

# Översikt av metoder och förutsättningar för tåglägestilldelning

*Projekt: Samordning av planeringsflöden och  
kravspecifikationer för trafikutövare på järnvägsnät  
(SPOK)*

Martin Aronsson, Jan Ekman, Per Kreuger  
*Förnamn.Efternamn@sics.se*  
Swedish Institute of Computer Science (SICS)

på uppdrag av:  
Banverkets forsknings och utvecklingsprogram

Juni 2003

## Sammanfattning

Denna rapport beskriver status hos den forskning som är relevant för tåglägestilldelning samt analyserar och kommenterar några av de reglerande dokument såsom lagar och förordningar samt instruktioner och information som Banverket och Tågtrafikledningen tagit fram för att styra tåglägestilldelningsprocessen. Rapporten ger också en översikt av forskningsfronten vad gäller systemstöd för tåglägestilldelningen och ger en kortfattad beskrivning av några av de tekniker som kan vara användbara i ett stödsystem för tåglägestilldelning samt lyfter fram deras respektive för och nackdelar.

**Nyckelord** Tågläge, tidtabell, järnväg, schemaläggning, planering

SICS Technical Report T2003:07  
ISSN 1100-3154  
ISRN: SICS-T-2003/07-SE



# Innehåll

<b>1 Inledning</b>	<b>3</b>
1.1 Om svårigheterna med tidtabellkonstruktion . . . . .	3
<b>2 Reglerande dokument</b>	<b>4</b>
2.1 Lagar och förordningar . . . . .	4
2.2 Banverkets föreskrifter, planer och program . . . . .	5
2.3 EU . . . . .	6
<b>3 Forskning som rör processen att schemalägga tåg</b>	<b>7</b>
3.1 Översikter . . . . .	7
3.2 Tågtidtabellproblemet (TTP) . . . . .	7
3.3 Auktioner på tåglägen . . . . .	9
3.4 Allmänt om schemalägningsproblem . . . . .	11
3.5 Omlopp . . . . .	12
<b>4 Grundtekniker av relevans för schemaläggning av tåglägen</b>	<b>12</b>
4.1 Villkorsprogrammering (“constraint programming”) . . . . .	12
4.1.1 Ändliga domäner (“finite domains”) . . . . .	14
4.1.2 Globala villkor . . . . .	14
4.2 Operationsanalytiska tekniker . . . . .	15
4.2.1 Linjärprogrammering . . . . .	15
4.2.2 Heltalsprogrammering . . . . .	16
4.3 Lokalsökningsmetoder . . . . .	18
<b>A Bilaga: Förordning (1996:734) om statens spåranläggningar</b>	<b>19</b>
<b>B Bilaga: Förordning (1997:757) om tilldelning av spårkapacitet</b>	<b>24</b>
<b>C Bilaga: Lag (1997:756) om tilldelning av spårkapacitet</b>	<b>25</b>
<b>D Bilaga: Form hos ansökan av tågläge</b>	<b>28</b>
<b>E Bilaga: A Free Nordic Rail Market for Freight</b>	<b>29</b>

# 1 Inledning

Detta dokument tillhör projektet “Samordning av planeringsflöden och kravspecifikationer för trafikutövare på järnvägsnät”. Målet med projektet är att förenkla, förbättra och effektivisera processen att tilldela tåglägen. Dokumentet beskriver status hos den forskning som är relevant för projektet samt lagstiftning och dokument som i övrigt är reglerande för processen att tilldela tåglägen och om dessa regleringar har inverkan på de problem och ansatser till lösningar på dessa problem som studeras i projektet.

## 1.1 Om svårigheterna med tidtabellkonstruktion

Processen att tilldela tåglägen eller att konstruera en tidtabell sker idag i stor utsträckning manuellt trots att tidtabellskonstruktion är ett klassiskt schemalägningsproblem kring vilket forskningen är omfattande. Varför har då denna forskning inte resulterat i praktiskt användbara stöd?

En del av förklaringen till detta är, som i många andra fall, att det är svårt att formalisera de kunskaper och erfarenheter som är avgörande för att få acceptabla resultat och som inte är nedtecknade utan finns hos människor insatta i problemet. Man kan säga att processen att tilldela tåglägen är en social process mellan deltagande parter: trafikutövare, tågplaneansvariga, infrastrukturförvaltare samt lagstiftande och andra styrande organ. Bland annat anordnas tidtabellskonferenser som en del i denna process. En komplicerande faktor är att processens mål inte är entydigt formulerat. Det gäller att samtidigt och i möjligaste mån tillgodose sinsemellan motstridiga krav och önskemål om trafiken. Låt oss som ett exempel på detta citera en rapport [IHC01] som tagits fram på initiativ av NIM (the Nordic Infrastructure Managers).

Without full control over capacity allocation the infrastructure manager loses the major tool in the ability to optimise the use of his major assets. In this area Governments frequently send conflicting signals because on the one hand they speak publicly of the importance of transferring freight from road to rail, while covertly they oblige the allocation of capacity to be carried out in a manner giving priority to passenger services. The framework created by Government granting priority to certain types of traffic sits strangely with concerns to ensure that not only passengers but also freight use rail.

Ett försök att tydliggöra målet hos processen är att formulera ett abstrakt mått “samhälls-ekonomisk nytta” och försöka att optimera trafiken på den givna infrastrukturen så att sådan nytta blir maximal. Detta mått är dock svårt att definiera och är ifrågasatt av parterna som deltar i processen. Det är inte heller ett mått som i praktiken är lätt att använda; små förändringar i tågplanen eller vid styrning av tåg kan få konsekvenser som det inte är lätt att omedelbart förstå.

En annan förklaring till att forskning kring tidtabellskonstruktion inte har resulterat i praktiskt användbara stöd är att många av resultaten inte gäller rätt problem. Tidtabellskonstruktion rör utöver beläggning av infrastrukturresurser också påverkan på fordon

och personal som rör sig i slingor<sup>1</sup>. För att en tidtabell skall vara praktiskt användbar bör den ta hänsyn till krav på fordon och personal.

En annan viktig sak att ta hänsyn till vid tidtabellskonstruktion är att resenärer och gods ofta byter transportslag där de anländer till och lämnar järnvägen. Stöd för tidtabellskonstruktion måste anpassas till dessa aspekter.

Tidtabellskonstruktion har många inblandade parter och många åsikter, inte minst för att stora summor står på spel. En dålig tidtabell betyder ökade kostnader för trafikutövaren. Detta är betydligt mer uppenbart efter järnvägsindustrins avreglering, där flera trafikutövare konkurrerar om infrastrukturkapacitet och Banverket Trafik som tidtabellkonstruktör. Det som tidigare löstes med intern prioritering inom verket SJ måste nu lösas med stöd från objektiva principer grundade på konkurrensneutralitet och samhällsnytta. Detta är en delvis ny sida, vilket betyder att denna "marknad", som inte är en vanlig marknadsekonomisk marknad, i dagsläget försöker hitta de rätta formerna. Om man jämför med flyget så tilldelas tåglägen statistiskt för ett år i taget, medan på flygsidan används ett mycket mer dynamiskt system för resursallokering i luften, där aktörerna ansöker om "slots" för varje flygning, och där den som missar sin slot "får ställa sig sist i kön". Problemen har dock sinsemellan stora skillnader.

Det fullständiga problemet, att tidtabellägga alla tåg i Sverige, är mycket stort och komplext. Det bryts därför ner i flera regioner, som var och en konstruerar sin del. Eftersom alla tidtabellkonstruktörers tidtabeller skall samordnas, är det en mycket komplex och svår uppgift att den globala tidtabellen blir effektiv.

## 2 Reglerande dokument

### 2.1 Lagar och förordningar

De lagar och förordningar som i Sverige styr processen att tilldela tågläge är

- Förordning (1996:734) om statens spåranläggningar
- Förordning (1997:757) om tilldelning av spårkapacitet
- Lag (1997:756) om tilldelning av spårkapacitet

Dessa återges i sin helhet i appendix A, B respektive C. Vi gör följande observationer angående dessa lagar och förordningar.

Huvudprincipen för processen att tilldela tågläge är att, vi citerar förordning (1996:734) 22 §, "Vid banfördelningen skall beaktas att statens spåranläggningar utnyttjas effektivt. Fördelningen skall ske på ett konkurrensneutralt och icke diskriminerande sätt. Företräde får dock ges till 1. persontrafik som har upphandlats av staten eller trafikhuvudmannen, 2. trafik som möjliggör finansiering av ny infrastruktur, 3. trafik som utnyttjar ett tågläge som tilldelats och utnyttjats under föregående tidtabellperiod". Detta är det enda tydliga direktiv i gällande lagstiftning om hur tilldelning av tåglägen skall gå till.

---

<sup>1</sup>En sekvens av uppdrag som är slutet d.v.s. återkommer efter en viss tid till den punkt i transportsystemet där de startade

Från förordning (1996:734) 21 § framgår att det är Tågtrafikledningens uppgift att göra justeringar i de förslag som lämnas av trafikutövarna så att ett från samhällsekonomisk synpunkt effektivt utnyttjande av spåranslagningarna medges. Även smärre justeringar för trafik som tillförsäkrats företrädesrätt enligt förordningen kan göras. Detta betyder att Tågtrafikledningen skall göra en egen bedömning av det samhällsekonomiskt effektiva utnyttjande av spåranslagningarna och inte bara utgå från trafikutövarnas önskemål vid konstruktionen av tidtabell.

Förordning (1997:757) 4 § anger att trafikutövare skall betala en avgift för Tågtrafikledningens verksamhet och att avgiften fördelas på trafikutövarna i proportion till den trafik som de utfört under året.

Lag (1997:756) 5 § anger att spårinnehavaren får ta ut avgifter för utnyttjande av spåranslagningen och att avgifterna får bestämmas med hänsyn till marknadssituationen och graden av slitage på spåranslagningen.

## **2.2 Banverkets föreskrifter, planer och program**

Banverket Trafik publicerar årligen en tidsplan, se exempelvis [Ban02b], för framtagande av tidtabeller. Av denna framgår förutom tidplaner bland annat också allmänna riktlinjerna för tågplanarbetet, krav på tillhandahållen information i ansökan om tågläge och prioriteringar som gäller den operativa tågledningen vid avvikelser från tidtabellen.

De krav som i [Ban02b] anges på tillhandahållen information i ansökan om tågläge stämmer mer eller mindre överens med 4 § i Banverkets föreskrift om ansökan av tågläge[Ban01]. Appendix D återger denna 4 § i [Ban01] i sin helhet.

Sektorsprogrammet för järnvägen 2002 [Ban02a] beskriver på ett allmänt plan den nuvarande processen att tilldela av tåglägen, problemen runt denna, riktlinjer, handlingsprogram och projektplan för ett projekt kring principer för tilldelningsprocessen. I sektorsprogrammet ges uttryck för åsikten att tilldelningsprinciperna är centrala för kvaliteten hos järnvägen som transportsystem. Låt oss citera delar av texten under rubriken "Riktlinjer"

I utövändet av sektorsansvaret skulle tilldelningsprinciperna kunna vara ett sätt att styra järnvägen mot de mål som betraktas som önskvärda av såväl EU och Sverige som Banverket och operatörer. Tilldelning av tåglägen är grunden för den trafik som utövas och kan därmed generera antingen förödande eller befrämjande effekter på järnvägens konkurrenskraft. Ett solitt och genomtänkt regelverk behövs för att bära upp ambitionerna.

Låt oss också citera delar av texten under rubriken "Handlingsprogram"

Graden av störningskänslighet i den färdiga tågplanen kan antas ha samband med de principer som styr processen för tilldelning av tåglägen.

Under rubriken "Handlingsprogram" anges också som mål för ett projekt kring principer för tilldelningsprocessen att "bearbeta alla de oklarheter som finns i dagsläget kring

tilldelningsprocessen och de principer som styr den” och “att utarbeta sektorsförankrade principer.”

Rapporten [IHC01] har tagits fram på initiativ av NIM (the Nordic Infrastructure Managers) och studerar hindren för en fungerande nordisk godsmarknad.

## 2.3 EU

Direktivet [por01] gäller bland annat tilldelning av tåglägen. Mycket litet i detta dokument innebär någon form av restriktion av hur tåglägesansökningar skall göras. Vissa av punkterna i artikel 20 “Scheduling” skulle kunna innebära sådana restriktioner, men formuleringarna är mjuka. Låt oss citera vissa delar av denna artikel.

The infrastructure manager shall as far as is possible meet all requests for infrastructure ... and shall as far as possible take account of all constraints on applicants, including the economic effect on their business.

The infrastructure manager shall consult interested parties about the draft working timetable and allow them at least one month to present their views.

The infrastructure manager shall take appropriate measures to deal with any concerns that are expressed.

Hur skall uttryck som “as far as is possible” och “take appropriate measures” tolkas? Dessa uttryck lämnar en öppning för att tillämpa godtyckliga principer, som satisfierar de mest grundläggande kraven, vid tåglägestilldelningen.

Det finns inte mycket i direktivet som ger stöd för att tåglägestilldelningen skall baseras på att maximera samhällsekonomisk nytta eller effektivt utnyttjande av statliga spåranläggningar. I artikel 22 “Congested infrastructure” anges att om kapacitetsbrist föreligger så skall hänsyn tas till vikten av samhällsnytta. Låt oss citera inledningen punkt 4 under denna artikel.

The priority criteria shall take account of the importance of a service to society, relative to any other service which will consequently be excluded.

Kravet att ta hänsyn till vikten av samhällsnytta kan inte ses som en större restriktion i detta sammanhang. I fortsättningen under denna punkt tillåts bland annat att medlemsstater gör vad som krävs för att garantera utveckling av persontrafik som motsvarar samhällets krav.

I motsats till Banverkets dokument [Ban02b] kräver [por01] att trafikutövarna har rätt till sekretessbeläggning av uppgifter som lämnas av dem. Vi citerar Article 4.6

An infrastructure manager or charging body shall respect the commercial confidentiality of information provided to it by applicants.

och Article 14.3

Infrastructure managers and allocation bodies shall respect the commercial confidentiality of information provided to them.

### 3 Forskning som rör processen att schemalägga tåg

I det följande ger vi en sammanfattning av forskningsfronten som den ser ut för närvarande. Det finns en hel del arbete utfört, och vi tar här upp de som vi har funnit mest relevant när det gäller tåglägesansökningar och förfarandet runt dessa.

#### 3.1 Översikter

Koolstra [Koo00] beskriver dels slot-allokering på en generell nivå (återfinns i många branscher men koncentrerar sin text till järnvägssektorn och flygindustrin), och dels hur reglerande dokument och förvaltningar förhåller sig till varandra, huvudsakligen inom Nederländerna. Generellt diskuteras en trenivåstruktur för transportsystemet, med en nivå för transportbehovet, en nivå för transporttillgång/trafikbehov samt en nivå för trafiktillgång. K. använder den definition av begreppet "slot" som Hägerstrand gav 1970: "a time-space entity within which things and events are under the control of a given individual or a given group". Trafikdomänen är den del av tids-rummet som är skapat för att åstadkomma trafik, och en slot är en del-domän av trafikdomänen. "Slot allocation" kan vara dynamisk eller statisk (periodisk), där den senare används då planeringsperioden är ungefär densamma för alla inblandade parter. K. tar upp olika kriterier för tilldelning av slots: villighet-att-betala (tariff eller auktion), "först-till-kvarn" (vilket även inkluderar "grandfathers right"), prioritetsregler, fördelning (definiera viss andel av viss typ av trafik i förväg), samt slumpmässigt. K. noterar att endast den sista är i sanning icke-diskriminerande.

[CV98] ger en översikt av olika planeringsproblem inom järnvägsområdet, och då bl.a. schemaläggning av tåglägen. Författarna poängterar att även om få modeller för detta problem har sett dagens ljus, så har problemet att finna ett periodiskt schema som minimerar väntetid för passagerare börjat dra till sig intresse (se senare avsnitt). Ett antal modeller beskrivs, med de antaganden som är nödvändiga för respektive modell. Samtliga modeller som författarna tar upp är OR-modeller, oftast MIP-modeller (se 4.2).

Se även [BWZ97, DDSS95].

#### 3.2 Tågtidtabellproblemet (TTP)

Med *tågtidtabellproblemet* (eng. *The Train Timetabling Problem*), låt oss beteckna det TTP i fortsättningen, menas det matematiska problemet att konstruera en tidtabell som uppfyller ett antal operationella krav på tågtrafiken. Ofta handlar det om att optimera en tidtabell i förhållande till vissa värden som associeras till avgångar och ankomster till olika tåg. I många fall används *vinstmaximering* för att referera till denna optimering. För TTP verkar värdefunktioner typiskt ges så att varje tåg ges en ideal tidtabell och värdefunktionen talar om vad det "kostar" att flytta tåget i tiden på något sätt.

Hur väl ansluter TTP till problemet att formulera en form av kravspecifikation för tåglägesansökan? Ett antal saker är avgörande för detta. Eftersom det är en del av vårt problem att omformulera tågoperatörernas krav till en form som är hanterbar förutsätts att de studerade TTP-problemen är hanterbara för att de skall ha intresse. Mer väsentligt är vilka värdefunktioner som studeras i de artiklar som beskriver lösningar

av TTP. Det som gör att TTP kanske inte alls ansluter till problemet att formulera en tåglägesansökan utifrån kund- och resurskrav hos operatören gäller bl.a. de olika omlopp och andra villkor som relaterar två eller fler tåg till varandra, och som vi vet ligger till grund för operatörernas önskemål om tåglägen.

[CFT00, CFG<sup>+</sup>01] beskriver en modell för att schemalägga tåg längs en enkelriktad spårsträcka med stationer (dvs egentligen en dubbelspårssträcka, där man endast behöver ta hänsyn till omkörning), och skapar tidtabeller för en dag. Storleken på problemet är upp till 200 tåg (även försök med "trängsel" gjordes, med upp till 500 tåg) och mellan 16 och 73 mellanliggande stationer. De hävdar att dessa "korridorer" styr övrig trafik. Inget nämns om enkelspår med möten.

[Lin00] utvecklar förfinade modeller ur PESP ("Periodic event scheduling problem") vilket definierades i Serafini och Ukovich arbete [SU89]. Lindner rapporterar att problem av storleksordningen intercity-trafiken i Tyskland eller Nederländerna kan lösas till optimalitet (samt "provable quality within a few minutes").

Ett intressant papper som studerar en form av kravställning är [RAZ00]. De utgår från det system som finns i drift i Holland, CADANS [Sch98], vilket skapar en cyklisk tidtabell för en timme, "Basic Hourly Pattern", BHP. Systemet skapar en lösning inom några minuter, eller, om detta inte är möjligt, visar för brukaren den mängd av villkor som är osatisfierbar. När BHP skapats så "rullas" den ut till en preliminär tidtabell, och förändringar görs i gränssnitten mellan varje ny BHP och inom varje instans av en BHP-period för att skapa den slutgiltiga tidtabellen. Inom varje BHP definieras tågserier, vilka i princip motsvarar begreppet styv eller periodisk tidtabell. Ett giltigt byte från en tågserie  $A$  till en annan tågserie  $B$  på station  $K$  definieras sedan som att det finns minst ett tåg (som ingår i  $A$ ) som ankommer till  $K$  minst en viss tidsutstäckning före  $B$ s avgång och som mest en viss tidsutsträckning före  $B$ s avgång.

Ytterligare ett papper från Nederländerna [Gov99] diskuterar hur krav på övergångstider skall formuleras med hänsyn taget till robusthet. Kraven på övergångar skall inte bara ta hänsyn till tidtabelltekniska krav, utan krav skall också ställas på robusthet i termer av att en "rimlig" mängd förseningar skall kunna tas om hand av tidtabellen utan att anslutningar bryts. Materialet presenterar en analytisk modell för att beräkna pålitliga övergångstider i tidtabeller med hänsyn taget till sannolikheter och betydelse hos anslutningarna.

Higgins ger i två olika papper olika modeller och lösningsmetoder för tidtabellkonstruktion för dubbel- och enkelspår. I [HKF96] ges en intressant optimerande metod och modell. Modellen är en icke-linjär MIP-modell (Mixed Integer Program), där heltalsdelen löses med en speciell "branch-and-bound" metod. Kostnadsfunktionen uttrycks i termer av fördröjning (konstruktionstillägg) samt rörliga kostnader för tåget (specificeras inte närmre). Modellen baseras i huvudsak på att uttrycka binära val mellan vilket av två tåg som kör före det andra ut eller in på en mötesstation. Modellen är förhållandevis detaljerad. Exemplet storlek varierar, det största 49 tåg och över 100 konflikter.

[HKF97] innehåller jämförande material för olika heuristiska ansatser, baserad på ungefär samma modell som presenteras i [HKF96]. Lösningsmetoderna som jämförs är en två lokalsökningsmetoder, en genetisk metod, en tabusökningsmetod och två hybridmetoder. Metoderna är olika bra ur olika perspektiv, och pappret innehåller ett antal olika jämförelser, bl.a. konstateras att lokalsökningsmetoderna snabbt hittar en lösning men att de inte förbättrar lösningen med tiden, medan tabusökningsmetoden dels hittar



en lösning snabbt men förbättringsgraden med ökad körtid varierar med problem. Med lång körtid är en av hybridmetoderna bäst (baserad på en genetisk metod men med fördelarna från tabusökning inlagda).

Andra artiklar som studerar TTP är [BLNN98, CG94, CL95, HH94] och [Szp72].

### 3.3 Auktioner på tåglägen

Ett annat angreppssätt som gäller tåglägestilldelning är olika auktionsförfarande. Ett exempel på detta beskrivs i [PU01]. I detta avsnitt kommer vi att titta närmare på det auktionsförfarande som beskrivs i [Nil02].

På ett övergripande plan studerar [Nil02] ett och samma problem som detta projekt handlar om, det vill säga processen att tilldela tåglägen, en process som skall resultera i en tidtabell för tågtrafiken på det svenska järnvägsnätet. Men om vi antar att begreppet *problem* inkluderar också vilka data som antas vara givna eller hur tidtabeller värderas, så kan vi säga att detta projekt studerar ett helt annat problem än det [Nil02] beskriver.

Vi refererar till problembeskrivningen till detta projekt för en beskrivning av in- och utdata till det problem som detta projekt studerar. För att beskriva indata och den tidtabellvärdering till det problem som studeras i [Nil02] är det tvunget att beskriva delar av formaliseringen av problemet. Den beskrivning av formaliseringen som ges här avser att explicit ange vad indata och tidtabellvärdering är och därför skiljer sig formaliseringen här med den formalisering som ges i [Nil02]. Centralt för denna formalisering är ett begrepp för vilket vi här använder ordet *tågstig* (eng. path). Tidtabellen konstrueras från en given mängd tåg, där varje tåg har bestämd start och slutstation och hör till en bestämd trafikutövare. En tågstig till ett tåg är:

- en sekvens av blocksträckor på vilka tåget kan framföras från startstation till slutstation tillsammans med
- start och sluttider för varje blocksträcka.

Tid förutsätts vara diskretiserad på lämpligt sätt. Tågstigar representeras av boolska variabler; För varje tåg, varje blocksträcka och varje tidpunkt finns en boolsk variabel, betecknande att tåget blockerar blocksträckan vid denna tidpunkt.

Indata till problemet är

- En mängd trafikutövare
- En mängd tåg till varje trafikutövare
- En mängd tågstigar till varje tåg
- En värdering av varje tågstig
- Lämplighetsvillkor på tågstigar

En värdering av en tågstig givet av den trafikutövare tåget tillhör motsvarar vad trafikutövaren är villig att betala för tågstigen. En värdering av en tågstig är alltså en tilldelning av ett reellt tal till tågstigen. Till lämplighetsvillkoren på tågstigar hör villkor på trafik

på järnväg i allmänhet, som att det får finnas högst ett tåg på varje blocksträcka, men också allt i övrigt som krävs för att tågstigen skall vara möjlig och lämplig. Låt oss citera [Nil02] angående detta krav:

the second constraint points to that paths must be technically feasible to operate.

En tåglägestilldelning eller tidtabell är en tilldelning av tågstigar till en delmängd av tågen så att alla lämplighetsvillkor satisfieras. Det är alltså inte nödvändigt att samtliga tåg tilldelas en tågstig. Värdet av en tidtabell är summan av värdena av alla tågstigar tilldelade till tåg. I [Nil02] anges inte något värde hos tidtabeller, endast att problemet är att maximera den summa som vi här valt att kalla värdet hos tidtabellen.

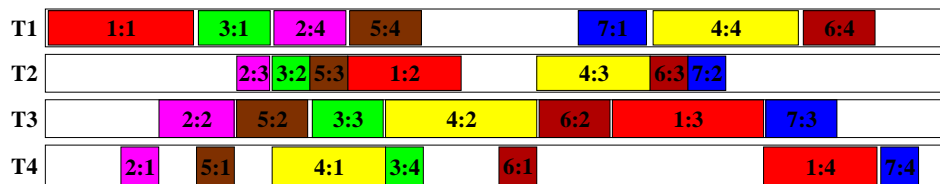
Från artikeln framgår inte helt hur indata erhålles. Det förutsätts att trafikutövarna kan tillhandahålla information som bestämmer värderingarna av tågstigar men hur lämplighetsvillkoren genereras är oklart. Ett auktionsförfarande föreslås för att få trafikutövarna att utlämna vad en viss tågstig har för värde för dem.

Artikeln uttrycker en medvetenhet om de väsentliga problemen vid tåglägestilldelning, bland annat då det som gäller omlopp av personal och fordon. Om vi förstår problemformuleringen rätt kan dessa krav inte explicit uttryckas som indata till problemet då värdering och lämplighetsvillkor gäller varje tågstig för sig och inte mängder av tågstigar. Det finns i varje fall inte något som beskrivet hur krav som gäller omlopp för fordon skall uttryckas. Krav som visserligen skulle kunna uttryckas indirekt genom värderingarna av varje tågstig för sig. Som ett exempel kan nämnas att istället för att relatera två tågs ankomster och avgångar till varandra kräver man att varje tågstig för det ena tåget innebär en ankomst till ett visst spårsegment klockan  $X$  och att varje tågstig för det andra tåget innebär en avgång från ett visst spårsegment klockan  $X + C$ , för fixerade  $X$  och  $C$ . Det betyder att tågen är fixerade till varandra, vilket är ett onödigt hårt krav.

När det gäller beräkningsegenskaper refererar artikeln till experiment som gjort. Det sägs ingenting om hur värderingar och lämplighetsvillkor valts och formulerats i dessa experiment. Val och formulering av värderingar och lämplighetsvillkor bör vara väsentliga för beräkningsegenskaperna.

Man bör också notera förhållandet hos den ansats som presenteras i [Nil02] till den gällande huvudprincipen för processen att tilldela tågläge, att statens spåranslagningar utnyttjas effektivt. Man kan säga att en tillämpning av den ansats som presenteras i [Nil02] gör trafikutövarnas beräknade vinst av en viss tåglägestilldelning till att vara värdet hos den samhällsekonomiska nyttan eller det effektiva utnyttjandet av statens spåranslagningar hos tåglägestilldelningen.

Sammanfattningsvis kan sägas att metoden som [Nil02] presenterar inte tar hänsyn till den gällande huvudprincipen för processen att tilldela tågläge (optimering på samhällsnytta), att det inte är uppenbart hur väsentliga krav vid tåglägestilldelning på ett bra sätt skall modelleras, samt att det är svårt att värdera resultaten av de experiment som gjorts. Däremot är metoden intressant på många sätt, inte minst för avgränsade områden eller spårsträckor med hög belastning då det finns möjlighet att använda dessa metoder som ett sätt att slutgiltigt avgöra vilka som får (önskade) tåglägen.



Figur 1: Gantt-schema för 7 arbeten bestående av 24 uppdrag fördelade på 4 resurser

### 3.4 Allmänt om schemalägningsproblem

Att skapa en tidtabell från en uppsättning krav och önskemål så att inga resursbegränsningar överskrids kan ses som ett s.k. schemalägningsproblem. Följande avsnitt beskriver kortfattat denna klass av problem.

Ett schemalägningsproblem består av ett antal *uppdrag* (“tasks”) med begränsningar på *starttider*, *sluttider* och *tidsutsträckning*. Ofta är uppdragen *partiellt ordnade* i sekvenser. En totalt ordnad delmängd av uppdrag kallas ofta för ett *arbete* (“job”). Varje uppdrag *belägger* eller utnyttjar en eller flera resurser under vissa tidsintervall.

Resurser kan i allmänhet modellera vitt skilda företeelser.

T.ex:

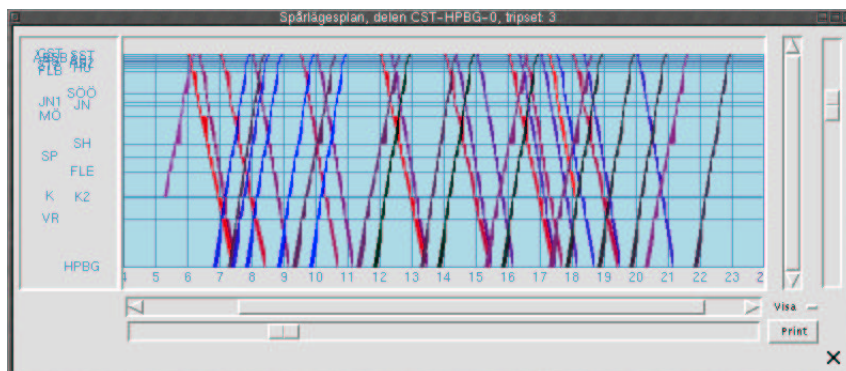
- bearbetningsutrustning i en framställningsprocess
- personal eller fordon i ett transportnät
- en växel i ett kommunikationsnätverk

Inom järnvägsindustrin är de viktigaste resurserna spår, fordon och personal.

Att ordna uppdragen så att inga resursbegränsningar överskrids kallas att *schemalägga* uppdragen och är i det allmänna fallet ett mycket svårt beräkningstekniskt problem. Icke desto mindre gör de många praktiska tillämpningarna för metoder inom detta område det relativt väl studerat.

[KCO<sup>+</sup>97b, KCO<sup>+</sup>97a, KCSÅ01] beskriver en modell för schemaläggning av tåglägen på dubbelriktade och enkelriktade spår med olika hastigheter för tågen och enkla försprång som utvecklats på SICS för SJ och Green Cargo’s räkning. Nätet abstraheras till stationssträckor, i princip sträckor utan någon form av nätförgrening (växlar), och det längsta signalblocket (i tid) dimensionerar försprånget för hela stationssträckan. På enkelriktade spårsträckor (dubbspår) och för trafik i samma riktning på enkel-spårssträckor används försprånget, i alla andra fall (tåg med olika riktning på enkel-spårssträcka) används den totala traverseringstiden för stationssträckan som avståndsdimensionerande. Olika tågtyper har olika hastigheter och bromsförmåga, således olika försprång och traverseringstider. Stationer är modellerade som en kumulativ resurs, dvs det finns plats för ett visst antal tåg samtidigt på en station, men inte mer (för en enkel växel är kapaciteten 1, för en mötesstation 2, för mer komplexa stationer är kapaciteten bedömd av expertis). Med denna modell kan storleksordningen all RC-godstrafik norr om Mälaren schemaläggas automatiskt.

En liknande modell för enkelspårstrafik har utvecklats av [OS, Oli] i Storbritannien.



Figur 2: Tågföljdsdiagram med signalkuggor på dubbelspårssträcka

### 3.5 Omlopp

Vissa typer av arbeten kan uppfattas som cykliska förlopp eller flöden. I ett fordonspromblem, t.ex. allokering av lok till tåg eller olika typer av "pick-up-and-delivery"-liknande problem, kan fordonens rörelser uppfattas som cykliska vägar i en graf. Hur svårt det är att lösa sådana problem beror starkt på de villkor man ställer på bågarna i grafen.

Om villkoret kan avgöras lokalt kan problemet modelleras som ett *nätverksflöde* [AMO93]. För sådana problem finns mycket effektiva optimerande lösare (se nedan avsnitt 4.2.1) Sådana tekniker används praktiskt i framtagningen av fordonsomlopp [DHKK97].

Om en båge i grafen representerar en *vändning* av ett lok från ett uppdrag (tåg) till ett annat är modellen ett klassiskt nätverksflöde endast om avgörandet om bågen tillfredsställer modellen kan göras lokalt, dvs. oberoende av andra uppdrag (tåg) än de två som bågen binder samman. Detta är t.ex. fallet för en tidtabell med fasta tider, och ett sådant system finns i drift bl.a. av Green Cargo [DHKK97]. Inom produktionsplanering för järnvägsindustrin förekommer två viktiga omloppsproblem som inte har denna egenskap.

- Problemet att generera lokomlopp utan ett temporalt fixerat schema
- Problemet att generera cykler av bestämd "längd" t.ex. arbetspass med dygnsvila

Följande referenser sätter omloppsproblemet i ett sammanhang: [BG81], [Sav85], [GA86], [Sol86], [Sol87], [SD88], [PR93], [TP93].

## 4 Grundtekniker av relevans för schemaläggning av tåglägen

### 4.1 Villkorsprogrammering ("constraint programming")

Till de exempel på globala resonemang som framgångsrikt introducerats i villkorsprogrammeringssystem hör en rad grundläggande schemaläggningmekanismer.

Villkorsprogrammering (CP) [vH89], [Tsa93], [Sim96] bygger på idén om en abstrakt rymd av påståenden, inskränkningar eller villkor (constraint space).

Vissa av dessa påståenden kan anses vara fullt bestämda. Tag t.ex. påståendet att ett givet tåg skall avgå Avesta 15.05 torsdag 15/4 år 2001. Andra påståenden är mindre exakta t.ex. det att OVAKO behöver transportera mellan 320 och 380 kiloton stål från Hofors och Hellefors till Malmö nästa år. Båda dessa påståenden kan representeras som *villkor* ett villkorprogrammeringsystem. Vi kallar dem villkor eller inskränkningar på värderymden för de variabler som påståendet innehåller.

Det är naturligtvis icke-trivialt att i en rymd av sådana påståenden avgöra hur t.ex. dessa båda påstående är relaterade givet någon matematisk modell av ett planeringsproblem men under vissa omständigheter går det att räkna på sådana abstrakta objekt och avgöra t.ex. motsägelsefrihet, d.v.s. att avgöra om påståendena är förenliga.

Det går också att beräkna ett eller flera s.k. *vittnen*, d.v.s. tilldelningar av värden till alla variabler i en rymd. Detta kallas att räkna upp ("enumerate") *sökrymden* för ett visst problem och innefattar i allmänhet sökning. Sådana vittnen kan i produktionsplaneringsdomänen t.ex. utgöras av konkreta produktionsplaner. Om flera sådana tas fram kan de jämföras med avseende på olika kostnadsåtgång. Att hitta den i någon mening bästa planen modelleras som ett optimeringsproblem i villkorssystemet.

Mycket av sökningen i en uppräknig av sökrymden för ett givet problem kan i allmänhet elimineras med en teknik som kallas *villkorspropagering*. Detta innebär i korthet att varje påstående som inte är helt bestämt betraktas som en tillfälligt avbruten beräkning som kan fås att interagera med andra samtidiga sådana beräkningar. Beräkningar avbryts när den information som behövs för att bestämma ett värde saknas men återupptas om den senare blir tillgänglig. Man kan se villkorsprogrammeringssystemet som en mängd parallella processer som kommunicerar, interagerar och synkroniseras via delade variabler i en dataflödesgraf.

Huruvida det är möjligt att beräkna lösningar på ett givet problem eller inte bygger mycket på uttryckskraften i det språk som används för att uttrycka påståenden om problemet. Att i ett sådant språk formulera en matematisk modell av någon verklig process är i det allmänna fallet ett svårt problem. Trots detta har man med dessa tekniker lyckats mycket bra med att modellera och lösa erkänt svåra planeringsproblem t.ex. många klassiska schemalägnings- och resursallokerings-problem, vilket gör denna teknik intressant för tågtidtabellsproblemet (TTP) 3.2.

Tag exemplet med en avgångstid. Är den känd skulle vi vilja representera den som ett tal i någon tidsenhet. Antag nu att den inte är känd, men det ändå finns viss information om den, t.ex. att den måste ligga mellan 11 och 12 någon given dag och att den måste följa efter ankomsttiden för något annat tåg.

Detta är en mycket stark inskränkning av värdet på avgångstiden. Ändå innehåller den en osäkerhet som skiljer den på ett fundamentalt sätt från den helt bestämda. Ett antal sådana påståenden kan t.ex. uttrycka relationen mellan denna avgångstid och andra avgångstider eller ankomster och kan sägas representera en specifikation av en produktionsplan. Ju mer bestämd den är desto närmare ligger den en färdig plan med helt fastställda tider.

Man kan i princip konstruera en produktionsplan genom att successivt addera mer och mer information (villkor) till en villkorsrymd, och på detta sätt iterativt ringa in den önskade lösningen genom beskärning av kvarvarande lösningsalternativ. Villkorstekniken erbjuder således möjligheten att upprätthålla en dynamiskt föränderlig

rymd av påståenden som representerar alla för ögonblicket möjliga (del-)planer givet de villkor som kundkrav, resursbegränsningar och kostnadshänsyn sätter. Vi kan välja att optimera delar av planen sent och inkrementellt och lämna resten av planen bara delvis bestämd. En annan fördel är att det är möjligt att inkorporera tekniker från operationsanalysen i villkorsparadigmet i form av globala villkor. Detta gör villkorsprogrammering till ett "integrativt" projekt, där tekniker från skilda fält sammanställs och görs tillgängliga för modelleringsexperten utan att dessa avkrävs detaljerad algoritmisk kompetens. Detta ser vi som en av de stora fördelarna med villkorstekniken.

För den intresserade finns en bra introduktion längs länken  
<http://kti.ms.mff.cuni.cz/~bartak/constraints/>.

#### 4.1.1 Ändliga domäner ("finite domains")

De villkorsprogrammeringssystem som mest aktivt utvecklats de senaste 10 åren är de som bygger på *ändliga domäner*. I ett sådant system kan varje variabel anta värden ur en ändlig mängd diskreta värden. Denna typ av variabler är naturliga att använda för att modellera diskreta storheter som antal fordon eller personer som tilldelats ett visst uppdrag. De är däremot onödigt restriktiva då man modellerar storheter som kan antas variera över kontinuerliga domäner (med oändligt antal möjliga värden), t.ex. tid.

Tekniker från operationsanalysen, t.ex. linjärprogrammering (LP) och heltalsprogrammering (IP) hanterar effektivt modeller där de flesta variablerna är kontinuerliga och där en enkel och väldefinierad kostnadsfunktion väl fångar "godheten" hos skilda lösningar av ett givet problem. De tekniker som tagits fram inom villkorsprogrammering med ändliga domäner fungerar däremot väl även då en majoritet av variablerna modellerar naturligt diskreta storheter, då kostnadsfunktionen är svårfångad samt när modellen innehåller komplexa (t.ex. icke-linjära) villkor. På så sätt kan dessa två klasser av tekniker sägas komplettera varandra.

#### 4.1.2 Globala villkor

Den första typ av villkor som studerades inom villkorsprogrammeringen var sådana som relaterade två enskilda variabler, t.ex.  $<, \leq, \neq, =$  etc. I kontrast till dessa enkla binära villkor har man på senare år fokuserat mer och mer på mer komplexa villkor mellan ett obegränsat antal variabler. Exempel på sådana villkor är sådana som relaterar variabler med värdet hos en linjär summa eller upprätthåller parvis olikhet hos en godtycklig mängd variabler.

Sådana villkor kan i princip oftast kodas i termer av en mängd enklare binära villkor som semantiskt har samma mening. Detta är dock sällan praktiskt då en effektiv lösning många gånger är beräkningsmässigt alltför komplex för att kunna realiseras genom att endast beakta variablerna parvis. Uttrycket "globala villkor" för denna typ av villkor introducerades i [BC94] och refererar till de resonemang som kan föras över ett flertal variabler som relateras i ett ickebinärt villkor.

Globala villkor utgör abstraktioner av mera komplexa egenskaper hos problem och möjliggör beräkningar på en mer detaljerad modell. Många gånger kan metoder från operationsanalysen eller teorin för algoritmer som verkar på grafer effektivt och naturligt integreras i ett villkorsprogrammeringssystem som globala villkor. Detta är ett aktivt

och mycket lovande forskningsområde inom villkorsprogrammering. För en systematisk beskrivning av ett stort antal globala villkor se [Bel00].

Flera av de bästa ansatserna för att lösa schemalägningsproblem under de senaste tio åren har introducerats som globala villkor i villkorsprogrammeringssystem [CP89], [CP94], [MS94], [BLP95], [CL96].

## 4.2 Operationsanalytiska tekniker

Traditionella optimeringstekniker som framkommit inom operationsanalysen bygger oftast på beräkningar där indata ges i form av en fullständig problembeskrivning. Dessa metoder är mycket effektiva när modellen av det verkliga problemet passar väl in i någon välkänd klass av problem och problemet är renodlat, dvs. oberoende från ett svårbeskrivbart eller alltför komplext kontext. De kan därför många gånger vara svåra att applicera i ett tidigt stadium av systemutvecklingsprocessen då många parametrar ännu är okända, och en lämplig problemmodell sökes.

Området är stort och forskningen har pågått mycket länge, termen "operationsanalys" anses ha uppkommit under andra världskriget, då knappa resurser skulle fördelas på ett viktigt uppdrag (operationer). Den amerikanska och brittiska militären kallade in forskare för att försöka angripa problemet vetenskapligt, att göra "research on (military) operations". Efter kriget fortsatte forskningen, nu även med problem hämtade från andra områden än de militära.

Det finns således mycket forskning gjort inom området, och området har på inget sätt stagnerat, mycket på grund av de allt snabbare datorerna gjort det möjligt att ta fram operationsanalytiska modeller för områden som tidigare var för komplexa att angripas effektivt. Programvaror finns av olika slag och av olika kvalitet, alltifrån s.k. "freeware" (kan hämtas fritt från olika platser på Internet), till mycket dyra men också mycket kompetenta kommersiella lösare, t.ex. CPLEX [ILO01]. För den intresserade rekommenderas länken <http://www.informs.org/Resources/>. Det finns även många bra introduktionsböcker inom området, t.ex. [FSH95].

Några översikter om användning av OR-tekniker för att lösa schemalägningsproblem är [Odi94, SU89].

### 4.2.1 Linjärprogrammering

Linjärprogrammering är i mycket grunden inom operationsanalysen och används för att modellera optimeringsproblem där kostnadsfunktionen kan uttryckas som en linjär summa över kontinuerliga variabler och där villkoren är linjära olikheter över dessa.

**Exempel:** Linjärt program

Maximera

$$c_1x_1 + \dots + c_nx_n$$

där

$$a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$\vdots$

$$a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

och

$$x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

**SIMPLEX** SIMPLEX är den äldsta och mest kända algoritmen för att lösa denna typ av problem, tillskrivs Georg Dantzig 1947. Trots att SIMPLEX i de flesta tillämpningar har mycket goda komplexitetsegenskaper (polynomiell tidskomplexitet) finns för vissa klasser av problem specialiserade algoritmer som är ändå effektivare. Ett exempel på sådana algoritmer är *nätverksflödesoptimering* (se nedan).

Den stora nackdelen med SIMPLEX är att den fungerar bara om alla villkoren är linjära och variablerna är kontinuerliga. Det senare kravet utesluter alla disjunktiva villkor (beslutsproblem) där värdet på en funktion beror på en boolsk variabel. Det forskningsfält som studerar de problem som uppstår då man lättar på det första kravet kallas inom OR för icke-linjär programmering och kommer ej närmare att beröras i denna översikt. De problem som kan formuleras då variabler tillåts variera över diskreta värden studeras inom området heltalsprogrammering. Ibland kallas problem där båda typerna av variabler förekommer blandade (“mixed”).

**“Interior point”-metoden** När problemstorleken blir mycket stor, så att SIMPLEX inte längre är praktisk möjlig att använda, finns en metod framtagen under 80-talet av N. Karmarkar på dåvarande AT&T Bell Laboratories. Denna metod är liksom SIMPLEX en iterativ metod som gradvis närmar sig den optimala lösningen, men SIMPLEX och denna metod skiljer sig i att SIMPLEX i iterationerna flyttar sig från faktiska lösningar till själva ekvationssystemet, medan Interior-point-metoden rör sig inuti Lösningsrummet mot optimum, och för mycket stora problem är detta betydligt effektivare.

**Nätverksflöden** Nätverksflöden är ett samlingsbegrepp för många typer av linjärprogrammeringsalgoritmer som hanterar optimering av flöden i nätverk. Området är väl utforskat och många problem är klassificerade. Tre viktiga delproblemen i nätverksflödesoptimering är *kortaste väg*, *maximalt flöde* och *minimal kostnad*. I beräkning av kortaste väg gäller det att hitta kortaste vägen mellan några eller alla punkter i ett nätverk. Maximala flöden kodar problem där flödet mellan par av punkter i nätverket ska maximeras. I minimala kostnadsproblem ansätts kostnader på flödet mellan olika punkter och det gäller att minimera kostnaden att skicka flöden från en eller flera punkter i nätverket till en eller flera destinationer.

Eftersom detta område är stort så skiljer sig algoritmerna ganska mycket från varandra. När det gäller minimala kostnadsproblem används ofta specialiserade varianter av SIMPLEX.

#### 4.2.2 Heltalsprogrammering

Många gånger kan man undvika att introducera heltalsvariabler genom att använda mer eller mindre avancerade modelleringstrick som kodar ett problem med heltalskrav som ett linjärt problem. Detta kräver dock ofta en förhållandevis specialiserad matematisk kompetens och är långt ifrån alltid möjligt.

Om man tillåter heltalskrav får man dock en betydligt friare modellering men tvingas istället introducera sökning i lösningsalgoritmerna. De sökmekanismer som utvecklats för att lösa denna typ av problem använder på ett direkt sätt kostnadsfunktionen och löser i varje steg (iteration) *linjära relaxeringar* (delar av) av det verkliga problemet.



	LP (linj.progr.)	IP (heltalsprogr.)	CP (villkorsprogr.)
variabeldomäner	kontinuerliga	heltal/blandade	heltal (ändl. mängd), intervall
kostnadsfunktion	optimering	optimering, sökning	domänbegränsning
skalbarhet	polynomiell kompl.	vissa problemklasser	bra för beslutsproblem
sökning	SIMPLEX	problemberoende	spec. metoder integreras

Tabell 1: Några egenskaper hos ett urval tekniker

Ett stort antal heuristiska metoder har utvecklats för att få sökningen att konvergera snabbare för vissa klasser av problem. Att givet ett konkret problem avgöra om det kan modelleras som en instans av ett av dessa väl studerade problemklasser kräver i allmänhet också specialiserad matematisk kompetens.

**Lagrange-relaxering** Lagrange-relaxering är en teknik som som går ut på att på ett systematiskt sätt omformulera heltalskraven som parametrar i kostnadsfunktionen i ett motsvarande linjärt program. Dessa parametrar justeras därpå genom att det relaxerade problemet löses med avseende på den parametriserade kostnadsfunktion. I varje steg justeras parametrarna baserat på resultaten för den föregående iterationen.

Lagrangerelaxering har framgångsrikt används för att lösa t.ex. mycket stora fordonssomloppsproblem [Löb98] och är också en av de viktigaste teknikerna för att lösa parningsproblem (se nedan). För en allmän introduktion till Lagrange-relaxering se [Ree95a]. Denna referens [Ree95b] innehåller dessutom beskrivningar av ett antal s.k. lokala sökmekanismer som ej behandlats i denna översikt.

**Parningsalgoritmer (“Pairing”)** De flesta optimerande system för personalplanering inom transportsektorn (dvs resande personal) som tagits fram arbetar i två steg:

1. Tag fram ett antal möjliga slingor, d.v.s. arbeten bestående av uppdrag (ben) som kan utföras i ordning av t.ex. en person; Varje slinga skall dessutom (ibland genom att lägga till passiva resor) beskriva en cykel i spårnätsgrafen, d.v.s. t.ex. starta och sluta på samma ort, samt uppfylla lagar och fackliga avtal. Detta steg är det som benämns *parning* (eng. pairing)
2. Lös ett optimeringsproblem som består i att bland de ovan genererade slingorna välja en delmängd så att alla uppdrag ingår i minst en cykel och så att en global kostnad minimeras

Steg två är ur matematisk synpunkt enkel att formulera, även om problemens storlek många gånger kan göra dem svårlösta. För att nå så goda resultat som möjligt gäller det därför att i steg 1 generera så många kandidater som man beräkningsmässigt kan hantera i steg 2. Det är dock i praktiken oftast omöjligt att beakta alla möjliga slingor, så vilket urval som görs i steg 1 är av avgörande betydelse för resultatet. Se t.ex. för närmare beskrivning av denna optimeringsteknik och problem-modellering. [AHKW97] ger en bra introduktion till detta. Även [Wed96] ger en kortfattad beskrivning av optimeringsproblemet, och innehåller också en kortfattad sammanfattning av olika beräkningsmetoder för bl.a. optimering.

Det finns speciella algoritmer för 0/1-matriser som är mycket effektiva och kan hantera stora datamängder, se t.ex. [Wed95]. Två andra huvudmetoder som används i detta sammanhang är *Heltalsprogrammering* med *Lagrange-relaxering* samt *kolumngenerering* (se t.ex. [DSD84], [RS94]). Detta är fortfarande ett aktivt forskningsområde inom OR.

### 4.3 Lokalsökningsmetoder

De flesta kombinatoriska problem uppvisar exponentiell tillväxt i tids- och/eller minnesåtgång då storleken på problemet skalas upp. I vissa fall kan detta visa sig genom att det är möjligt att uppnå acceptabla resultat med traditionella metoder då problemen är små eller medelstora men inte för större eller mer detaljerat modellerade problem. När sådana större problem måste kunna lösas på kort tid men bevisligen optimala lösningar är mindre centralt kan ofta heuristiska metoder användas.

En viktig grupp av heuristiska metoder bygger på idén att utsöka en liten del av de möjliga lösningarna som kan erhållas genom en lokal förändring av en given kandidatlösning. Sådana metoder brukar kalla lokalsökningsmetoder. I allmänhet kan sådana metoder inte garantera att något givet optimalitetskriterium uppnås inom ändlig tid. Däremot har dessa metoder i praktiken ofta mycket god konvergens och korta beräkningstider jämfört med mer traditionella metoder. Se t.ex. [Wal99].

De flesta lokalsökningsmetoder fungerar som en iterativ förbättringsstrategi. Man utgår från en (ej nödvändigtvis konfliktfri) lösningskandidat förbättrar den med lokalt optimala förändringar. För att minska risken att hamna i lokala optima kan olika strategier användas. För att undvika lokala förändringar som upprepas alltför ofta kan ett minne (tabu-lista) användas. En annan vanlig strategi är att använda någon form av slumpmekanism för att sprida sökningen till tidigare utforskade områden.

Konfliktlösningsproblem kan formuleras som minimeringsproblem där kvarvarande konflikter medför en hög kostnad jämfört med andra kvalitetskriterier.

En av de viktigaste fördelarna med lokalsökning är den s.k. "närsomhelst"-egenskapen (anytime) som gör att vi i varje givet läge av sökningen har tillgång till en hittills bästa lösning. Denna egenskap är viktig vid operativ styrning och andra situationer då korta tider för att hitta en lösning är viktig, och svarstiderna kan variera från fall till fall.

## **A Bilaga: Förordning (1996:734) om statens spåranläggningar**

### **Inledande bestämmelser**

- 1 §** Denna förordning innehåller bestämmelser om de spåranläggningar som tillhör staten och som drivs och förvaltas av Banverket (statens spåranläggningar). I fråga om avgifter för trafik på statens spåranläggningar finns särskilda föreskrifter.
- 2 §** I denna förordning avses med: trafikhuvudman: trafikhuvudman enligt lagen (1997:734) om ansvar för viss kollektiv persontrafik, Tågtrafikledningen: enheten Tågtrafikledningen inom Banverket, trafikeringsrätt: rätt att bedriva järnvägstrafik, tågläge: ett tågs planerade läge i tidtabellen, banfördelning: fördelning av tåglägen. Förordning (1997:780).

### **Spåranläggningarna**

#### **Järnvägsnäten**

- 3 §** Statens spåranläggningar består av stomjärnvägar och övriga järnvägar. Förordning (2002:78).

#### **Byggande av spåranläggningar m.m.**

- 4 §** Regeringen bestämmer vilka spåranläggningar som ingår i stomnätet och beslutar riktlinjer för byggande av sådana anläggningar. I fråga om byggande av stomjärnvägar finns bestämmelser i förordningen (1989:67) om plan för stomjärnvägar och förordningen (1997:263) om länsplaner för regional transportinfrastruktur. Förordning (2002:78).
- 5 §** Har upphävts genom förordning (2002:78).
- 6 §** Om ägaren av en spåranläggning begär det, får Banverket besluta att anläggningen eller en del därav skall ingå i statens spåranläggningar. Innan beslut fattas, skall Banverket samråda med berörda länsstyrelser, trafikhuvudmän samt andra spårinnehavare som berörs. Förordning (2000:1368).

#### **Förändring av underhåll av statens spåranläggningar**

- 7 §** Banverkets underhåll av del av statens spåranläggningar får upphöra när trafiken är av endast obetydlig omfattning. Innan Banverket beslutar om att underhållet av del av statens spåranläggningar skall upphöra, skall verket samråda med berörda länsstyrelser, kommuner, trafikhuvudmän och trafikutövare. Förordning (2002:78).
- 8 §** Banverket får besluta att återuppta underhållet av del av statens spåranläggningar om det kan antas att trafik kommer att drivas på järnvägarna i tillräcklig omfattning. Innan Banverket beslutar om att underhållet av del av statens spåranläggningar skall återupptas, skall verket samråda med berörda länsstyrelser, kommuner, trafikhuvudmän och trafikutövare. Förordning (2002:78).

## **Nedläggning av järnväg**

**9 §** Banverket får besluta att del av statens spåranläggningar som inte underhålls skall läggas ner. Beslut om nedläggning får fattas först tre år efter beslutet om att Banverkets underhåll skall upphöra. Innan Banverket beslutar att del av statens spåranläggningar skall läggas ner, skall verket samråda med Försvarsmakten och övriga berörda totalförsvarsmyndigheter samt de trafikutövare som bedriver eller har bedrivit trafik på den aktuella delen av statens spåranläggningar under det senaste året. Förordning (2002:484).

## **Upplåtelse av spåranläggning med nyttjanderätt**

**10 §** Om Banverket inte avser att underhålla en del av statens spåranläggningar, får verket upplåta den delen med nyttjanderätt. Innan upplåtelse sker, skall Banverket samråda med berörda länsstyrelser, kommuner, trafikhuvudmän och trafikutövare. Som villkor för Upplåtelsen skall gälla att nyttjanderättshavaren skall överta ansvaret för underhållet av den upplåtna delen och för de investeringar som behövs för nyttjandet samt ansvaret som järnvägens innehavare enligt järnvägstrafiklagen (1985:192).

## **Trafik på statens spåranläggningar**

### **Persontrafik**

**11 §** SJ AB har trafikeringsrätten för persontrafik på stomjärnvägarna. Dessutom har A-Banan Projekt aktiebolag trafikeringsrätt för persontrafik mellan Stockholms centralstation och Rosersberg. Detta bolag får efter regeringens medgivande överföra denna trafikeringsrätt till annan. Regeringen kan inskränka den trafikeringsrätt som SJ AB har enligt första stycket, om den trafik som bedrivs enligt trafikeringsrätten konkurrerar med trafik som staten har upphandlat enligt 15 § eller med trafik som bedrivs av en trafikhuvudman. Förordning (2002:78).

**12 §** En trafikhuvudman har trafikeringsrätten för lokal och regional persontrafik på stomjärnvägarna i länet. Om det kan antas att den lokala och regionala trafiken därigenom skulle förbättras för trafikanterna och detta inte leder till ett mindre effektivt totalt utnyttjande av spåranläggningarna, kan regeringen besluta att trafikhuvudmannen får bedriva sådan persontrafik på stomjärnvägar även i angränsande län. Om förutsättningarna för att bedriva kommersiell persontrafik eller av staten upphandlad persontrafik inte väsentligen påverkas, kan regeringen besluta att trafikhuvudmän i olika län som samverkar i fråga om persontrafik inom länen gemensamt skall ha trafikeringsrätt för denna trafik. Förordning (2002:78).

**13 §** Internationella sammanslutningar av järnvägsföretag som uppfyller kraven i 19 b § järnvägssäkerhetslagen (1990:1157 ) har trafikeringsrätt på statens spåranläggningar för genomgående trafik för persontransporter mellan EES-stater eller Schweiz där företagen har sitt säte. Om ett företag i sammanslutningen har säte i Sverige har det trafikeringsrätt på statens spåranläggningar även för trafik mellan Sverige och annan EES-stat eller Schweiz där ett företag i sammanslutningen har sitt säte. Förordning (2002:168).

- 14 §** Om SJ AB eller trafikhuvudmännen vid banfördelning inte ansöker om tilldelning av tågläge för persontrafik på en del av statens spåranläggningar, får Tågtrafikledningen besluta att annan får bedriva persontrafik på denna del. Tågtrafikledningen får besluta att även annan får bedriva icke kommersiell persontrafik, såsom museitåg, på statens spåranläggningar. Förordning (2000:1368).
- 15 §** Regeringen kan besluta att persontrafik som inte är lokal eller regional och för vilken det saknas förutsättningar för kommersiell drift skall upphandlas. När ett avtal om upphandlad persontrafik upphör att gälla avgör regeringen om trafiken skall upphandlas på nytt. Den som staten har upphandlat persontrafik från har trafikeringsrätt för den upphandlade trafiken. Förordning (2000:744).

### **Godstrafik**

- 16 §** Statens spåranläggningar skall, med iakttagande av de särskilda bestämmelserna i 22 §, vara öppna för godstrafik för alla trafikutövare med säte i Sverige som uppfyller kraven i denna förordning.
- 16 a §** Järnvägsföretag som har sitt säte i en annan EES-stat eller i Schweiz har trafikeringsrätt för godstrafik på de svenska delarna av europeiska järnvägskorridorer avsedda för internationella godstransporter. Förordning (2002:168).
- 17 §** Internationella sammanslutningar av järnvägsföretag med säte i EES-stater eller i Schweiz har trafikeringsrätt för genomgående godstrafik mellan EES-stater eller Schweiz där företagen har sitt säte. Om ett företag i sammanslutningen har säte i Sverige har sammanslutningen trafikeringsrätt på statens spåranläggningar även för godstrafik mellan Sverige och annan EES-stat eller Schweiz där ett företag i sammanslutningen har sitt säte. Sådan trafikeringsrätt har också järnvägsföretag med säte i en annan EES-stat eller i Schweiz, som vill utnyttja statens spåranläggningar för internationella kombinerade godstransporter. Förordning (2002:168).

### **Banfördelning**

- 18 §** Tågtrafikledningen beslutar om banfördelningen på statens spåranläggningar. Om särskilda skäl föreligger, får Tågtrafikledningen genom bindande förhandsbesked ge garantier beträffande tilldelning av tåglägen. Ett sådant förhandsbesked skall dock inte ange några exakta tåglägen.

### **Framtagande av tidtabell m.m.**

- 19 §** En trafikutövare som vill tilldelas tågläge skall anmäla sina önskemål till Tågtrafikledningen på sätt och inom de tidsfrister som Tågtrafikledningen bestämmer.
- 20 §** Tågtrafikledningen skall sammankalla berörda trafikutövare och Banverket till de överläggningar som bedöms erforderliga för framtagande av förslag till tidtabell.

### **Fastställande av tidtabell**

**21 §** Tågtrafikledningen fastställer tidtabellerna för trafiken på statens spåranläggningar efter förslag från trafikutövarna och Banverket. Om dessa inte överlämnar något gemensamt förslag till tidtabell eller om förslaget inte medger ett från samhällsekonomisk synpunkt effektivt utnyttjande av spåranläggningarna, beslutar Tågtrafikledningen hur tidtabellen skall utformas. Om ett bättre och effektivare utnyttjande av statens spåranläggningar kan uppnås med smärre justeringar i tidtabellen för trafik som tillförsäkrats någon form av företrädesrätt enligt denna förordning, skall sådana justeringar göras.

### **Principer för banfördelning**

**22 §** Vid banfördelningen skall beaktas att statens spåranläggningar utnyttjas effektivt. Fördelningen skall ske på ett konkurrensneutralt och icke diskriminerande sätt. Företräde till tåglägen får dock ges till 1. persontrafik som har upphandlats av staten eller trafikhuvudmannen, 2. trafik som möjliggör finansiering av ny infrastruktur, 3. trafik som utnyttjar ett tågläge som tilldelats och utnyttjats under föregående tidtabellperiod. Den som ämnar bedriva godstrafik på de delar av statens spåranläggningar som anges i bilagan men som inte vid föregående banfördelning har tilldelats tågläge för sådan trafik, får tilldelas tåglägen för trafiken endast om den nya trafiken inte innebär en påtaglig försämring för redan etablerad trafik. Förordning (1998:1237).

### **Trafikledning**

**23 §** Banverket ansvarar för trafikledningen på statens spåranläggningar enligt föreskrifter som meddelas av Tågtrafikledningen. Förordning (2001:630).

### **Avtal mellan Banverket och trafikutövare m.m.**

**24 §** Trafikutövare får inte trafikera statens spåranläggningar utan att ha träffat nödvändiga administrativa, tekniska och finansiella avtal med Banverket. Kommer parterna inte överens om villkoren får part hänskjuta frågan till Tågtrafikledningen för fastställande av de administrativa, tekniska och finansiella villkor som skall gälla för den aktuella trafiken. En trafikutövare skall innan trafiken påbörjas dessutom ha fått de tillstånd som följer av järnvägssäkerhetslagen (1990:1157).

### **Bemyndigande**

**25 §** Föreskrifter för verkställigheten av 11, 14 och 18-24 §§ denna förordning meddelas av Tågtrafikledningen och för verkställigheten av 6-10 §§ av Banverket. Innan Tågtrafikledningen fastställer generella riktlinjer för prioritering av trafik vid störningar och liknande skall Tågtrafikledningen samråda med Trafikledningsrådet. Förordning (2002:78).

## **Omprövning av Tågtrafikledningens beslut**

**26 §** Den som är missnöjd med ett överklagbart beslut av Tågtrafikledningen kan begära att Tågtrafikledningen omprövar sitt beslut. Om det inte är uppenbart onödigt skall Tågtrafikledningen samråda med Trafikledningsrådet vid omprövningen.

## **Överklagande**

**27 §** Banverkets beslut i frågor som avses i 6-8 och 10 §§ får inte överklagas. Banverkets beslut i frågor som avses i 9 och 25 §§ och Tågtrafikledningens beslut enligt 25 § får överklagas hos regeringen. I 22 a § förvaltningslagen (1986:223) finns bestämmelser om överklagande hos allmän förvaltningsdomstol. Banverkets beslut enligt 23 § och Tågtrafikledningens beslut gäller omedelbart om inte annat beslutas. Förordning (2002:78).

## **Övergångsbestämmelser**

1996:735 1. Denna förordning, med undantag för 23 §, träder i kraft den 1 juli 1996, då förordningen (1988:1379) om statens spåranläggningar upphör att gälla. 2. 23 § träder i kraft den 1 november 1996. Fram till detta datum ansvarar Statens järnvägar för trafikledningen på statens spåranläggningar. 1999:1147 1. Denna förordning träder i kraft den 1 februari 2000. 2. Ett medgivande att överföra trafikeringsrätten som regeringen lämnat före ikraftträdandet gäller som ett medgivande enligt de nya föreskrifterna.

## **Bilaga**

Delar av statens spåranläggningar som det hänvisas till i 22 § 1. Stambanan genom Övre Norrland (Bräcke-Umeå/Luleå), 2. Norra stambanan (Gävle/Storvik-Ockelbo-Bräcke), 3. Godsstråket genom Bergslagen (Mjölby-Örebro-Fagersta-Storvik), 4. Södra stambanan (Malmö-Katrineholm/Nyköping-Järna), 5. Bergslagsbanan (Gävle-Falun-Ställdalen-Frövi/Kil), 6. Ostkustbanan (Stockholm-Gävle-Hudiksvall-Sundsvall), 7. Mit-tbanan (delen Sundsvall-Ånge), 8. Västra stambanan (Stockholm-Göteborg), 9. Västkustbanan (Lund/Arlöv/Hässleholm-Göteborg), 10. Norge/Vänernbanan (Göteborg-Kil/Kornsjö), 11. Värmlandsbanan (delen Kil-Laxå), 12. Dalabanen (delen Sala-Borlänge), 13. stomjärnvägen Flen-Eskilstuna-Kvicksund-Västerås-Sala.

Detta är ett utdrag ur databasen Rättsnätet. Mångfaldigande utan medgivande från Notisum AB är förbjudet enligt lag. Dokumentens officiella pappersutgåvor äger alltid företräde eftersom Rättsnätet baseras på material från offentliga databaser som kan innehålla felaktigheter.

## **B Bilaga: Förordning (1997:757) om tilldelning av spårkapacitet**

- 1 §** Föreskrifterna i denna förordning meddelas för att genomföra rådets direktiv 95/19/EG av den 19 juni 1995 om tilldelning av järnvägsinfrastrukturkapacitet och uttag av infrastrukturavgifter.
- 2 §** Förordningen gäller trafik som bedrivs av företag eller sammanslutningar som avses i 1 § lagen (1997:756) om tilldelning av spårkapacitet. De beteckningar som används i denna förordning har samma betydelse som i lagen.
- 3 §** Ansökan om tilldelning av tågläge skall, om utgångspunkten för den aktuella tågtrafiken är i Sverige, göras hos Tågtrafikledningen som omedelbart skall informera motsvarande organ i de länder som berörs av ansökan.
- Om Tågtrafikledningen på motsvarande sätt har informerats om en ansökan om tilldelning av tågläge, som har lämnats in i ett annat land, skall den fatta beslut inom en månad efter det att all relevant information lämnats in. Tågtrafikledningen skall omedelbart informera det organ som tagit emot ansökan om sitt beslut.
- Om en ansökan lämnats in till Tågtrafikledningen skall den, tillsammans med övriga länders organ, fatta beslut inom två månader efter det att all relevant information lämnats in.
- 4 §** För att täcka kostnaderna för tilldelning av tågläge skall trafikutövaren betala en avgift för Tågtrafikledningens verksamhet enligt lagen (1997:756) om tilldelning av spårkapacitet.
- Avgiften skall motsvara den årliga kostnaden för tilldelning av tåglägen på andra spåranslagningar än statens spåranslagningar. Avgiften fördelas på trafikutövarna i proportion till den trafik som de utfört under året.
- 5 §** Tågtrafikledningen får meddela närmare föreskrifter om verkställigheten av lagen (1997:756) om tilldelning av spårkapacitet samt föreskrifter om tillämpningen av denna förordning.



## C Bilaga: Lag (1997:756) om tilldelning av spårkapacitet

### Lagens tillämpningsområde

1 § Denna lag tillämpas vid tilldelning av tåglägen på andra spåransläggningar än statens spåransläggningar och vid uttag av avgifter för utnyttjande av sådana spåransläggningar.

Lagen gäller transittrafik som utförs av internationella sammanslutningar av järnvägsföretag med säte i EES-stater, om trafiken sker mellan de EES-stater där företagen har sitt säte. Om ett företag har säte i Sverige, gäller lagen även för trafik till eller från en annan EES-stat där ett företag i sammanslutningen har sitt säte. Lagen gäller vidare internationella kombinerade godstransporter som utförs av järnvägsföretag med säte i en EES-stat.

Lagen gäller endast trafik som utförs på spåransläggningar som är avsedda för allmän trafik. Lagen gäller inte trafik som utförs av järnvägsföretag vilkas verksamhet är begränsad till utförande av stadstrafik, förtortstrafik eller regional trafik.

### Definitioner

2 § I denna lag avses med

**statens spåransläggningar:** de spåransläggningar som tillhör staten och som drivs av och förvaltas av Banverket,

**spårinnehavare:** företag som är ansvarigt för att anlägga och underhålla spåransläggningen, liksom för att sköta kontroll- och säkerhetssystemen,

**trafikutövare:** varje privat eller offentligt företag vars huvudsakliga verksamhet är gods- eller passagerarbefordran på spåransläggningar och som disponerar dragfordon för denna trafik,

**Tågtrafikledningen:** en enhet inom Banverket med ansvar för bl.a. banfördelning, trafikledning och tilldelning av tåglägen,

**tågläge:** ett tågs planerade läge i tidtabellen.

### Tilldelning av tåglägen

3 § Spårinnehavaren är skyldig att upplåta tågläge för sådan trafik som avses i 1 §.

För att erhålla tilldelning av tågläge skall trafikutövaren ansöka om detta hos Tågtrafikledningen, som beslutar efter att ha hört berörd spårinnehavare.

### Principer för tilldelning av tåglägen

4 § Vid tilldelning av tåglägen skall det eftersträvas att annan trafik som bedrivs på spåransläggningarna störs så litet som möjligt. Tilldelningen skall ske på ett konkurrensneutralt och icke-diskriminerande sätt. Tilldelning av tåglägen skall avse en bestämd tidsperiod som normalt inte överstiger 18 månader.

Företräde till tåglägen får ges till

1. trafik som helt eller delvis utförs på spåranläggningar som byggts eller utvecklats för specialiserade höghastighets- eller fraktklinjer,
2. trafik som utnyttjar ett tågläge som tilldelats och utnyttjats under föregående tidsperiod.

### **Avgifter för utnyttjande av spåranläggningen**

**5 §** Spårinnehavaren får ta ut avgifter för utnyttjande av spåranläggningen. Avgifterna får bestämmas så att de tillsammans med de statsbidrag som kan utges täcker spårinnehavarens utgifter för spåranläggningen på grund av investeringar, underhåll och drift samt så att de förräntar kapital som investerats i spåranläggningen. Avgifterna får i övrigt bestämmas med hänsyn till det slags trafik som avgiften avser, marknadssituationen samt arten och graden av slitage på spåranläggningen. Vid uttag av avgifter för likvärdiga tjänster får ingen diskriminering ske.

**6 §** Spårinnehavaren är skyldig att till Tågtrafikledningen lämna de uppgifter som behövs för kontroll av att avgifterna tas ut på icke-diskriminerande grunder.

### **Avgift för myndighetsverksamheten**

**7 §** Regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får föreskriva om skyldighet för den som ansöker om tilldelning av tågläge att betala en avgift för Tågtrafikledningens verksamhet enligt denna lag.

### **Allmänna bestämmelser**

**8 §** Spårinnehavaren skall i god tid informera dem som bedriver trafik på spåranläggningen om större förändringar i möjligheten att utnyttja anläggningen.

**9 §** För att få utnyttja ett tilldelat tågläge skall trafikutövaren och spårinnehavaren ingå de avtal av administrativ, teknisk och finansiell natur som behövs. Avtalsvillkoren skall vara konkurrensneutrala och icke-diskriminerande.

Kommer parterna inte överens om villkoren, får Tågtrafikledningen på begäran av någon part fastställa de administrativa, tekniska och finansiella villkor som skall gälla för den aktuella trafiken i den utsträckning det är nödvändigt för att avtalsvillkoren skall vara i enlighet med denna lag.

En trafikutövare skall innan trafiken påbörjas dessutom ha fått de tillstånd som följer av järnvägssäkerhetslagen (1990:1157).

**10 §** Tågtrafikledningen får meddela de förelägganden som behövs i enskilda fall för att denna lag eller föreskrifter som har meddelats med stöd av lagen skall följas. Sådana förelägganden får förenas med vite.

## **Överklagande**

**11 §** Tågtrafikledningens beslut enligt 3 och 9 §§ eller förelägganden enligt 10 § får överklagas hos allmän förvaltningsdomstol.

Rätten skall pröva det överklagade beslutet senast inom två månader från det att skrivelsen med överklagandet kom in till rätten.

Tågtrafikledningens beslut gäller omedelbart om inte annat beslutas.

Prövningstillstånd krävs vid överklagande till kammarrätten.

## D Bilaga: Form hos ansökan av tågläge

Detta appendix återger 4 § i [Ban01]Banverkets föreskrift om ansökan av tågläge.

4 § Ansökan om tågläge skall vara skriftlig. Av ansökan skall framgå:

1. sökandens firma, organisationsnummer eller motsvarande, postadress, telefonnummer och kontaktperson,
2. vilken trafikeringsrätt som åberopas för trafiken,
3. begärd tidtabell, varmed avses sträcka som tåget skall gå och trafikplats där uppehåll önskas med angivande av anledning till varje uppehåll, uppehålls tidsrymd samt önskade tidpunkter för avgång och ankomst. I förekommande fall skall även anges anslutningsbehov och andra omständigheter till vilka hänsyn behöver tas vid tidtabells-konstruktionen,
4. vilken eller vilka veckodagar och under vilken eller vilka tidsperioder tåget skall gå,
5. eventuella behov av infrastrukturkapacitet för växling, säkerhetssyn eller uppställning av fordon, varvid trafikplats, eventuellt särskilt spår eller annan närmare bestämd plats skall anges, samt när och för hur lång tid sådan kapacitet önskas,
6. tågslag, vagnvikt, tåglängd, största tillåtna hastighet för långsammaste fordon samt antal dragfordon och littera på dessa,
7. angivande av hastighetskategori, lastprofil och största axellast,
8. tågets transportuppgift, varmed avses det slag av transport som skall utföras med tåget,
9. om tåget kommer att innehålla farligt gods,
10. transportvillkor vid specialtransport,
11. om särskild prioritet begärs för tåget, och i sådant fall motivering till denna begäran,
12. om tågläget utnyttjats för motsvarande trafikuppgift under den tågplan som närmast föregår den vilken ansökan avser.

## **E Bilaga: A Free Nordic Rail Market for Freight**

Detta appendix återger delen “Framework and process” i del 1 “Capacity allocation” av “Appendix A - Summary of issues” i [IHC01].

### **Summary of comments**

- Should be integrated within infrastructure manager
- Need to ensure competence within infrastructure manager. Sometimes it is with the dominant Railway undertaking. Infrastructure manager doesn't have the power to flex paths.
- Need to relate capacity allocation to marketing.
- There is less a problem of capacity than of co-ordination and time frames.
- Application procedures are too complex with too many rules.
- It is necessary to request capacity too far in advance.
- Publication of requests for capacity hampers competition.
- Capacity manager is keen to see a more optimal approach.
- Better utilisation of capacity is needed.
- Priority for passenger traffic is a problem.
- Addressing the priority issue is one of the key ways to promote rail freight.
- It is unlikely that the freight market will continue to tolerate the situation.
- It is difficult for freight operators to optimise use of resources.
- Governments fail to realise implications of passenger priority for freight.
- Political constraints require legal obligation to prioritise passenger traffic.
- Response time to requests is an issue.
- Maintenance needs to be accommodated in the most appropriate manner.
- If there was more willingness to put more resources into short term planning then there would be better results all round.
- An ideal system would have no timetable at all.

### **Discussion**

The nature of capacity allocation makes it one of the most fundamental aspects of the rail transport industry. Capacity allocation has implications for the ability of rail undertakings to meet their customer's requirements, for the ability to operate a punctual and reliable timetable and for the intensity of use of the infrastructure. Infrastructure managers appear surprisingly constrained in their ability to carry this task out.

Without full control over capacity allocation the infrastructure manager loses the major tool in his ability to run his business the ability to optimise use of his major assets. In this area Governments frequently send conflicting signals because on the one hand they speak publicly of the importance of transferring freight from road to rail, while covertly they oblige the allocation of capacity to be carried out in a manner giving priority to passenger services. The framework created by Government granting priority to certain types of traffic sit strangely with concerns to ensure that not only passengers but also freight use rail.

This is one of the issues where Directive 2001/14 will have a considerable impact. Member States are obliged to grant greater freedom to infrastructure managers. The Directive's objectives are to ensure that processes are harmonised internationally, that there are no grandfather rights or prioritisation of traffic types except where there is scarcity of capacity, that as much power as possible is given to the body undertaking the allocation process, and that all applicants are treated fairly. The international aspects create significant opportunities for infrastructure managers to define the framework within which they wish in future to operate.

The comments made during the course of the interviews illustrate a considerable degree of frustration and concern in this area. It is likely to be the single area where infrastructure managers will have the greatest opportunity to reshape the way that they carry out their business in future, and it is apparent that there is a very great need for action.

## Referenser

- [AHKW97] E. Andersson, E. Housos, N. Kohl, and D. Wedelin. Crew pairing optimization. In Gang Yu, editor, *Operations Research in the Airline Industry*. Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [AMO93] R. K. Ahuja, T. L. Magnanti, and J. B. Orlin. *Network Flows*. Prentice Hall, 1993.
- [Ban01] Banverket. *Tågtrafikledningens föreskrifter och allmänna råd om ansökan av tågläge*. ISSN 1102-1314. Banverkets författningssamling, BV-FS 2001:1, 2001.
- [Ban02a] Banverket. *Sektorsprogram för järnvägen 2002*. Banverket, 2002.
- [Ban02b] Banverket. *Tilldelning av tågläge 2003*. T02-860/TR50. Banverket Trafik, 2002.
- [BC94] N. Beldiceanu and E. Contejean. Introducing global constraints in CHIP. *Mathematical computer modeling*, 20(12):97–123, 1994.
- [Bel00] Nicolas Beldiceanu. Global constraints as graph properties on structured networks of elementary constraints of the same type. Research Report R:00:01, SICS, Feb. 2000.
- [BG81] L. Bodin and B. Golden. Classification in vehicle routing and scheduling. *Networks*, 11(97–108), 1981.

- [BLNN98] U. Brännlund, P. O. Lindberg, A. Nöu, and J. E. Nilsson. Railway timetabling using lagrangian relaxation. *Transportation Science*, 14(4), 1998.
- [BLP95] P. Baptiste and C. Le Pape. A theoretical and experimental comparison of constraint propagation techniques for disjunctive scheduling. In *Proceedings of the fourteenth international joint conference on artificial intelligence*, pages 400–606, Montreal, Quebec, 1995.
- [BWZ97] M. R. Bussieck, T. Winter, and U. T. Zimmermann. Discrete optimization in public rail transport. *Mathematical Programming*, 79:415–444, 1997.
- [CFG<sup>+</sup>01] Alberto Caprara, Matteo Fischetti, Pier Luigi Guida, Michele Monaci, Giuseppe Sacco, and Paolo Toth. Solution of real-world train timetabling problems. In *HICSS*, 2001.
- [CFT00] A. Caprara, M. Fischetti, and P. Toth. Modeling and solving the train timetabling problem, 2000.
- [CG94] X. Cai and C.J. Goh. A fast heuristic for the train scheduling problem. *Computers and Operational Research*, 21(5), pages 499–510, 1994.
- [CL95] M. Carey and D. Lockwood. A model, algorithms and strategy for train pathing. *Journal of Operational Research Society*, 46:988–1005, 1995.
- [CL96] Y. Caseau and F. Laburthe. Improving branch and bound for jobshop scheduling with constraint propagation. Technical report, Laboratoire d’Informatique de l’Ecole Normale Supérieure LIENS, Département de Mathématiques et d’Informatique, 45 rue d’Ulm, 75232 Paris Cedex 05, France, 1996.
- [CP89] J. Carlier and E. Pinson. An algorithm for solving the job-shop problem. *Management Science*, 35(2):164–176, 1989.
- [CP94] J. Carlier and E. Pinson. Adjustments of heads and tails for the job-shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 78:146–161, 1994.
- [CV98] P. Toth Cordeau, J. F. and D. Vigo. A survey of optimization models for train routing and scheduling. *Transportation Science*, 32:380–404, 1998.
- [DDSS95] L. Desrosiers, Y. Dumas, M. M. Solomon, and F. Soumi. Time constrained routing and scheduling. In M. O. Ball et al., editor, *Network Routing*, volume 8 of *Handbooks in Operations Research and Management Science*, chapter 2, pages 35–139. North-Holland, 1995.
- [DHKK97] J. Drott, E. Hasselberg, N. Kohl, and M. Kremer. A planning system for locomotive scheduling. Technical report, Swedish State Railways, Stab Tågplanering, Stockholm, Sweden, and Carmen Systems AB, Jul 1997.
- [DSD84] J. Desrosiers, F. Soumis, and M. Desrochers. Routing with time windows by column generation. *Networks*, 14:545–565, 1984.
- [FSH95] Gerald J. Lieberman Frederick S. Hillier. *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill inc., New York, USA, 1995.

- [GA86] B. L. Golden and A. A. Assad. Vehicle routing with time-window constraints: Algorithmic solutions. *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 6, 1986.
- [Gov99] Rob M. P. Goverde. Transfer stations and synchronization. 1999.
- [HH94] P.T. Harker and S. Hong. Pricing of track time in railroad operations: an internal market approach. *Transportations Research*, 28-B:197–212, 1994.
- [HKF96] A. Higgins, E. Kozan, and L. Ferreira. Optimal scheduling of trains on a single line track. *Transportation Research B*, 30:147–161, 1996.
- [HKF97] A. Higgins, E. Kozan, and L. Ferreira. Heuristic techniques for single line train scheduling. *Journal of Heuristics*, 3:43–62, 1997.
- [IHC01] IHCS. *A Free Nordic Rail Market for Freight, A study for the Nordic Infrastructure Managers (NIM)*. NIM, 2001.
- [ILO01] ILOG Systems. *CPLEX Users Manual*, 2001.
- [KCO<sup>+</sup>97a] P. Kreuger, M. Carlsson, J. Olsson, T. Sjöland, and E. Åström. Trip scheduling on single track networks — The TUFF train scheduler. In *Proceedings of the workshop on Tools and Environments for (Constraint) Logic Programming at the International Logic Programming Symposium ILPS'97*. [http://www.clip.dia.fi.upm.es/Tools\\_Environ/proceedings.html](http://www.clip.dia.fi.upm.es/Tools_Environ/proceedings.html), 1997.
- [KCO<sup>+</sup>97b] P. Kreuger, M. Carlsson, J. Olsson, T. Sjöland, and E. Åström. The tuff train scheduler – Trip scheduling on single track networks. In *The proceedings of the Workshop on Industrial Constraint-Directed Scheduling held at the Third International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, Schloss Hagenberg, Linz, Austria, 1997. Ed. A. Davenport.
- [KCSÅ01] P. Kreuger, M. Carlsson, T. Sjöland, and E. Åström. Sequence dependent task extensions for trip scheduling. Technical Report T2001:14, SICS, 2001.
- [Koo00] Kaspar Koolstra. Slot allocation in different transport sectors, 2000.
- [Lin00] T. Lindner. Train schedule optimization in public rail transport, 2000.
- [Löb98] A. Löbel. *Optimal Vehicle Scheduling in Public Transit*. PhD thesis, TU Berlin, 1998. Shaker-Verlag, Aachen.
- [MS94] P. Martin and D. B. Shmoys. A new approach to computing optimal schedules for the job-shop scheduling problem. *?*, pages 389–403, 1994.
- [Nil02] Jan-Eric Nilsson. Towards a welfare enhancing process to manage railway infrastructure access. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36:419–436, June 2002.
- [Odi94] Michiel A. Odijk. Construction of periodic timetables; part I: A cutting plane algorithm. Technical Report DUT-TWI-94-61, ..., Delft, The Netherlands, 1994.



- [Oli] Elias Oliveira. Solving single-track railway scheduling problem using constraint programming.
- [OS] Elias Oliveira and Barbara M. Smith. A job-shop scheduling model for the single-track railway scheduling problem.
- [por01] EU parlamentet och rådet. *Directive 2001/14/EC on the allocation of railway infrastructure capacity and the levying of charges for the use of railway infrastructure and safety certification*. EC, 2001.
- [PR93] J.-Y. Potvin and J.-M. Rousseau. A parallel route building algorithm for the vehicle routing and scheduling problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 66:331–340, 1993.
- [PU01] D. C. Parkes and L. H. Ungar. An auction-based method for decentralized train scheduling. In Jörg P. Müller, Elisabeth Andre, Sandip Sen, and Claude Frasson, editors, *Proceedings of the Fifth International Conference on Autonomous Agents*, pages 43–50, Montreal, Canada, 2001. ACM Press.
- [RAZ00] Leo G. Kroon Rob A. Zuidwijk. Integer constraints for train series connections. Technical report ERS-2000-05-LIS, Erasmus Research Institute of Management, 2000.
- [Ree95a] C. Reeves, editor. *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Optimization*, chapter Chapter 6: Lagrangean Relaxation. McGraw-Hill International (UK) Ltd., 1995.
- [Ree95b] C. Reeves, editor. *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Optimization*. McGraw-Hill International (UK) Ltd., 1995.
- [RS94] C. C. Ribeiro and F. Soumis. A columns generation approach to the multiple-depot vehicle scheduling problem. *Operations Research*, 42(1):41–52, 1994.
- [Sav85] M. W. P. Savelsbergh. Local search in routing problems with time windows. *Annals of Operations Research*, 4:285–305, 1985.
- [Sch98] A. Schrijver. Routing and timetabling by topological search. *Documenta Mathematica*, Extra Volume ICM, 1998.
- [SD88] M. M. Solomon and J. Desrosiers. Time window constrained routing and scheduling problems. *Transportation Science*, 22(1):1–13, 1988.
- [Sim96] H. Simonis. Constraint logic programming. Technical report, COSYTEC SA, 1996.
- [Sol86] M. M. Solomon. On the worst-case performance of some heuristics for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints. *Networks*, 16:161–174, 1986.
- [Sol87] M. M. Solomon. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints. *Operations Research*, 35(2):254–265, March-April 1987.

- [SU89] P. Serafini and W. Ukovich. A mathematical model for periodic scheduling problems. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 2:550–581, 1989.
- [Szp72] B. Szpigel. Optimal train scheduling on a single track railway. In M. Ross, editor, *Proceedings of IFORS Conference on Operational Research '72*, pages 343–352. North-Holland, Amsterdam, 1972.
- [TP93] P.M. Thompson and H.N. Psaraftis. Cyclic transfer algorithms for multi-vehicle routing and scheduling problems. *Operations Research*, 41(5):935–946, 1993.
- [Tsa93] E. Tsang. *Foundations of Constraint Satisfaction*. Academic Press, 1993.
- [vH89] P. van Hentenryck. *Constraint satisfaction in logic programming*. Programming logic series. The MIT press, Cambridge, MA, 1989.
- [Wal99] Joachim P. Walser. *Integer Optimization by Local Search*, volume 1637. Springer, 1999.
- [Wed95] D. Wedelin. An algorithm for large scale 0-1 integer programming with application to airline crew scheduling. *Annals of Operations Research*, 57:283–301, 1995.
- [Wed96] D. Wedelin. Fully automatic scheduling methods, 1996.