternativen.

För vidare bedömning ska i anslutning till detta kostnaderna betraktas. Beroende på att olika fordon används till olika stora andelar i alternativen uppstår avsevärda skillnader. Därför visas kostnaderna och flera andra uppgifter för de olika fordonstyperna igen (Tabell 35):

fordonstyp	användning	alternativ	Driftkostnader		Fordonskostnader		Antal sittplatser per tåg
			SEK/km	SEK/h	SEK/km	SEK/h	
TX3000	B320	GB	0	1466	12,71	2302	300
TX2000	S200	VV, OL	13,42	4106	8,65	1393	318
TX25	S250	alle	0	1417	10,03	2137	300
TX24	B250	GB, OL	0	1417	9,95	2193	250
TRegX50	X52	GB, OL, VV	0	1270	9,56	1247	190

Tabell 35: Sammanställning av alla använda fordonstyper inkl. Kostnader och kapacitet

Kilometerkostnaderna är därmed högst för tågtypen S200 som används som snabbtåg på Västra Stambanan i alternativ UA1 och JA och lägst för regionaltågen. Det samma gäller för tidsrelaterade kostnader. Hänsyn måste dock tas till att de skiljer sig i kapaciteten. Tågtyp S200 kan transportera 318 personer vilket överstiger kapacitet på alla andra betraktade tåg. Regionaltågen har med bara 190 platser minst kapacitet.

För att analysera effekterna sammanställdes kostnaderna i Tabell 36 och sattes i förhållande till utbudet (Tabell 37).

	fordonstyp	Antal sittplatser per fordon	Driftkostnader (SEK)	Fordonskostnader (SEK)	Total (SEK)
UA2	B320	300	158 914	530 174	689 088
	S250	300	173 441	453 663	627 104
	B250	250	385 853	977 918	1 363 771
	X52	190	616 500	1 163 614	1 780 114
	Total	223,28	1 334 708	3 125 368	4 460 077
UA1	S200	318	760 738	332 434	1 093 173
	S250	300	231 538	583 928	815 466
	B250	250	266 467	661 160	927 627
	X52	190	626 237	1 184 213	1 810 450
	Total	222,20	1 884 980	2 761 735	4 646 715
JA	S200	318	760 738	332 434	1 093 173
	S250	300	172 591	448 851	621 441
	X52	190	808 313	1 512 204	2 320 516
	Total	212,74	1 741 642	2 293 489	4 035 130

Tabell 36: Totalkostnader (drift och fordon) i UA2, UA1 och JA

I alla tre alternativa trafiksystem utgör regionaltåglinjerna (fordonstyp X 52) den största delen av kostnaderna trots att detta tåg har de lägsta fordons- och driftkostnaderna i jämförelse med de andra. Detta beror på att de trafikerar den längsta sträckan och längsta tidtabellstiden.

Märkligt är att totalkostnaderna i Utredningsalternativ 2 (med Götalandsbanan) med störst utbud inte överskrider dem i UA1. Trafikeringen i JA är bara 10 % billigare trots att turutbudet är 18 % lägre och den totala sträckan 17 % kortare. Dessa skillnader beror dels på de högre

hastigheterna och de andra fördelarna i UA2, dock även på att tågtypen S200 som bara insätts i UA1 och JA är i jämförelse mycket dyrare än andra tågtyper.

Relaterad till antal kilometer och tidtabellstimmar är Jämförelsealternativet mest effektivt. Detta är dock inte ovillkorligt en fördel då den mindre effektiva infrastrukturen innebär större tidsåtgång och längre sträckor.

	fordonstyp	SEK/fordon	SEK/km	SEK/tdt	SEK/tur	SEK/plats och tur	SEK/plats och km
UA2	B320	68 909	31,21	6 357	14 356	47,85	0,104
	S250	62 710	32,74	5 123	19 597	65,32	0,109
	B250	45 459	35,64	5 008	10 572	42,29	0,143
	X52	34 233	39,70	3 667	6 181	32,53	0,209
	Total	43 726	40,11	4 801	8 974	40,19	0,180
UA1	S200	91 098	60,24	8 678	27 329	85,94	0,189
	S250	58 248	34,84	4 991	21 460	71,53	0,116
	B250	46 381	37,10	4 933	10 307	41,23	0,148
	X52	34 816	36,75	3 672	6 607	34,78	0,193
	Total	48 913	41,78	5 002	10 658	47,96	0,188
JA	S200	91 098	60,24	8 678	27 329	85,94	0,189
	S250	56 495	33,06	5 102	19 420	64,73	0,110
	X52	36 834	37,45	3 646	7 011	36,90	0,197
	Total	46 381	38,98	4 358	9 866	46,38	0,183

Tabell 37: Relativa kostnader

Kostnaderna per sittplats och tur respektive kilometer är lägst i UA2. Med tanke på att såväl utbud som fordonsinsats är störst i detta alternativ kan man bedöma UA2 som mest effektivt.

En översikt över resultaten som tidtabellsplaneringen levererade ger den grafiska tidtabellen över samtliga linjer som är bifogad som bilaga 68. Det visas hela trafiken på Götalandsbanans utsträckning för en vardag.

5 Analys av arbetsmetod

För att komma fram till resultaten som presenterades i avsnitt 4 krävdes en hel del planeringsarbete i och med att inte bara omloppsplaner utan även de tillhörande tidtabellerna måste utvecklas. Eftersom syftet var att få fram den mest effektiva omloppsplanen så analyserades den tillsammans med de andra påverkande faktorerna.

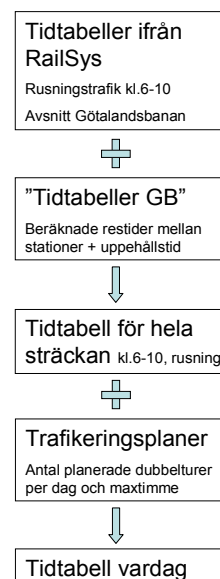
5.1 Tidtabeller

Det första planeringssteget innehöll utvecklingen av en lämplig tidtabell motsvarande efterfrågan samt vissa regler och principer som ska beskrivas i det här kapitlet.

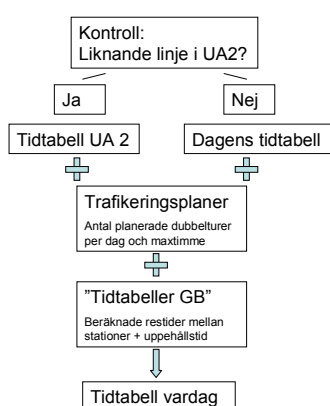
5.1.1 Framtagningen av tidtabeller – beskrivning av processen

Basdatan, som togs ifrån projekt Ostlänken respektive SJs tidtabeller skiljde sig åt mellan de olika alternativen. Därför var även tidtabellsplaneringsprocessen annorlunda mellan de olika alternativen.

I samband med kapacitetsanalysen inom projektet Ostlänken utvecklades, med hjälp av programmet RailSys, tidtabeller för rusningstrafiken mellan kl. 6:00 och 10:00 för alternativ **UA2**. Eftersom kapacitetsanalysen bara genomfördes för Götalandsbanan togs det bara fram tidtabeller för respektive delavsnitt som linjerna ska trafikera på denna infrastruktur. För omloppsplaneringen togs därför dokumentet "Tidtabeller GB" till hjälp. Detta innehåller beräknade restider för alla linjer i alla tre alternativen mellan alla stationer som respektive linje trafikerar. Med hjälp av dessa två underlag gjordes planer för hela linjen. Då dessa dock bara omfattade det beskrivna tidsintervallet på morgonen togs projekt Ostlänkens trafikeringsplaner för Götalandsbanan (enligt *PM Principgraf Götalandsbanan 2030*) [13] till hjälp för att kunna genomföra detta. De enligt dessa planerade dubbelturer fördelades över dagen för att slutligen få en vardagstidtabell. Figur 25 visar denna planeringsprocess.



Figur 25: Framtagning av tidtabeller i UA 2



Figur 26: Framtagning av tidtabeller i JA och UA 1

Vid framtagning av tidtabellerna för **UA1** och **JA** fanns det beroende på den planerade trafikeringen två olika arbets sätt: I fall att framför allt restiden och infrastrukturen på en linje skulle vara lik den motsvarande i UA2 användes det så mycket som möjligt av avgångs- och ankomst-tiderna ifrån UA2 in kombination med dokumentet "Tidtabeller GB" och liknande planering som i UA2. Fanns det dock inga likheter planerades tiderna baserade på dagens tidtabell (RESPLUS tågtider). Detta förtydligar Figur 26.

Hur de här beskrivna processerna fungerar exakt och vilka problem som uppstår vid tidtabellsplanering ska visas senare mha exempel.

5.1.2 Principer för tidtabellerna

De allmänna principerna angående basdata beskrevs i föregående avsnitt. Här ska det nu beskrivas mer noggrant vilka grundregler som användes för att skapa en dygnstidtabell utifrån linjedata (nummer, turtäthet i maxtimmen, antal dubbelturer/dag) samt avgångs-/restider.

Tidtabellsplaneringen gjordes i stort sett enligt följande principer:

- Tåg i motsatt riktning på en linje ska mötas vid heltimme (för att möjliggöra en systemtidtabell)
- Ankomst- och avgångstider ska vara hela minuter
- Linjer med samma eller liknande uppehållsmönster ska kopplas
- Hänsynstagande till kapacitet av stationer och spår som passeras av flera linjer

Principerna och anledning till deras användning förklaras senare i samband med exempel utifrån praktiken. De var speciellt viktiga vid framtagning av avgångstider för linjer i UA1 och JA där det som sagt varken hade gjorts någon kapacitetsanalys i RailSys eller utvecklats några avgångstider.

Avgångs- och ankomsttider utifrån RailSys antogs vara exakta så att de nästan alltid togs som de är. Jämförs restider utifrån dessa tider dock med samma värde utifrån "**Tidtabeller GB**"

finns det oftast betydande skillnader. Det beror delvis på brister i beräkningsprecisionen men också på de i den första beräkningen ej iakttagna omkörningarna, uppehållstiderna mm. Det visas till exempel när man jämför tiderna för höghastighetslinje 6002 mellan Stockholm och Göteborg:

RailSys				Beräkning
Cst	06:08	Gbg	05:38	
Gbg	08:23	Cst	07:53	
Restid	2:15		2:15	02:13

Tabell 38: Tdt Stockholm-Göteborg

Enligt RailSys tar resan (inklusive uppehåll i Borås och Jönköping) två minuter längre tid än vad som beräknades i "Tidtabeller GB". Eftersom tiderna i det här fallet kan fås kompletta utifrån RailSys spelar det här ingen roll. Det gör det dock på de flesta andra linjer, där det inte finns RailSys-tider för hela sträckan. Eftersom RailSys-tiderna är mer noggranna användes de där de existerar. Övriga tider justerades genom att skillnaden i restid på avsnittet där RailSys-tider existerar räknades in. Ett exempel är IR-linje 6005 i UA2 mellan Nässjö och Gävle. För denna linje finns det bara RailSys-tider mellan Linköping och Stockholm.

Linje 6005	Beräkningar	RailSys
Nässjö	-	-
Linköping	00:52	-
Stockholm C	01:17	01:24
Gävle	01:18	-

Tabell 39: Tdt linje 6005

Eftersom restiden mellan Linköping och Stockholm är mycket längre i RailSys-beräkningarna än i de som gjordes för "Tidtabeller GB" kan man anta att det även finns några skillnader (om inte fel) i de andra tiderna. Därför beräknades en faktor genom att dela RailSys-tiden med den beräknade tiden. De nya värdena för de andra delavsnitten beräknades genom att multiplicerade de gamla värdena med denna faktor. Hur bra detta stämmer kan man bara undersöka genom att göra en undersökning med RailSys för de andra sträckorna också. Detta kräver dock för mycket arbete för att vara lönsamt så att tiderna antogs vara lämpliga. Man får dock inte glömma bort att det mest handlar om befintlig infrastruktur här medan RailSys-värdena beräknades för nya delar.

Hur tidtabellen för linjer utan jämförbar linje i UA2, dvs. utan några stödpunkter angående avgångstider, planerades ska beskrivas med hjälp av linje 6002 Stockholm-Göteborg i UA1 och JA där denna linje planeras vara identisk. Den ska trafikeras med ett annat fordon än linjen i UA2 och använder den befintliga Västra Stambanan i stället för den nya Götalandsbanan. Detta motsvarar dagens trafikering så att X2000s aktuella tidtabeller användes som stöd (bilaga 10). Där avgår tågen från Stockholm mot Göteborg med några undantag i timintervall mellan kl. 06:15 och 20:15. Trafiken i motriktningen är ganska lik, avgångstiden där är 42 över. I JA och UA1 räknas det med 20 dubbelturer (inkl. en till/från Uddevalla respektive Borås). De 18 dagliga dubbelturerna idag har olika uppehållsmönster så att det också är några skillnader i restiden. Restiden i UA1 och JA är fyra till fem minuter längre än den på dagens linje. Avgångstiderna bestämdes därför på följande sätt: Dagens avgångstid i Stockholm övertogs och justerades genom att det togs hänsyn till alla ovan nämnda principer.

Första mål var att möjliggöra en **systemtidtabell** genom att låta tågen i motsatt riktning mötas till hel timme. En systemtidtabell är uppbyggd på så sätt att alla tågmöten (inom varje linje) sker till samma tid och om möjligt på strategiskt passande ställen. Detta ska förenkla byten och minska väntetider. Efterfrågan och turtätheten är i dagens tågtrafik i Sverige för låga för en systemtidtabell där tågplanen upprepas exempelvis varje timme som t.ex. i Schweiz och Tyskland. Eftersom systemtidtabellen dock utvidgas stegvis tas såväl här som i dagens planering redan hänsyn till principen "tågmöte vid minut 00". Det syns i dagens avgångstider:

Sth (avgång)	Gbg (ankomst)	Gbg (avgång)	Sth (ankomst)
06:15	09:17	09:42	12:45

Ett tåg som avgår kvart över från Stockholm når därmed inom 45 minuter (=00) samma ställe som ett i motsatt riktning som ska vara framme i Stockholm 45 minuter senare. För planeringen av avgångstiderna i det här arbetet verkar det rimligt att dela upp de fem minuter som restiden på den nya linjen överstigar den gamlas så att tiderna inte förskjutas för mycket och att risken för konflikter med andra befintliga linjer minskas:

Sth (avgång)	Gbg (ankomst)	Gbg (avgång)	Sth (ankomst)
06:12 (= -0:03)	09:19 (= +0:02)	09:40 (= -0:03)	12:47 (= +0:02)

Den här uppdelningen innebär dock att **vändtiden** som står till förfogande i Göteborg minskas från 25 till 21 minuter. Eftersom 21 minuter verkar något för kort för att förbereda tågsetet för nästa avgång och utjämna förseningar valdes dock att endast förskjuta avgångarna mot Göteborg (vilket innebär att ankomsten i Stockholm fördröjs med fem minuter):

Sth (avgång)	Gbg (ankomst)	Gbg (avgång)	Sth (ankomst)
06:10	09:17	09:42	12:50

Slutligen togs, så gott som det är möjligt utan en riktig kapacitetsanalys, även hänsyn till andra linjer som ska trafikera samma infrastruktur. Viktigt är att valet av tiderna även ske rimligt med tanke på koppling med andra linjer (se nedan).

Turerna över dagen fördelades med hänsyn till efterfrågan. Rusningstider antogs vara mellan kl. 6:30 och 8:30 på morgonen samt kl. 15:30 och 17:30 på eftermiddagen. Avvikelser förekom beroende på antal planerade dubbelturer respektive regionala egenskaper. Så bestämdes t.ex. att stor turtäthet på linjer som passerar Stockholm är viktigast inom den perioden som möjliggör en ankomst till staden innan kl. 09:00. Undantag beroende på antal planerade dubbelturer gjordes om det planeras för många eller för få avgångar för att kunna förtäta trafiken på det ovan beskrivna sättet utan att ändra den önskade turtätheten. Detta åtgärdades genom att köra utan förtätning i trafiken i högtrafiktiden eller tvärtom att det körs tät trafik hela dagen. Alternativt kan även förtätningen i trafiken förskjutas, förkortas eller förlängas. Som exempel hur planeringen genomfördes och hur sådana svårigheter kan uppstå ska linje 6002 mellan Göteborg och Stockholm i alternativ UA2 visa. Den här linjen ska enligt PM Principgraf trafikeras med en dbt per maxtimme och riktning och totalt tolv dbt per dygn. Tabell 40 visar tre möjligheter (V 1-3) hur turfördelningen vid givna avgångstider i riktning Stockholm kan se ut:

Gbg	04:38	05:38	06:38	07:38	08:38	09:38	10:38	11:38	12:38	13:38	14:38	15:38	16:38	17:38	18:38	19:38	20:38	21:38	22:38	23:38	00:38	01:38	02:38	03:38		
Cst	06:53	07:53	08:53	09:53	10:53	11:53	12:53	13:53	14:53	15:53	16:53	17:53	18:53	19:53	20:53	21:53	22:53	23:53	00:53	01:53	02:53	03:53	04:53	05:53	Σ	
V1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1											12	
V2	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1				1	12
V3		1	1	1	1		1		1		1	1	1	1		1		1								12

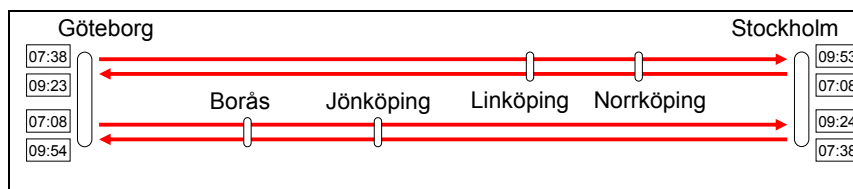
Tabell 40: Olika alternativ för trafikeringen på linje 6002 (Gbg-Cst), Alternativ UA2

Vid tät trafik hela dagen, vilket i detta fall är timmestrafik, skulle det bara kunna köras elva timmar per dag. Även med relativt sen start på morgonen (första ankomst i Stockholm strax innan kl.9) räcker antalet avgångar bara till för att täcka tiden fram till kl. 17:38, vilket betyder att det inte finns några avgångar alls på kvällen. Med låg trafik hela dagen (V 2) däremot är avgångarna med två-timmars-mellanrum jämnt fördelade över dagen. Detta ger alltså bättre utbud på natten, dock sämre under dagtid när efterfrågan är hög och det motsvarar därför inte heller marknadens krav. I det tredje alternativet, V3, förstärktes trafiken mellan kl. 05:38 och 08:38 samt kl. 14:38 och 17:38. Detta motsvarar inte helt de ovan beskrivna modellerna och är inte heller riktigt anpassat till efterfrågan, erbjuder dock mycket lämpligare trafik än de andra två varianterna. Det finns ett stort antal olika varianter för att fördela trafiken över dagen.

Till exempel skulle man kunna börja köra med tvåtimmarsmellanrum redan efter 8 eller sluta med den något senare på eftermiddagen än i exemplet. I det beskrivna planeringsarbetet inleds det i regel som ovan med tre alternativen (tät trafik hela dagen, låg trafik hela dagen, förätning i rusningstid) som sedan användes för att genom optimering få fram en fördelning som motsvarar efterfrågan bäst. I de flesta fallen genomfördes omloppsplanering för alla dessa varianter för att se vad som är bäst och vilka anpassningar som kan ge positiva resultat. Även koppling till andra linjer, dvs. att avgångstiderna är samordnade måste beaktas vid tidtabellsplaneringen.

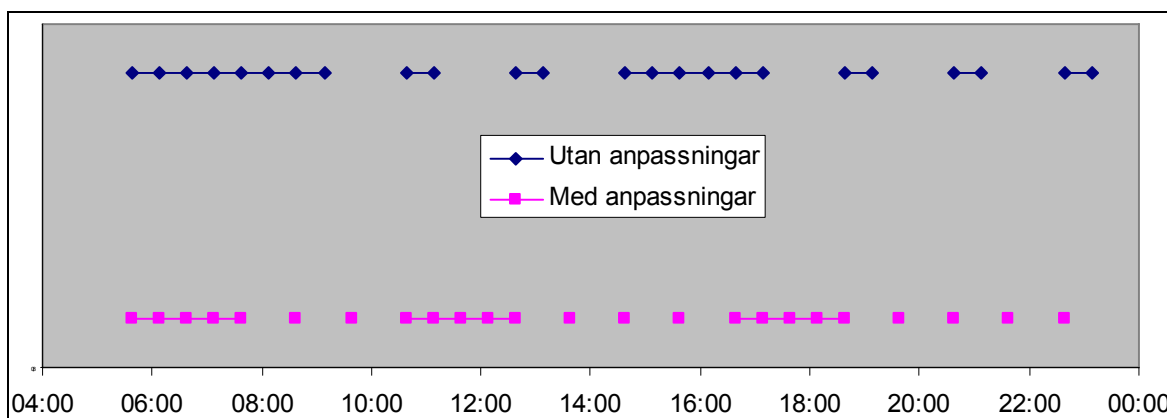
Problemen som kan uppstå när två eller fler linjer ska **kopplas** ska förklaras med samma exempel. Linje 6002 Stockholm-Göteborg ska kopplas med linje 6003 som trafikerar samma sträcka men stannar i Linköping och Norrköping i stället för Borås och Jönköping. Som bas för tidtabellen togs variant tre i Tabell 40.

Tiderna i RailSys gynnar kopplingen i och med att avgångs- och ankomsttider i Stockholm och Göteborg är förskjutna till varandra med en halvtimme (Figur 27):



Figur 27: Kopplade linjer 6002 och 6003

Detta ger halvtimmestrafik mellan storstäderna Göteborg och Stockholm och timmestrafik till och emellan mellanstationerna i rusningstiden. Med samma turtäthet hela dagen skulle detta fungera bra, problem uppstår dock om turtätheten på linjerna ska minskas utanför rusningstiderna. Planerar man fördelningen över dagen enligt de beskrivna principerna separat för båda linjerna och lägger sedan ihop tidtabellerna, får man en trafikering med avgångar från Stockholm/Göteborg växelvis i tvåtimmes- eller halvtimmesmellanintervall. Figur 28 visar detta (blå prickar). Önskad är däremot en trafikeringen motsvarande den rödmarkerade som ger en mycket bättre och jämnare fördelning av turerna mellan rusningstiderna:



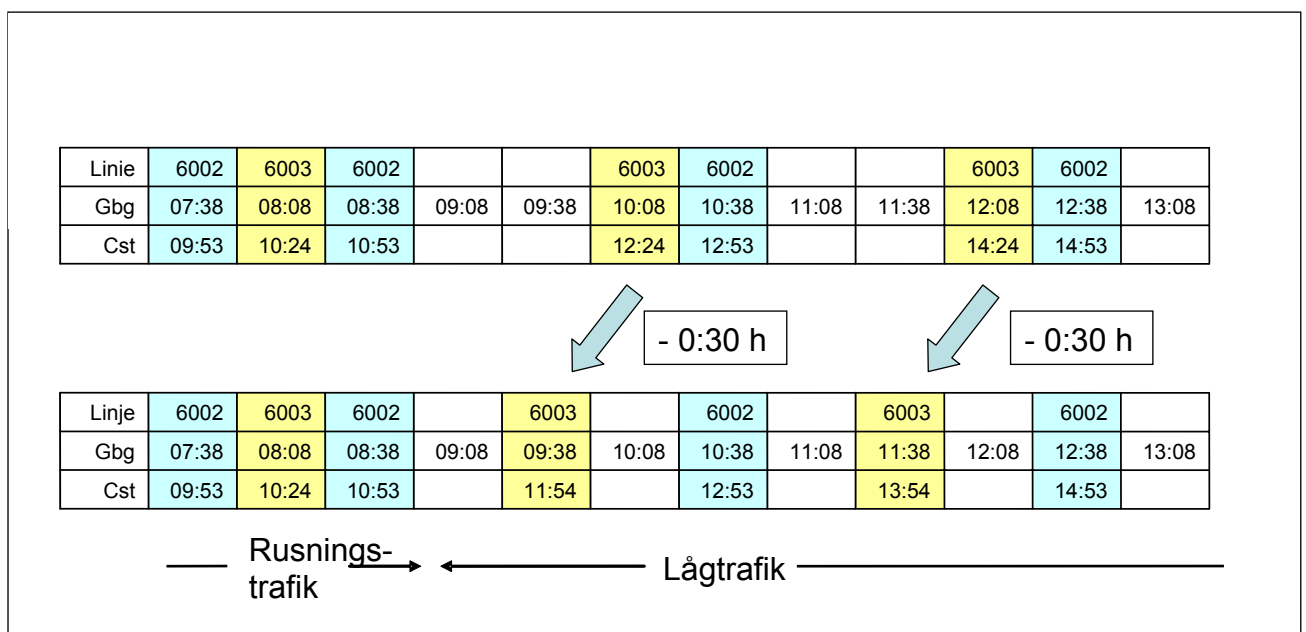
Figur 28: Jämförelse avgångar från Göteborg med/utan anpassning till koppling

Ha man halvtimmestrafik mellan Göteborg och Stockholm i rusningstiden, vill man helst ha timmestrafik där emellan. För att möjliggöra detta måste några svårigheter lösas. Eftersom turerna på den ena linjen alltid avgår 08 men 38 på den andra, är timintervaller mellan avgångarna inte möjliga om man bara överför tiderna ifrån den separata planeringen. För att få en jämn fördelning finns det två möjligheter. Antingen slutar man med en linje i rusningstid och låter samtidigt den andra fortsätta i tät takt, eller så ändra man avgångstiden på en linje

under denna tid. För huvudmarknaden Stockholm-Göteborg ger båda lösningarna samma resultat, timmestrafik. Annorlunda blir det dock för mellanmarknaden: Då en linje stannar i Norrköping och Linköping medan den andra stannar i Jönköping och Borås innebär den första lösningen timmestrafik som i rusningstid vid två av stationerna samtidigt som de andra två stationerna inte trafikeras alls. Trots att marknaden mellan Sveriges två största städer dominerar är detta naturligtvis ingen försvarbar lösning.

Men även det andra alternativet, att **ändra avgångstiden** på en linje, har nackdelar. Resplaneringen blir mycket enklare om avgångstiderna är konstanta hela dagen. Med undantaget att det utförs färre turer utanför rusningstiden kvarstår avgångs- och ankomsttiderna i Stockholm och Göteborg samt vid två av mellanstationerna, medan de flyttas om 30 minuter på de två övriga vilket försvårar planerandet för resenärerna. Ett större problem är dock kapaciteten på banan. På en mycket trafikerad sträcka som Götalandsbanan måste alla linjer vara precis anpassade till de andra. Detta genomfördes i kapacitetsanalysen med RailSys. Ändringar i avgångstiden är därmed svårt att genomföra. Medan tiderna i Stockholm och Göteborg är motsvarande på både linjerna uppstår konflikterna på sträckan eftersom en av linjerna har uppehåll på stationerna på östra delen, den andra på västra delen. Därmed passerar en linje första delavsnittet snabbare och andra avsnittet långsammare än den andra och tiderna jämnas först ut när båda linjerna har passerat Borås respektive Norrköping i motsatt riktning. För alla kopplade linjer undersöktes därför i samband med den här planeringen om byte av avgångstiden var möjligt. Med hjälp av några ändringar lyckades detta på alla de berörda linjerna så att denna metod användes för alla kopplade linjer.

Kopplingen i tidtabellen gjordes sedan på följande vis: De efter grundprincipen separat för varje linje framtagna tidtabellerna sattes ihop. Sedan genomfördes den beskrivna förskjutningen på den ena linjen för att skapa en lämplig övergång mellan rusnings- och mellantid (Figur 29).



Figur 29: Övergång mellan rusnings- och lågtrafikperioder

Även vid övergång till rusningstrafik på eftermiddagen måste en förskjutning i tidtabellen genomföras. Början på denna rusningstid måste väljas lämpligt. Utifrån efterfrågans behov kan det vara mest effektivt att inte ändra tillbaka förskjutningen som gjordes vid första växeln till lågtrafik utan ändra den andra linjens avgångstid den här gången. Denna åtgärd resulterar i att

avgångs- och ankomsttiderna på linjen är utbytta jämförd med rusningstrafiken på morgonen. Detta gör att det ovan beskrivna problemet med olika tider uppstår på båda linjerna. Efter eftermiddagsrusningen måste trafiken ändras till lågtrafik igen och därmed ännu en gång ändras avgångstiderna på en av de två linjerna. En viktig aspekt i den här planeringen är att man tar hänsyn till att trafikförtätningen är anpassad till efterfrågan. Efter anpassningen måste även kontrolleras att antalet turer stämmer med vad som planerades. Tidtabellerna måste naturligtvis tas fram för båda riktningarna.

5.2 Samband mellan tidtabellerna och omloppsplaneringen

De beskrivna metoderna ledde steg för steg till allt lämpligare tidtabeller. Efter att tidtabeller hade tagits fram så långt betraktades dessa i **samband med omloppsplaneringen**. Av denna anledning matades tidtabellerna och allt andra nödvändiga data in i DISPO.

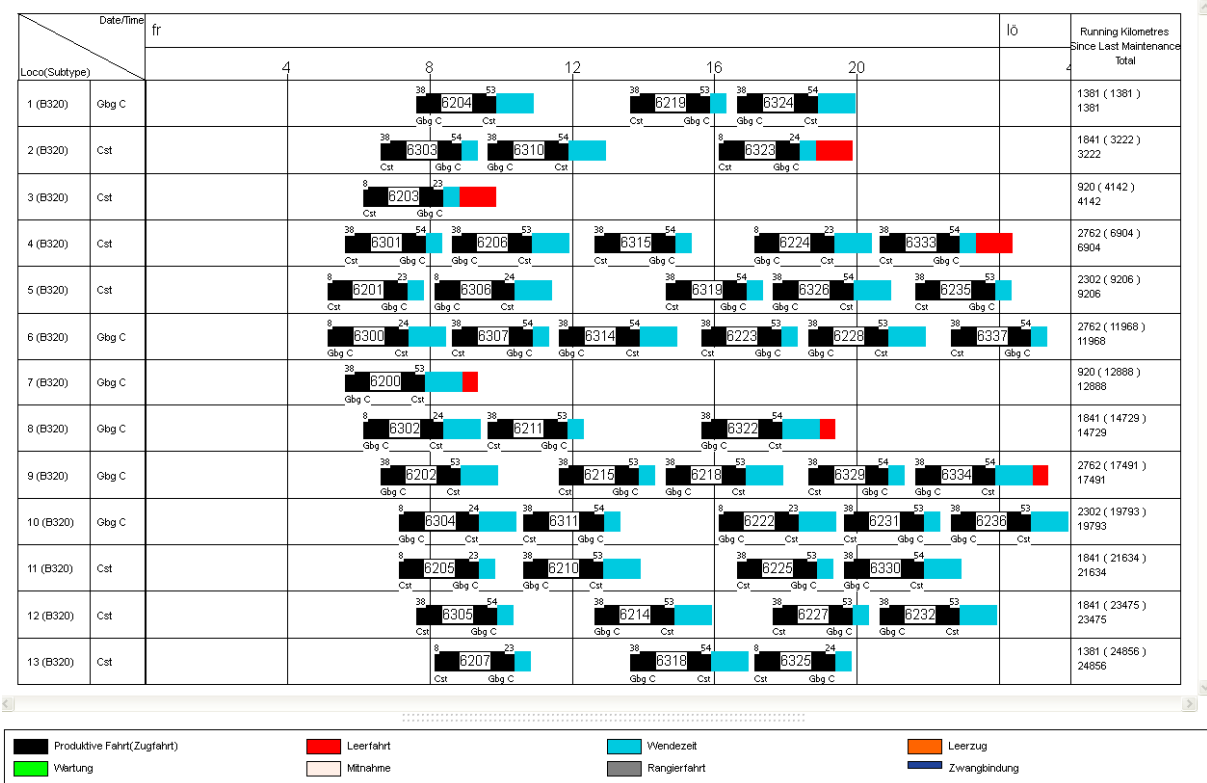
Förutom sträcklängder och fordonstyper är även **vändtiden** en viktig faktor vid omloppsplanering i DISPO. Som tidigare förklarats är detta den tid som framför allt står till förfogande för att vända tåget, utjämna förseningar och genomföra serviceåtgärder samt för på- och avstigning. De tider som användes för respektive trafiksystem i stationerna finns i bilaga 69. Metoden som utvecklades genom arbetet ska nu visas.

Som **basvärde** användes de tider som används idag. Dessutom bestämdes att vändtiderna skulle utgöra minst 10 % av den totala restiden på den berörda linjen, dock inte mindre än tio till 15 minuter. Det togs speciellt hänsyn till stationernas geometri samt behovet för serviceåtgärder på respektive station. Även sträckans utnyttjande och därmed sannolikhet för förseningar var en viktig faktor vid planering av den minsta vändtiden. Vändtider i DISPO anges bara för stationer och inte för linjer. I fall en station var slutstation för två linjer som ska trafikeras med samma fordon, men som ställer olika krav, måste lämpliga tider väljas

Med hjälp av den här bakgrunden bestämdes sedan de konkreta tiderna i samband med vad som var lämpligt för omloppen. Sambandet utreddes och förändringar i såväl tidtabellen som vändtiden gjordes för att få den optimala lösningen. Även denna metod ska beskrivas med hjälp av höghastighetslinjerna 6002 och 6003 (Stockholm-Göteborg) i alternativ UA2.

Som utgångsvärden togs det 25 minuter vändtid i Göteborg och 60 i Stockholm vilket är tiderna utifrån dagens tidtabell för X2000. Stockholm C kräver pga. dess storlek och geometri mycket tid, medan säckstationen i Göteborg möjliggör att tågen kan ankomma till och avgå från samma spår. Dessutom genomförs det fler serviceåtgärder i Stockholm än i Göteborg. I Stockholm förs tågen till ett speciellt servicespår för dessa åtgärder. Även större underhållsåtgärder för snabbtågen genomförs nära Stockholm C. Dessa principer antogs även vara lämpliga för framtidens trafik.

Omloppsplanen beräknades i DISPO och den resulterande grafiken betraktades. Redan här sågs det ibland ett anpassningsbehov. Så till exempel även på de två kopplade höghastighets-tåglinjerna i UA2 (Figur 20):



Figur 30: Oanpassad omloppsplan kopplade linjer 6002 och 6003, UA 2

Varje rad motsvarar ett tågset, de svarta fyrkanterna är turerna med tågnumret. De ljusblå ytor markerar den minsta vändtiden. Turfördelningen verkar ojämn och uppehållstiderna mellan turerna stora. En sak som blir tydlig i det här fallet är att en enda tur kan göra att det behövs ett ytterligare fordon. Skulle det vara möjligt att stryka avgången på tågset tre eller sju (Figur 30) eller flytta det på ett strategiskt sätt kunde fordonsbehovet minskas. Eftersom manuell förflyttning av turer till andra fordon inte hade någon påverkan på någon av linjerna i examensarbetet utvecklades andra metoder för optimering.

I nästa steg betraktades därför **sambandet mellan tidtabellen och omloppsplanen**. Första problemet som upptäcktes i exemplet var att rusningstrafiken på morgonen bestod av åtta turer medan det bara skulle köras fem turer i halvtimmestrafik på eftermiddagen. I omloppsplanen visas detta genom att det finns betydligt fler luckor på eftermiddagen än på morgonen. Denna insikt gör att en **jämn fördelning på de tidtabellstekniska huvudtrafiktiderna** bör eftersträvas. Kan varken avgångs- eller vändtiderna förändras ger en tidtabell där intervallerna mellan avgångarna är lika hela dagen den mest effektiva fordonsinsatsen. Förtätningen i rusningstiden ökar därmed nästan alltid fordonsbehovet så det måste bedömas hur mycket extra trafik som är nödvändig och hur stora ökningar i fordonsbehovet jämfört med jämn trafik över hela dagen som är acceptabla. Förutom kostnaderna för extra fordon innebär tågset som bara insätts i rusningstid att det måste finnas depåutrymme under dagen på strategiska ställen. De här som exempel använda höghastighetslinjerna mellan Stockholm och Göteborg är ett speciellt fall. Genom utjämning och anpassning av de förtätade intervallerna kunde fordonsbehovet minskas med ett tågset. Med tanke på marknaden analyserades dessutom möjligheten att införa en tredje fas med tätare trafik. Eftersom en av huvudmarknaderna för denna linje är tjänsteresor är det viktigt att skapa acceptabla förbindelser till möten och konferenser. Förutom de vanliga målen att möjliggöra ankomst innan kl. 08:00 eller 09:00 respektive avgång mellan ungefär kl. 15:00 och 18:00 är även lunchtiden intressant. Förstärkt utbud då kan ut-

nyttjas för att resa till möten på eftermiddagen eller tillbaka från sådana som slutar vid lunchtid. Restiden kan dessutom användas för lunchrast. Den stora fördelen för trafikplaneraren är att tågseten som skulle vara stående under denna tid kan sättas in på ett mycket effektivare sätt utan att fler fordon behövs. Naturligtvis kan intervallerna inte väljas fritt utan måste anpassas så att dessa fördelar kan utnyttjas.

Det visade sig under arbetet att viktig information kunde fås ifrån tidtabellen. För respektive tidtabell sammanställdes **uppehållstiderna** (i vilka vändningsprocessen, serviceåtgärder etc. måste ingå) mellan ankomst och nästa avgång som ska trafikeras med samma fordon. Tabell 41 och Tabell 42 visar hur en sådan sammanställning kan se ut för höghastighetslinjerna (enligt tidtabellen med tät trafik i rusningstiderna på för- och eftermiddagen):

Ankomst	07:24	07:53	08:24	08:53	09:24	09:53	10:54	11:53	12:54	13:53	14:54	15:53	16:54	17:53	18:24	18:53	19:24	19:53
Uppehåll	01:14	01:45	02:14	02:45	03:14	03:45	03:44	03:45	03:14	02:45	02:14	01:45	01:14	01:15	01:44	02:15	02:44	03:15
Avgång	08:38	09:38	10:38	11:38	12:38	13:38	14:38	15:38	16:08	16:38	17:08	17:38	18:08	19:08	20:08	21:08	22:08	23:08

Tabell 41: Uppehållstid i Stockholm (linje 6002 och 6003, UA2)

Ankomst	07:23	07:54	08:23	08:54	09:23	09:54	10:53	11:54	12:53	13:54	14:53	15:54	16:53	17:54	18:23	18:54	19:23	19:54
Uppehåll	01:15	01:44	02:15	02:44	03:15	03:44	03:45	03:44	03:15	02:44	02:15	01:44	01:15	01:14	01:45	02:14	02:45	03:14
Avgång	08:38	09:38	10:38	11:38	12:38	13:38	14:38	15:38	16:08	16:38	17:08	17:38	18:08	19:08	20:08	21:08	22:08	23:08

Tabell 42: Uppehållstid i Göteborg (linje 6002 och 6003, UA2)

I tabellerna är turerna lagda på så sätt att tiden är tillräcklig. För de två första turerna vore det enligt tidtabell teoretiskt även möjligt att vända tåget inom 14 respektive 15 minuter. Eftersom denna tid verkar vara för kort valdes dock nästa avgång som första möjliga för den nämnda ankomsten. Därmed är uppehållstiden dock ganska lång, vilket speciellt i Göteborg, där 25 min antas räcka, inte verkar rimlig. Dessutom uppstår på grund av de oregelbundenheterna till följd av byte mellan halvtimmes- och timmestrafik delvis ännu längre tider. Runt tolvtiden finns det till exempel flera tåg som enligt den här uppskattningen måste deponeras i mer än tre timmar vilket inte verkar effektivt.

Som första förbättringsåtgärd analyserades vilka uppehållstider som är möjliga genom kombination av tiderna utifrån RailSys (respektive de andra källorna som användes för respektive linje). De tider som passade de antagna tiderna (25 minuter i Göteborg C och 60 i Stockholm) bäst analyserades närmare (Tabell 43). Den kortast möjliga vändtiden på båda stationerna, 14/15 minuter, uteslöts genast eftersom den verkade orimlig i den här situationen.

Vändtid Cst (halvtimmetrafik):					alternativt:				
Ankomst	07:24	07:53	08:24	08:53	Ankomst	07:24	07:53	08:24	08:53
Uppehåll	00:44	00:45	00:44	00:45	Uppehåll	01:14	01:15	01:14	01:15
Avgång	08:08	08:38	09:08	09:38	Avgång	08:38	09:08	09:38	10:08
Vändtid Gbg (halvtimmetrafik):									
Ankomst	07:23	07:54	08:23	08:54					
Uppehåll	00:45	00:44	00:45	00:44					
Avgång	08:08	08:38	09:08	09:38					

Tabell 43: Möjliga vändtider i Stockholm och Göteborg vid givna ankomst- och avgångstider

I Göteborg är 44 respektive 45 minuter mer än tillräckliga, medan det måste användas 1:14 respektive 1:15 timmar i Stockholm om man vill ha minst en timme. Den kortare tiden kan dock också vara rimlig. Med syftet att optimera trafiken måste även läggas märke på serviceåtgärder, vändningsprocess och liknande. Så mycket som 60 minuter verkar vara oeffektivt. Detta blir speciellt tydligt vid jämförelse med Shinkansen-tåget i Japan som vändas inom 12 till 18 minuter. Sådana reflektioner är väldigt viktiga på vägen till den optimala tidtabellen

respektive omloppsplanen. Ett argument för kortare vändtider är även att restiden kommer vara kortare på de nya linjerna jämförd med dagens X2000. Dessutom visades att tiderna inte kommer vara lika korta mellan alla avgångar utan att lågtrafiken skapar mer ledigt utrymme. I det här fallet är det också viktigt att se att tiden i Göteborg kommer att vara mer än tillräckligt lång så att eventuella svårigheter kan jämnas ut där i stället. En annan tänkbar lösning är även att ändra avgångstiderna så att vändtiden kan anpassas. Därför att detta oftast inte är tänkbar utifrån kapacitetsskäl gjordes detta dock i det här arbetet bara i undantagssituationer där effekter av en sådan förskjutning inte verkade ha några stora effekter på andra linjer.

Efter att ha analyserat vilka tidskombinationer som är rimligast måste man gå tillbaka till **dygnsfördelningen**. Genom jämförelse mellan lågtrafik konstant över dagen som med de precis bestämda tiderna ger minst tidsbehov och den fördelningen med rimligast förtätning får man skillnaden i fordonsbehov. Denna visar om möjligheterna för insparningar är stora. Sedan kan analys av grafiken i Dispo hjälpa. Turerna som inte verkar passa in i planen måste försökas flyttas osv. Ibland visade sig även en manuell omloppsplan lämplig för att upptäcka brister som kunde optimeras genom enkla förskjutningar i tidtabellen.

5.3 Effekter

Här ska sammanställas vilka effekter de beskrivna metoderna på väg till den optimala kombinationen av tidtabell och omloppsplan har. Som exempel ska ännu en gång höghastighetslinjerna mellan Stockholm och Göteborg användas.

Tabell 44 visar fordonsbehovet på sju olika alternativ:

Alternativ	Antal fordon
0 30-minuters intervaller	13
1 Timmestrafik	7
2 Ojämn förtätning i rusningstid	13
3 Jämn förtätning i rusningstid	12
4 Timmestrafik med nedsatt minsta vändtid i Cst (44 i stället för 60 min)	6
5 Tre faser med tät trafik	11
6 Alt. 5 med nedsatt vändtid i Stockholm (som i Alt. 4)	10

Tabell 44: Jämförelse alternativa tidtabeller/omloppsplaner samt fordonsbehov

Fordonsbehovet är högst vid hög turtäthet vilket i det här fallet är 30-minuters-intervaller. Det minsta antalet fordon behövs vid den lägsta möjliga turtätheten vilket på de här linjerna motsvarar en timme. Vid optimeringen gäller det att hitta en effektiv lösning däremellan som gynnar efterfrågan men samtidigt inte kräver för många fordon. Den understa gränsen i det här exemplet kunde minskas ytterligare med hjälp av effektiv planering. Eftersom en nedsättning av den minsta vändtiden i Stockholm som ovan beskrivits verkade möjlig kan den fordonssnålaste lösningen, timmestrafik, köras med bara sex fordon (alternativ 4). En ändring från timmes- till halvtimmestrafik påverkar därmed inte bara stora förändringar i utbudet (tätare trafik, men vid samma antal avgångar per dag kortare trafik) utan gör även att mer än dubbelt så många fordon måste sättas in. Att dessa fordon tillryggalägger totalt samma sträcka och därmed fordonsrelaterat mindre antal kilometer gör att underhållsåtgärder inte behövs lika ofta som om få fordon trafikerar samma antal turer, nackdelarna såsom kostnader för det större antalet tåget samt depåmöjligheter gör dock att detta är inte lika effektivt.

Alternativ 2 hör till den kopplade tidtabellen som anpassades enligt marknaden utan hänsyn till omloppsplanering. Tabell 44 visar att detta alternativ kräver lika många tågset som halv-

timmestrafik. Den här lösningen är därmed bättre anpassad till marknaden än de två basalternativen med jämn trafik, insparningar i resursbehovet. Alternativ 3 visar att en **utjämning** av rusningstiden här ger en minskning om ett tågset.

Med hjälp av den speciella lösningen att köra **tre faser** med tät trafik som bara användes för de här linjerna lyckades det att få ner behovet till elva fordon, dvs. ett mindre än med två faser och två mindre än med halvtimmestrafik respektive ojämn förtätning i rusningstrafik.

Som med timmestrafik påverkar **vändtidförkortningen** i Stockholm även i det här fallet en insparning av ett ytterligare tågset. Eftersom avgångstiderna oftast är låsta (oftast på grund av andra linjer) är justeringar en effektiv lösning för att optimera omloppen.

Den här jämförelsen visade att fordonsbehovet med hjälp av effektiva metoder kunde bantas ner från 13 till tio tågset, dvs. med nästan en fjärdedel. Naturligtvis kunde inte alla metoder användas för alla linjer och det fanns även andra förfaringsätt vid speciella egenskaper på andra linjer. Och även storleksordningen av påverkan som planeringen hade skilde sig betydligt mellan linjerna. Trots detta kan man säga att effektiv omloppsplanering nästan alltid har positiva effekter och kan göra att mycket pengar kan sparas.

Under planeringen visade sig dessutom att restider har stor påverkan på omloppsplaneringen. Detta visas till exempel på snabbtåglinjen mellan Stockholm och Malmö/Köpenhamn. Med hjälp av kortare restider kan tågseten hinna nå en avgång vilket de i ett annat alternativ med längre restider inte lyckades med.

En viktig faktor i omloppsplanering är naturligtvis också att **tomkörningar** undviks. Eftersom inte bara kopplade linjer betraktades tillsammans utan även omloppsplaner framtogs för samtliga linjer som ska köras med samma fordon i ett alternativ visade programmet DISPO även om det var effektivt att sätta in ett fordon som började på en linje på en annan linje därefter. Även detta kan innebära tomkörningar, till exempel om linjerna inte har samma slutstation, men sådana som ligger ganska lätt tillgängliga till varandra. Trots dessa möjligheter undveks tomkörningar nästan alltid i det här arbetet eftersom de inte kunde ge några större förbättringar.

Intressant att se var vilka effekter det har att planera omloppen på alla linjer med samma fordonstyp tillsammans. Trots att utbyte av fordon mellan linjerna var tänkbara på flera ställen (till exempel i Linköping, Stockholm osv.) och mellan flera linjer gav den gemensamma planeringen knappast några förbättringar. Detta visar dock även att den separata planeringen för varje linje respektive kopplade linjer redan var väldigt bra så att det nästan inte fanns några förbättringsmöjligheter kvar.

Slutligen måste sägas att även antalet **reservfordon** har ett inflytande. Räknar man med många kan man kanske sätta ner den minsta vändtiden och spara in ett fordon genom detta som istället ersätts med reservfordonet som dock har fördelen att det till exempel kan användas för fler linjer. Även denna tanke har arbetats in i arbetet med omloppsplanering på Götalandsbanan och Ostlänken. Det ska dock inte analyseras närmare här.

Även **underhållsplaneringen** spelar naturligtvis en stor roll. Skulle varje fordon behöva tas in för underhållsåtgärder en gång under trafikdagen måste detta tas hänsyn till. Det antogs dock att samtliga åtgärder kan genomföras när fordonet inte är i trafik så att omloppen inte omfattar detta. En övre gräns för antal kilometer eller tider som ett fordon kan sättas in om

dagen beaktades inte heller. Även turerna till och från depån lämnades utanför. Detta omfattar även hänsyn till depåkapaciteten.

Medan omloppsplaneringen genomfördes för de 64 linjerna i de tre alternativen märktes det därmed hur **effektiv planering kan minska fordonsbehovet** och därmed ge massiva ekonomiska besparningar. Även det stora sambandet med utbudet blev tydligt. I princip innebär den tidtabell som leder till det minsta fordonsbehovet ett utbud som inte täcker efterfrågan. Därför är det viktigt att inte vara för fixerad på ekonomin. På linjen mellan Nyköping och Uppsala, vilken har yrkespendlare som huvudmålgrupp, är det till exempel viktigt att erbjuda snabba förbindelser till och från Stockholm med hög turtäthet på morgonen och eftermiddagen. Därför valdes ett omloppsplaneringsalternativ med två fordon fler än vad den resurstekniskt mest optimala lösningen gav. Samma gäller för vändnings- och avgångstider. Vändningstider får inte vara för korta så att alla nödvändiga åtgärder inte hinner genomföras och så att förseningar som oftast breder ut sig över hela trafiknätet kan undvikas. Avgångstider däremot kan oftast inte ändras pga. låsningar pga. anslutningar (t.ex. andra linjer) och där kapaciteten på sträckan eller stationer inte tål sådana ändringar.

Jämförelsen av de tre alternativa trafiksystemen som sammanfattades i slutet av förgående kapitel visade det sig att Götalandsbanan har bäst utbud, dock att även fordonsbehovet är störst. Även här syns att ett bra utbud oftast även innebär ett högt fordonsbehov. I förhållandet till utbudet är fordonsbehovet i UA2 dock effektivt. Eftersom att detta även till stor del beror på högre hastigheter och bättre infrastruktur kan detta dock inte sägas i allmänhet.

Vid all planering får det inte glömmas bort att det handlar om persontrafik. Det är därför väldigt viktigt att ta hänsyn till marknaden. Bara genom ett attraktivt utbud kan man vinna nya resenärer samtidigt som risken minskar att befintliga slutar ta tåget. Även därför är det viktigt att förseningar (som vid omloppsplanering speciellt kan uppstå om det planeras med för korta vändtider) försöks minimeras. I den tyska tidningen „*Der Fahrgast*“ [20] refererar man till en enligt tidtabellen för kort vändningstid i Stuttgart som har lett till kroniska förseningar och som därmed även minskade resandet.

6 Diskussion och slutsatser

I detta arbete undersöktes ämnet omloppsplanering i tågtrafik. Inledningsvis beskrevs examensarbetets syfte och bakgrund och information om fordonsdisposition gavs. Dessutom presenterades projektet Ostlänken/Götalandsbanan, den planerade höghastighetsjärnväg mellan Stockholm och Göteborg som användes genom hela rapporten för att visa exempel utifrån praktiken. Sedan analyserades omloppsplanering i tågtrafiken närmare. Nyttan som en sådan planering kan ha i olika faser i planeringsprocessen på ett infrastruktursprojekt inledde arbetet.

Omloppsplaneringen kan ge fördelar i flera skeden i planeringsprocessen. I tidiga skeden för att få en översikt över samhällsekonomin och faktorer som gynnar eller försämrar möjligheterna att ha ett effektivt fordonsomlopp inom det respektive projektet. I den medel- till kort-siktiga planeringen blir såväl indata som syfte mer konkreta tills att man producerar den plan som sedan används i praktiken respektive att man planerar dagens omlopp samt förändringar som den aktuella situationen kräver. En undersökning bland planerare som arbetar med omloppsplanering bekräftade att denna typ av planering genomförs framför allt i det sistnämnda skedet och långsiktig omloppsplanering är ett undantag.

I undersökningen deltog Roslagståg, Stockholmståg och Swebus som är operatörer åt SL samt den tyska tågoperatören DB Regio AG, Region Rhein/Neckar. Dessutom bidrog det brittiska konsultföretaget RWA Rail med intressant information. Med hjälp av planerarnas svar samt ytterligare information utifrån research jämfördes manuell omloppsplanering och sex datorprogram i samband med användningssituationen i företaget. Det visades att det finns många olika varianter hur omloppsplanering kan kopplas med andra sorters planering. Det har både för- och nackdelar att behandla flera delar i samma program och det är viktigt att välja metod i enlighet med vad som behövs i den speciella situationen som företaget/planeraren befinner sig i. Beträffande omloppsplaneringen själv granskades vilka verktyg som är fördelaktiga och vilka av de undersökta programmen som har dessa verktyg. Förutom att grafiken är ganska lik i alla program skiljer de sig dock ganska mycket angående sättet hur de fungerar samt vilka verktyg som ingår. Trots att det oftast är bäst med många möjligheter och bra funktioner konstaterades även här att planeringssyftet och bakgrunden i företaget är viktigast för bedömningen om ett program är lämpligt för företaget och deras uppgifter eller inte. Intressant att se var även att kostnader spelar en viktigare roll i buss- såväl som anropsstyrd trafik än i planeringen av tågtrafiken. Möjligheterna av en starkare koppling till värdet borde utredas inom tågtrafiken också.

Tillämpningen visade vad man kan komma fram till med omloppsplaneringen. Det handlade om tre olika trafiksystem (Götalandsbanan som är den planerade höghastighetsjärnvägen mellan Stockholm och Göteborg; Ostlänken som är ett delavsnitt av Götalandsbanan och slutligen ett jämförelsealternativ där trafiken och infrastrukturen är jämförbara med dagens situation). För alla linjer som är berörda sammanställdes tidtabeller och omloppsplaner som togs fram i samband med ett tidigare arbete. Fyra olika tågtyper (regional-, IR-, snabb- och höghastighetståg) betraktades och jämfördes beträffande olika faktorer inom de tre alternativa trafiksystemen.

Resultatet blev att UA2, det alternativet med det största utbudet och den största andelen av ny infrastruktur, nämligen hela Götalandsbanan, även behöver flest fordon. Detta innebär att kostnaderna för detta alternativ är såväl pga. högsta investeringar för fordon och infrastruktur som även för själva trafikeringen totalt sett mycket högre än för de andra alternativen. Relativt betraktat verkar det dock lönsamt att investera i det här systemet, då kostnaderna fördelas på en lång restid, många turer och långa sträckor. En riktig värdering kan dock bara en samhälls-ekonomisk kalkyl ge.

En fråga som uppstod i samband med den genomförda planeringen för Ostlänken och Götalandsbanan är hur effektivt det är att redan i ett sådant tidigt skede ta hänsyn till fordonsbehovet. Det är väldigt ovanligt att genomföra omloppsplanering redan i järnvägsutredningen. Det kräver tid och pengar och resultatet är tveksamt därför att det baseras på många antaganden där det inte finns många slutgiltiga beslut i detta tidiga steg i planeringen. Trots detta visade det sig att planeringen gav värdefulla resultat för vidare planering. Dels ger omloppsplaneringen en upplysning över hur stor fordonsbehovet ungefär kommer att vara, dels visas upp vilka problem och svårigheter den redan gjorda planeringen kan innebära för omloppen. Därmed kan alltså både problem undvikas och planeringen till viss mån styras mot omloppsplaneringens behov. Dessutom kan viktigt indata till ekonomiska kalkyler ges så att man kan ha en förställning om hur stora investeringar man kan räkna med.

I sista delen beskrevs metoden som utvecklades under arbetet med omloppsplaneringen på Ostlänken och Götalandsbanan. Den visade hur tidtabeller utvecklades och hur dessa står i samband med omloppsplaneringen. Faktorerna som vid planeringen hade mest påverkan visades upp. Det visades att optimeringen i det betraktade fallet mest handlade om justeringar i

tidtabellen samt andra anpassningar som till exempel i vändningstid. I samband med detta är det intressant att igen ta upp att nästan ingen av de tillfrågade planerarna planerar omloppsplanen i samband med tidtabellen. De grundar detta i regel på att avgångstiderna i tidtabellen brukar vara låsta. Omfördelning i turlistan tänker man dock inte på. Analysen i det här arbetet visade däremot att denna faktor kan innebära stora förbättringsmöjligheter. En funktion för denna tidtabellsplanering saknar de flesta program som undersöktes i det här arbetet. Anledningen till det kan vara att den i det här arbetet genomförda planeringen är en specialfall vilken ställer andra krav än planeringen som personerna som deltog i undersökningen genomför. Hos operatörerna är det till exempel oftast en annan avdelning eller till och med kunden som planerar tidtabellen så att det ändå inte hade behovet att optimera tidtabellen enligt omloppsplaneringens krav. Det kan dock även i denna situation vara bra att kunna se brister och möjligheter. Att påpeka för kunden att de kunde spara in ett tågset genom en enkel ändring i tidtabellen kan bara ge fördelar för alla inblandade.

Till slut ska det sägas att omloppsplanering är ett omfattande område som har sina svårigheter och utmaningar. I det här arbetet visades dessa upp. Det sammanställdes lämpliga metoder som möjliggör att effektiva omlopp kan planeras. Samtidigt visades även vilka stora fördelar denna typ av planering kan ge och när och hur den kan ge bäst resultat. Allt måste dock naturligtvis alltid anpassas till den specifika situationen.

7 Referenser

1. **Albrecht, Thomas.** 2004. *Ein Beitrag zur Nutzbarmachung Genetischer Algorithmen für die optimale Steuerung und Planungeines flexiblen Stadtschnellbahnbetriebes.* Technische Universität Dresden; online: www.deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=975918737&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=975918737.pdf (21.12.06)
2. **Banverket.** 2004. *Framtidsplan för järnvägen 2004-2015. Persontrafik;* online www.banverket.se/templates/StandardMtH_10813.asp (Stand 21.12.06)
3. **Banverket.** 2005. *Ostlänken– en stark förbindelse för tillväxten. Ny järnväg genom Södermanland och Östergötland. Järnvägsutredning 2004–2007.* Nyköping
4. **Banverket.** 2005. *Trafikering Ostlänken Götalandsbanan. Nytt trafikupplägg för 2030.* Stockholm
5. **Becker, Josef.** 2006. *Umlaufplanung für den ÖV.* Hannover; online: www.ivh.uni-hannover.de/optiv/Fallbsp/06-Umlauf/06-Umlauf/06-umlauf.pdf
6. **Euromaint.** 2007. *Euromaint årsredovisning 2006 Underhåll av Stockholms pendeltåg – ett prestigeavtal;* online: www.euromaint.com/upload/EuroMaint_AB/Dokument/EM_%C3%A5rsred_06_L.pdf
7. **Gunnervall, Markus.** 2005. *Kapacitetsanalys av alternativa förbigångsspår på Götalandsbanan mellan Göteborg och Borås.* Stockholm
8. **Gunnervall, Markus.** 2006. *PM Infrastrukturmodellav Götalandsbanan i RailSys.* Stockholm
9. **Fallgren, Jan-Erik.** 2005. *Banverkets arbetsmaterial för Västlänken.* Göteborg
10. **Gustafsson, Bertil.** 2006. *Götalandsbanan – en närmare framtid!* Jönköping
11. **Huot, Eric.** 2006. *Tidtabeller OL.* Stockholm
12. **Huot, Eric.** 2006. *Tidtabeller GB.* Stockholm
13. **Jakobs, Jürgen.** 2003. *Rechnerunterstützte Konfliktermittlung und Entscheidungsunterstützung bei der Disposition des Zuglaufes.* Technische Universität Aachen; online: www.deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=967562503&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=967562503.pdf
14. **KCW GmbH, Uniconsult Universal Transport Consulting GmbH, HSH Nordbank AG.** 2006. *Privatisierung der integrierten Deutschen Bahn AG - Auswirkungen und Alternative.* BDI-Drucksache Nr. 380, Berlin/Hamburg/London; online: www.bdi-online.de/Dokumente/Verkehrspolitik/BDI-DIHK_Bahnstudie_Januar_2006.PDF
15. **Kemnitz, Joachim.** 2001. *Der ICE 3 und die Neubaustrecke Köln- Rhein/Main. Höchstgeschwindigkeit teuer erkaufte.* Pro Bahn Zeitung 3/2001; online: www.der-fahrgast.de/Archiv/2001/2001-3-31-35.pdf

16. **Löbel, Andreas.** 1997. *BMBF-VS: Vehicle Scheduling. Umlaufplanung im öffentlichen Nahverkehr.* Berlin
17. **Lundberg, Anders.** 2006. *PM Principgraf Götalandsbanan 2030. Grov kapacitetsutvärdering av nytt trafikupplägg.* Stockholm
18. **Lundberg, Anders.** 2005. *Projekt Ostlänken. Initiala riktlinjer för trafik, fordon och banstandard BeslutsPM.* Stockholm
19. **Nyköping-Östgötalänken AB.** 2006. *Ostlänkens samhällsnytta.* Linköping
20. **Okänd författare.** 2004. *Analyse der Verspätungen: Verspätungen ziehen Kreise.* Der Fahrgast 1/2004; online: www.der-fahrgast.de/Archiv/2004/2004-1-27-40.pdf
21. **Pfeiffer, Dirk.** 2004. *RailOpt – Ressourcen intelligent einsetzen.* CEO, Qnamic, Bern; online: www.oeffentlicherverkehr.ch/dcs/users/2/VoeV_IT_1_Pfeiffer.pdf
22. **Pfeiffer, Dirk.** 2005. *RailOpt: Ein neuer Ansatz für die Einsatzplanung der BLS.* Eisenbahn-Revue 11/2005 sidor 524-527; online: <http://www.qnamic.com/d/pdf/eisenbahnrevue.pdf>
23. **Nelldal, B.-L., Kottenhoff, K., Lind, G., Rosenlund, S., Troche, G., 1996:** *Tågtrafikens möjligheter på den framtida resemaknaden. Avdelning Trafik- och transportplanering, KTH Stockholm*
24. **Nyköpings- och Östgötalänkarna.** 2000. *Avsnitt i Europabanan och Götalandsbanan.*
25. **Nyköping-Östgötalänken AB.** 2006. *Ostlänken. En första steg i ett nytt järnvägsnät med höga hastigheter.* Linköping
26. **Samtrafiken i Sverige AB.** 2007. *RES PLUS Tågtider.* Stockholm
27. **SJ.** 2006. *Linjebok Sverige.*
28. **Stamming, Mikael.** 1996. *Regional utveckling och höghastighetståg.* Helsingborg; online: www.trg.dk/td/papers/papers96/jernbane/stam/stam.pdf

Kursunderlag ifrån FH Mainz och KTH Stockholm

Använda sidor på Internet (stånd augusti 2007)

29. www.akatag.com
30. www.banverket.se
31. www.europakorridoren.se

32. www.flygbussarna.se/koncernen
33. www.giro.ca/de/product/hastus/index.htm
34. www.ivu.de
35. www.jarnvag.net **Fel! Hittar inte referenskälla.**
36. www.qnamic.com
37. www.s-bahn-rheinneckar.de/s-rheinneckar/view/unternehmen/wir.shtml
38. www.sj.se
39. www.sl.se
40. www.stockholmstag.se
41. www.swebus.se
42. www.wikipedia.org/wiki/DB_Regio_AG_-_Region_RheinNeckar

Planerare som deltog i undersökningen

1. Andersson, Thomas; Swebus AB
2. Koenigkeit, Jürgen; DB Regio AG, Region RheinNeckar
3. Kohls, Heinz-Helmut; RWA-Rail
4. Larsson, Lars-Henrik; Roslagståg
5. Lundberg, Ulf; Stockholmståg

8 Förteckningar

8.1 Förkortningsförteckning

Dbt	Dubbelturer
FH Mainz	Fachhochschule Mainz
GB	Götalandsbanan
h	Timme/timmar
IR	InterRegio
JA	Jämförelsealternativ
KTH Stockholm	Kungliga Tekniska högskolan Stockholm
Max h	maxtimme
OL	Ostlänken
SJ AB	Statens Järnvägar
UA	Utredningsalternativ

Förkortningar på alla stationsbeteckningar finns i bilaga 69.

8.2 Figurförteckning

Figur 1: Arbetsprocess	13
Figur 2: Arbetspendlare mellan Stockholm och Linköping	14
Figur 3: Järnvägsnät för persontrafik i Syd-/Mellansverige idag	14
Figur 4: Med Ostlänken och Götalandsbanan	14
Figur 5: Del av en grafisk tidtabell (förenklad, europeisk form) och exempel på manuell omloppsplanering	15
Figur 6: Avgångar som trafikeras av fordon 1 (gult)	15
Figur 7: Fordon med flerdagigt omlopp (rödmarkerat)	16
Figur 8: Turfördelning för en vardag (linje Nyköping-Uppsala)	16
Figur 9: Planeringsprocessen inom järnvägsprojekt	18
Figur 10: Samband mellan olika sorters planering	21
Figur 11: Planerarnas roll	24
Figur 12: Omloppsplan i RailOpt (till vänster) och DISPO (till höger)	32
Figur 13: Översikt planering företag/program	34
Figur 14: Schema trafiksystem UA2	39
Figur 15: Schema trafiksystem UA1	39
Figur 16: Schema trafiksystem JA	40
Figur 17: Jämförelse: Höghastighetslinjer Cst-Gbg	41
Figur 18: Linjenät höghastighetståg alternativ UA2	41
Figur 19: Avgångstider Göteborg (linjer 6002 och 6003 mot Stockholm)	42
Figur 20: Jämförelse av linjenätet av höghastighetstågen	43
Figur 21: Jämförelse avgångstider Stockholm (längst upp UA2, sedan JA/UA1 och idag)	45
Figur 22: Jämförelse södergående snabbtåglinjer (JA och UA2)	46
Figur 23: Jämförelse avgångstider i Stockholm (i UA2, JA, UA1 och idag)	48
Figur 24: Jämförelse IR-linjer	50
Figur 25: Framtagning av tidtabeller i UA 2	65
Figur 26: Framtagning av tidtabeller i JA och UA 1	65

Figur 27: Kopplade linjer 6002 och 6003	68
Figur 28: Jämförelse avgångar från Göteborg med/utan anpassning till koppling	68
Figur 29: Övergång mellan rusnings- och lågtrafiksperioder	69
Figur 30: Oanpassad omloppsplan kopplade linjer 6002 och 6003, UA 2	71

8.3 Tabellförteckning

Tabell 1: Planeringsavsnitt på Götalandsbanan/Ostlänken samt aktuell situation.....	19
Tabell 2: Sammanställning infrastruktur (som de olika planerarna arbetar med).....	24
Tabell 3: Jämförelse av programmen	36
Tabell 4: Jämförelse utbud höghastighetslinjer Stockholm-Göteborg/Borås/Uddevalla.....	44
Tabell 5: Jämförelse: genomsnittlig längd/tur, hastighet, restid, antal stationer som trafikeras per tur	44
Tabell 6: Första respektive sista tur på en vardag	45
Tabell 7: Jämförelse angående fordonsbehov	45
Tabell 8: Totalkostnader för alla alternativ	45
Tabell 9: Relativa kostnader.....	45
Tabell 10: Jämförelse snabbtågsutbud Stockholm-Malmö/Köpenhamn/Jönköping.....	47
Tabell 11: Jämförelse: Genomsnittlig längd/tur, hastighet, restid, antal stationer som trafikeras per tur	48
Tabell 12: Tidtabellstider: Första och sista avgång i alla alternativ och idag	48
Tabell 13: Jämförelse angående fordonsbehovet	48
Tabell 14: Totalkostnader.....	49
Tabell 15: Relativa kostnader.....	49
Tabell 16: Sammanställning IR-tåg-linjer i UA1 och UA2 samt koppling.....	50
Tabell 17: Jämförelse IR-tågutbud linjer 6005-6007	52
Tabell 18: Jämförelse: Genomsnittlig längd/tur, hastighet, restid, antal stationer som trafikeras per tur	52
Tabell 19: Jämförelse angående fordonsbehovet	52
Tabell 20: Totalkostnader.....	53
Tabell 21: Relativa kostnader.....	53
Tabell 22: Jämförelse utbud IR-tåg-linjer 8201 och 8202	54
Tabell 23: Jämförelse: Genomsnittlig längd/tur, hastighet, restid, antal stationer som trafikeras per tur	55
Tabell 24: Jämförelse angående fordonsbehovet	55

Tabell 25: Totalkostnader.....	55
Tabell 26: Relativa kostnader.....	55
Tabell 27: Sammanställning linjer och fordonsbehov B250.....	56
Tabell 28: Regionaltåglinjer och utbud i jämförelse.....	57
Tabell 29: Linje 5601 i alla tre trafiksystem i jämförelse.....	57
Tabell 30: Jämförelse utbud regionaltåglinjer.....	61
Tabell 31: Sammanställning tågsetsbehov regionaltåglinjer inkl. relativa värden.....	61
Tabell 32: Sammanställning kostnader regionaltåglinjer samt nyckeltal.....	61
Tabell 33: Utbudsdata och respektive andel för varje trafikslag i jämförelse.....	62
Tabell 34: Jämförelse angående fordonsbehovet (alla fordonstyper i alla varianter).....	62
Tabell 35: Sammanställning av alla använda fordonstyper inkl. Kostnader och kapacitet.....	63
Tabell 36: Totalkostnader (drift och fordon) i UA2, UA1 och JA.....	63
Tabell 37: Relativa kostnader.....	64
Tabell 38: Tdt Stockholm-Göteborg.....	66
Tabell 39: Tdt linje 6005.....	66
Tabell 40: Olika alternativ för trafikeringen på linje 6002 (Gbg-Cst), Alternativ UA2.....	67
Tabell 41: Uppehållstid i Stockholm (linje 6002 och 6003, UA2).....	72
Tabell 42: Uppehållstid i Göteborg (linje 6002 och 6003, UA2).....	72
Tabell 43: Möjliga vändtider i Stockholm och Göteborg vid givna ankomst- och avgångstider.....	72
Tabell 44: Jämförelse alternativa tidtabeller/omloppsplaner samt fordonsbehov.....	73

Förteckning bilagor

- Bilaga 1: Enkät
- Bilaga 2: Beträktade trafiknät
- Bilaga 3: Tidtabell snabbtågslinjer 6002 och 6003
- Bilaga 4: Omloppsplan snabbtågslinjer 6002 och 6003, UA 2, DISPO
- Bilaga 5: Alt. 4 UA1/JA: Tidtabell snabbtågslinjer 6002-6005 Stockholm-Göteborg/Borås/Uddevalla
- Bilaga 6: Omloppsplan snabbtågslinjer 6002, 6003, 6004 och 6005, JA/UA 1, DISPO
- Bilaga 7: Driftkostnader per fordonstyp
- Bilaga 8: Tidtabell snabbtågslinje 8001, UA 2
- Bilaga 9: Omloppsplan snabbtågslinje 8001, UA 2, DISPO
- Bilaga 10: Aktuell tidtabell snabbtågen Stockholm-Malmö/Köpenhamn höst/vinter 2006
- Bilaga 11: Omloppsplan snabbtågslinjer 8001-8004, idag, DISPO
- Bilaga 12: Tidtabell snabbtågslinjer 8001-8004 Cst-Cph/M/Jp, JA
- Bilaga 15: Omloppsplan snabbtågslinjer 8001-8004, UA 1, DISPO
- Bilaga 13: Omloppsplan snabbtågslinjer 8001-8004 Cst-Cph/M/Jp, JA, DISPO
- Bilaga 14: Tidtabell snabbtågslinjer 8001-8004 Cst-Cph/M/Jp, UA 1
- Bilaga 15: Omloppsplan snabbtågslinjer 8001-8004, UA 1, DISPO
- Bilaga 16: Omloppsplan snabbtågslinjer 8001 och 8002 UA 1 med samma trafikering som i UA 2, DISPO
- Bilaga 17: Omloppsplan snabbtågslinjer 8001 och 8002 JA med samma trafikering som i UA 2 (bara 48 min minstvändtid i Cph och 56 i Cst), DISPO
- Bilaga 18: Omloppsplan snabbtågslinjer 8001 och 8002 Idag med samma trafikering som i UA 2 (bara 48 min minstvändtid i Cph och 56 i Cst), DISPO
- Bilaga 19: Tidtabell IR-tåg-linjer 6005-6007, UA 2
- Bilaga 20: Omloppsplan IR-tåg-linjer 6005-6007 UA 2, DISPO
- Bilaga 21: Tidtabeller IR-tåg-linjer 6005 och 6006, UA 1
- Bilaga 22: Omloppsplan IR-tåg-linjer 6005 och 6006 UA 1, Alternativ 0, DISPO
- Bilaga 23: Omloppsplan IR-tåg-linjer 6005 och 6006 UA 1, Alternativ 1, DISPO
- Bilaga 24: Tidtabeller IR-tåg-linjer 6005 och 6006, UA 1, alternativ 2 (en avgång bara från Lp till N/från N till Lp, se markeringen i tabellen)
- Bilaga 25: Omloppsplan IR-tåg-linjer 6005 och 6006 UA 1, Alternativ 2 (persontrafik i stället för tomkörningar), DISPO
- Bilaga 26: Tidtabeller IR-tåg-linjer 8201 och 8202, alternativ 0, UA 2
- Bilaga 27: Tidtabell IR-tåg-linjer 8201 och 8202, alternativ 2, UA 2 (markerade turer=förändrade jämförd med alternativ 0, linje 8202)
- Bilaga 28: Omloppsplan IR-tåg-linjer 8201 och 8202 UA 2, Alternativ 2 (persontrafik i stället för tomkörningar), DISPO
- Bilaga 29: Tidtabell IR-tåg-linje 8201, alternativ 0, UA 1
- Bilaga 30: Omloppsplan IR-tåg-linje 8202 UA 1, Alternativ 0, DISPO
- Bilaga 31: Tidtabell och omloppsplan IR-tåg-linje 9920 UA 2, Alternativ 0, DISPO
- Bilaga 32: Omloppsplan samtliga IR-linjer, UA 2, DISPO
- Bilaga 33: Omloppsplan samtliga IR-linjer, UA 1, DISPO
- Bilaga 34: Jämförelse: Fordonsbehov och kostnader, IR-linjer

- Bilaga 35: Sammanställning utbud IR-linjer
- Bilaga 36: Tidtabeller regionalståglinje 5601 i alla tre alternativ
- Bilaga 37: Omloppsplan regionalståglinje 5601 UA2, DISPO
- Bilaga 38: Omloppsplan regionalståglinje 5601 UA1, DISPO
- Bilaga 39: Omloppsplan regionalståglinje 5601 JA, DISPO
- Bilaga 40: Tidtabell regionalståglinje 5602, JA
- Bilaga 41: Omloppsplan regionalståglinje 5602 JA, DISPO
- Bilaga 42: Tidtabeller regionalståglinje 5603 i alla tre alternativ
- Bilaga 43: Omloppsplan regionalståglinje 5603 JA, DISPO
- Bilaga 44: Omloppsplan regionalståglinje 5603 UA1/UA2, DISPO
- Bilaga 45: Tidtabell regionalståglinje 5701, JA och UA1
- Bilaga 46: Omloppsplan regionalståglinje 5701 UA1/JA, DISPO
- Bilaga 47: Tidtabellerna regionalståglinjer 9701 och 9702 i alla tre alternativ
- Bilaga 48: Omloppsplan regionalståglinjer 9701 och 9702 UA1/JA, DISPO
- Bilaga 49: Omloppsplan regionalståglinjer 9701 och 9702 UA2, DISPO
- Bilaga 50: Tidtabellerna regionalståglinje 6502, JA
- Bilaga 51: Omloppsplan regionalståglinje 5602 JA, DISPO
- Bilaga 52: Tidtabell regionalståglinjer 8005 och 8102, JA
- Bilaga 53: Omloppsplan regionalståglinjer 8005 och 8102 JA, DISPO
- Bilaga 54: Tidtabeller regionalståglinjer 8101 och 8103 i alla 3 alternativ
- Bilaga 55: Omloppsplan regionalståglinjer 8101 och 8103 JA, DISPO
- Bilaga 56: Omloppsplan regionalståglinjer 8101 och 8103 UA 1, DISPO
- Bilaga 57: Omloppsplan regionalståglinjer 8101 och 8103 UA 2, DISPO
- Bilaga 58: Tidtabeller regionalståglinjer 9501 och 9502 i alla 3 alternativ
- Bilaga 59: Omloppsplan regionalståglinjer 9501 och 9502 UA 2, DISPO
- Bilaga 60: Omloppsplan regionalståglinjer 9501 och 9502 UA 1/JA, DISPO
- Bilaga 61: Tidtabeller regionalståglinje 11003 i alla tre alternativ
- Bilaga 62: Omloppsplan regionalståglinje 11103 UA 1 och 2, DISPO
- Bilaga 63: Omloppsplan regionalståglinje 11103 JA, DISPO
- Bilaga 64: Omloppsplan alla regionalståglinjer JA Del 1, DISPO
- Bilaga 64: Omloppsplan alla regionalståglinjer JA Del 2, DISPO
- Bilaga 65: Omloppsplan alla regionalståglinjer UA 1 Del 1, DISPO
- Bilaga 66: Omloppsplan alla regionalståglinjer UA 2 Del 1, DISPO
- Bilaga 67: Sammanställning linjer samt utbudsdata
- Bilaga 68: Grafisk tidtabell över alla linjer i UA 2
- Bilaga 69: Förteckning över slutstationerna inkl. vändtid

Dessa bilagor finns att beställa hos KTH Järnvägsgrupp: lindahl@infra.kth.se

