

# Banarbeten – ett arbetspapper

Malin Forsgren, Martin Aronsson, Sara Gestrelus  
Swedish Institute of Computer Science (SICS)  
Box 1263, 164 29 Kista  
email: {malin,martin,sarag}@sics.se

9 november 2011

## Sammanfattning

Detta dokument beskriver ett förslag till matematisk modell för optimering av banarbeten på Trafikverket. Dokumentet ger även en utförlig bakgrund till modellen i form av en redogörelse för den nuvarande planeringsprocessen på Trafikverket, en översikt över forskningsläget i världen på det aktuella området, samt tankar om hur banarbetsplanering bättre kan integreras i en tänkt, framtida planeringsprocess för både tåg och banarbeten.

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>3</b>
1.1	Frågeställning . . . . .	3
1.2	Syfte och avgränsningar . . . . .	3
1.2.1	Definitioner . . . . .	4
1.3	Disposition . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Forskningsläget</b>	<b>4</b>
2.1	Järnvägsforskning . . . . .	5
2.2	Angränsande forskningsområden . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Banarbetsplanering idag</b>	<b>7</b>
3.1	Regelverk . . . . .	7
3.2	Befintliga datorstöd . . . . .	7
3.3	Banarbetsplaneringens faser . . . . .	8
3.3.1	Kontraktering . . . . .	8
3.3.2	Klassificering . . . . .	9
3.3.3	Tilldelning . . . . .	9
3.3.4	Revisionsplanering . . . . .	10
3.3.5	Överlämning till drift . . . . .	10
3.4	Prioritering mellan tåg och banarbeten . . . . .	10

3.5	Planerarens roll under revisionsperioden . . . . .	11
3.6	Om att modellera banarbeten matematiskt . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Trafikpåverkan</b>	<b>12</b>
4.1	Kvantifiering . . . . .	12
4.2	Förutsättningar . . . . .	13
4.3	Kundens perspektiv . . . . .	13
4.3.1	Förändringsbara egenskaper hos transporten . . . . .	13
4.3.2	Brutna omlopp . . . . .	15
4.3.3	Egenskapernas vikt i förhållande till varandra . . . . .	15
4.3.4	Subjektivitet . . . . .	15
4.4	Trafikverkets perspektiv . . . . .	16
4.5	Val av metod . . . . .	17
4.5.1	Icke-trafikala parametrar . . . . .	17
4.6	Banarbetets behov . . . . .	18
4.6.1	Olika typer av banarbeten . . . . .	18
4.7	Åtgärder vid trafikpåverkande banarbeten . . . . .	19
4.7.1	Banarbetsplanerarens roll . . . . .	19
4.7.2	Omledningar . . . . .	20
4.7.3	Ersättningstrafik . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Den matematiska modellen</b>	<b>20</b>
5.1	Avgränsningar . . . . .	21
5.1.1	Tåg och banarbeten stryks ej . . . . .	21
5.1.2	Banarbeten hanteras endast på länkarna . . . . .	21
5.1.3	Rudimentär hantering av banarbeten som överlappar varandra . . . . .	22
5.2	Konflikter mellan tåg och banarbeten . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Banarbeten i <i>Marackasen</i></b>	<b>25</b>
6.1	XML-formatet . . . . .	25
6.2	Marackas-specifik databas . . . . .	25
6.2.1	Databasens struktur . . . . .	27
6.2.2	Förklaring av fälten i XML-exporten . . . . .	27
6.2.3	Tolkning av XML-exportens tidsangivelser . . . . .	28
6.3	Intern datarepresentation . . . . .	29
6.3.1	bup-strukturen . . . . .	30
6.3.2	Grafisk representation . . . . .	30
6.3.3	Status . . . . .	30
<b>7</b>	<b>Test av modellen</b>	<b>31</b>
7.1	Case 1 . . . . .	31
7.2	Case 2 . . . . .	31
<b>8</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>31</b>
<b>A</b>	<b>Termer</b>	<b>34</b>

# 1 Introduktion

SICS har i många år arbetat med att ta fram beräkningsmodeller som ska kunna ligga till grund för framtida datorstöd för planering av tågtrafik. Eftersom planeringen av nyttjandet av infrastrukturen inbegriper både banarbeten och tåg tar modellerna nu även hänsyn till banarbeten.

## 1.1 Frågeställning

Den övergripande frågan som hela branschen ställer sig är hur banarbeten ska förläggas i tid och i förhållande till tågtrafiken för att göra största möjliga nytta och samtidigt störa den befintliga trafiken så litet som möjligt. Frågeställningen är central för ett forskningsområde som är kraftigt eftersatt inte bara i Sverige utan i hela världen. Den måste därför delas upp i delfrågeställningar för att bli hanterbar.

## 1.2 Syfte och avgränsningar

Inom ramen för det nuvarande projektet har fokus varit på vad som egentligen menas med att ett banarbete stör trafiken så litet som möjligt, samt vilka förutsättningarna är för att faktiskt planera banarbeten med målet att uppnå minsta möjliga trafikstörning. Det är ett arbete som har haft tre delmål:

- Att förstå den nuvarande processen för att kunna identifiera förbättringspotential som inte kräver att processen görs om från grunden
- Att utveckla en modell som på sikt tar hänsyn till banarbeten och tåg på ett jämbördigt sätt
- Att påvisa möjligheten att optimera banarbeten med datorers hjälp

Den del av banarbetsplaneringsprocessen som vi koncentrerar oss på är revisionsplaneringen, dvs processen som startar när tågplanen har fastställts. Längre fram i denna text under rubriken "Planering idag" (Kapitel 3) beskrivs revisionsplaneringen noggrannare och vi förklarar varför vi bedömer att speciellt denna del av processen har förbättringspotential utan att hela processen behöver omdefinieras.

Punkt två syftar på att vi har ett långsiktigt mål för ögonen. Även om det inte är vår ambition att göra det i detta projekt, blir det i en eventuell fortsättning på projektet aktuellt att titta på hur banarbeten och tåg skulle kunna samplaneras om vi är fria att fritt ändra i nuvarande processer. Den modell som vi utvecklar idag vill vi ska kunna vara tillämpbar även i ett sådant framtida scenario, i den mån det går att förutse vilka förändringar som kan komma att bli aktuella.

Den sista punkten innebär att vi vill visa vad som kan göras med relativt små medel med hjälp av datorstödd, optimerande teknik. Under revisionsplaneringen kan vi förutsätta att tågen i stort sett är färdigplanerade och därmed bortse från komplexiteten i uppgiften att samplanera tåg och banarbeten "på

riktigt”: Fastställda tåglägen kan inte utan vidare modifieras för att göra plats åt banarbeten.

### 1.2.1 Definitioner

Trafikverket gör skillnad på drift, vidmakthållande och uppgradering i banhållningsprocessen [1]. Vår forskning fokuserar på planering av trafik, inte styrning. Den operativa driften och de störningar som uppstår där tar vår forskning bara indirekt hänsyn till genom att sträva efter att planerna som överlämnas till driftledningscentralen ska spegla det dagsaktuella läget så bra som möjligt<sup>1</sup>.

De banarbeten som vi är intresserade av är i första hand de förebyggande åtgärderna som planeras på lång sikt – t ex spårriktning, räls slipning och ballastrening [1] – och inte avhjälpande arbeten såsom t ex snöröjning, lövsopning och återställande av nedrivna kontaktledningar som beslutas om till följd av enskilda, oförutsedda händelser eller händelseförlopp.

**Definition** Hädanefter är det förebyggande banarbeten (eng: *preventive railway maintenance activities*) som avses när vi pratar om banarbeten, om vi inte explicit kallar dem för avhjälpande banarbeten (eng: *corrective maintenance*).

## 1.3 Disposition

Inledningsvis ger Kapitel 2 en översikt av det aktuella forskningsläget på underhållsområdet, med fokus på det som har skrivits om banarbeten. Kapitel 3 sammanfattar hur planeringsprocessen för banarbeten ser ut idag och på vilket sätt den samspelar med planeringsprocessen i övrigt på Trafikverket. Därefter följer Kapitel 4 som handlar om banarbetenas trafikpåverkan med fokus på hur vi bör, respektive inte bör, modellera banarbeten rent matematiskt för att kunna inkludera dem i våra optimeringsmodeller. Kapitel 5 redogör sedan för den matematiska modellen och Kapitel 6 ger en detaljerad beskrivning av hur banarbeten i dagsläget är implementerade i *Marackasen*. Kapitel 7 tittar på ett par fallstudier där den matematiska modellen testas på verkligt data. Vi avrundar med att motivera vad som har varit de viktigaste resultaten av vår forskning kring banarbeten i Kapitel 8.

## 2 Forskningsläget

Planering av banarbeten är fortfarande relativt outforskat som forskningsområde. I detta kapitel redogörs för forskningsläget på främst det järnvägsspecifika området. Eftersom det nästan helt saknas forskning som tar hänsyn till både trafik och banarbeten samtidigt, vilket är det långsiktiga målet med vår forskning, gör vi även en kort avstickare utanför järnvägsdomänen.

<sup>1</sup>Ytterligare ett mål är att planerna i framtiden helst ska vara okänsliga för störningar i möjligaste mån, men för detta saknas för närvarande ett relevant robusthetsmått. När robusthetsmättet är på plats kan planerna optimeras även med avseende på dessa.

## 2.1 Järnvägsforskning

Det är huvudsakligen två saker som hittills adresserats inom forskningen när det gäller banarbeten, och de är naturligtvis i viss mån relaterade till varandra. Den ena frågan som har uppmärksammats är hur man avgör när det är dags för underhåll, dvs hur man säkerställer – inom en rimligt toleransnivå – att man faktiskt håller banan i ett visst, acceptabelt skick. Den andra frågan är hur man på bästa sätt genomför de arbeten som har beslutats.

Det förstnämnda delproblemet kräver modeller för hur ofta olika typer av infrastrukturrelaterade underhållsarbeten behöver göras, vilka alla rimligtvis i grund och botten baseras på hur infrastrukturkomponenter slits. Exakt vad forskningen fokuserar på varierar naturligtvis – inte minst beroende på vald tidshorisont. Vissa forskningsartiklar fokuserar på det strategiska och riktigt långsiktiga perspektivet [29], medan andra fokuserar på det årliga, löpande underhållet [10]. Antalet publicerade studier på hur just infrastruktur slits är för övrigt fortfarande blygsamt (se t ex [23, 31]), men den generella frågan om hur man beräknar underhållsintervall när man har en modell för det aktuella slitaget är föremål för många vetenskapliga studier och artiklar (för en översikt, se [18]).

När det gäller hur beslutade arbeten ska genomföras på bästa sätt, finns i huvudsak två aspekter att ta hänsyn till: faktiskt kostnad (i pengar) och hur trafiken påverkas<sup>2</sup>. Den sistnämnda faktorn kan översättas till en kostnad för att möjliggöra beräkningar som beaktar båda aspekterna samtidigt. Även om det innebär en avsevärd förenkling av problemet kan man t ex bestämma vad man anser att det kostar att ställa in ett tåg [7].

En av de vanligaste ansatserna för att få ner kostnaden för underhåll är att hitta strategier för att klumpa ihop olika åtgärder i underhållspaket [7, 20, 28]. Om man förutsätter att den faktiska utrustningen och det material som behövs för ett arbete kostar lika mycket oavsett hur och när banarbetet utförs, återstår kostnaden för att avlöna personal och förflytta såväl personal som utrustning. Indirekta kostnader pga omledd eller inställd trafik tas inte hänsyn till i dessa modeller.

De flesta forskningsresultat för vilka optimeringsansatser har applicerats med lyckat resultat gäller enskilda sträckor med ett mycket begränsat antal arbeten och team som ska utföra dem. För att greppa större områden krävs heuristiker, och pga den minst sagt icke negligerbara kostnaden att frakta underhållsteam och ofta väldigt tung utrustning långa sträckor koncentrerar sig forskare i vidsträckt länder såsom t ex U.S.A. på geografiaspekten [28].

När det gäller optimering av banarbetsprocessen har det på senare år gjorts försök till benchmarking [14]. Benchmarking inom järnvägsindustrin skiljer sig signifikant på flera punkter jämfört med övrig industri inte minst pga att tillgångarna, dvs själva infrastrukturen, är utspridda på ett stort geografiskt område. Dessutom finns mycket stora skillnader i hur järnvägsbolag och -organisationer

<sup>2</sup>Kvaliteten på det utförda arbetet borde kanske vara ytterligare en aspekt att ta hänsyn till, men går att bortse från om man förutsätter att det finns en lägstanivå på kvaliteten och att man bara beaktar entreprenörer som når upp till denna nivå.

är strukturerade, vilket gör jämförelser svåra. Avreglering och outsourcing försvårar analyser, bl a pga att viss information måste hållas hemlig av konkurrensskäl. Lovande är ändå att det finns fallstudier som visar att benchmarking tydligt kan bidra till att göra processen mer kostnadseffektiv.

Till forskning som specifikt koncentrerar sig på att minimera trafikpåverkan hör [22]. Bland forskning som inte uttalat minimerar trafikpåverkan men som i a f tar viss hänsyn till hur trafiken påverkas genom att införa diverse bivillkor kan nämnas [28]. I [7] är man medveten om att trafiken inte ska störas, men nöjer sig med att det som är bäst från banarbetsplaneringens perspektiv också verkar tillräckligt bra för trafiken: Att gruppera och hålla ihop arbetspassen på ett smart sätt är det billigaste sättet att få mycket gjort eftersom det minskar ställtiden, och på ett generellt plan är det fördelaktigt även ur trafikens synpunkt eftersom det minimerar den totala tiden som banan påverkas av banarbeten.

Många studier som integrerar schemaläggning av produktion och förebyggande underhåll ser på underhållet som något som är förutbestämt till specifika tidsintervall, dvs integrationen består i att utrustning explicit är otillgänglig vid vissa tidpunkter (se t ex literaturoversikten i [25]).

Bland de tekniker som används för att lösa själva schemalägningsproblemet har vi hittat exempel på blandad heltalsprogrammering (MIP-modeller) [15, 22], villkorsprogrammering [10] och genetiska algoritmer [8, 17]. Heuristiker såsom tabusökning [8, 22, 26], lokalsökning [17, 22], *simulated annealing* [22] används också.

För att kunna göra en riktigt bra plan är det kanske egentligen summan av livscykelkostnaden för infrastrukturen, driftkostnaden samt den samhällsekonomiska kostnaden för inställd eller dåligt fungerande trafik som ska minimeras. Den senare kan eventuellt ställas mot något sorts idealläge där alla kan åka vart de vill, i stort sett när de vill, till en låg kostnad, snabbt och utan förseningar. Livscykelkostnaden är inte beräknad i en handvändning även om ämnet som sådant naturligtvis är relevant (se t ex [27]).

## 2.2 Angränsande forskningsområden

Tidtabellägningsproblemet där man tar hänsyn till underhåll (banarbeten) är inte riktigt jämförbart med planering av produktion och underhåll på en eller flera maskiner i en tillverkningsindustri. Det vi ska minimera är inte nödvändigtvis den tid som förflyter mellan processens start och slut och tiden maskinerna är otillgängliga pga underhåll som i de flesta forskningsartiklar som tar samtidig hänsyn till produktion och underhåll (t ex [5, 30]).

Bland ansatser som trots allt är intressanta att titta närmare på finns Sortrakul et al som använder heuristiker baserade på genetiska algoritmer för att optimera ett integrerat produktions- och underhållsplaneringsproblem [32]. Vi vill även nämna Sudiarso och Labib som tittar på hur fuzzy logic kan använda data om underhåll i en anläggning för att ta fram den optimala storleken på ett parti i anläggningens produktion [33].

## 3 Banarbetsplanering idag

### 3.1 Regelverk

Trafikverket nämner följande dokument som styrande för banarbetsplaneringen: Järnvägslagen (2004:519), Järnvägsförordningen (2004:526), Järnvägsstyrelsens föreskrift (JvSFS 2005:1), Trafikverkets beslutade planeringsförutsättningar för respektive tågplanepериод samt de trafikeringsavtal som ingås mellan Trafikverket och auktoriserad sökande (AS) [3, 35].

Tillkommer gör Trafikverkets rutiner för banarbetsplanering, vilka årligen upprättas av Chefen för Planeringssektionen (rutiner för långsiktig planering, dvs banarbetsplan (BAP) och revisionsplanering) och Chefen för Driftsområdet (planering närmare utförandet, dvs BUP). Det pågår ett arbete med att dokumentera riktlinjer för planeringsarbetet i form av interna dokument som förekommer i olika grad av färdigställande [34, 35].

### 3.2 Befintliga datorstöd

En förutsättning för såväl den nuvarande planeringsprocessen som en framtida process är datorstöd av olika slag. I dagsläget är det i första hand databaser och visualiseringsverktyg som används för att hantera de olika delmomenten under planeringen av tågtrafik och banarbeten, utöver mer generell programvara såsom ordbehandlingsprogram och kalkylblad. Hur t ex kalkylblad används beror mycket på den enskilde individen, men generellt används sådan programvara för att bokföra komplicerade samband, dvs för att strukturera upp problemen man ställs inför.

Nytt för ansökningsomgången inför T11 (tågplanen för 2011) var *Excel-ansökan*, vilken underlättade tidtabellkonstruktörernas arbete avsevärt i och med att operatörernas ansökningar därmed inkom på ett homogent format.

I ad hoc-processen lägger i dagsläget banförvaltaren, och även de entreprenörer som är kontrakterade att sköta underhållet av banan, in önskemål om att få utföra arbeten, eller *objekt*, via systemet Trans. I Trans kan man få en sammanställning av tågfria tider för en viss tidsperiod inom ett geografiskt område [4]. Den funktionen ska användas för att om möjligt lägga in nya objekt på tider där tågtrafiken enligt inte påverkas.

Även om underlaget till Trans är ett levande dokument som ständigt förändras och därtill är trubbigt, dvs kan missa tågfria tider respektive ange att det är tågfritt fast det inte är det, är Trans ändå det bästa verktyg man idag har att erbjuda entreprenörerna för att de ska kunna bilda sig en uppfattning om var det går att komma ut på banan någonstans [11].

### 3.3 Banarbetsplaneringens faser

I framställningen som följer beskrivs, om inget annat anges, processen som den såg ut på Banverket innan Trafikverket bildades<sup>3</sup>. Vi förutsätter att de rutiner som man relativt nyligen hade sett över är dem man fortfarande strävar efter att följa. Däremot har vi valt att använda namnen på de nya organisationella enheterna där så är lämpligt.

Notera även att vi här inte beskriver hur akuta åtgärder planeras (i den mån de kan planeras överhuvudtaget), utan fokuserar på det mer långsiktiga, förebyggande underhållet (se avsnitt 1.2.1).

#### 3.3.1 Kontraktering

Man kan kategorisera banarbeten på flera olika sätt. Sett till syftet, finns det två olika typer: kapacitetshöjande åtgärder och det rena underhållet av befintlig infrastruktur för att hålla banan i fullgott skick. Ansvar för att generellt sett hålla efter banan ligger i Sverige på entreprenad.

Det finns tre olika typer av instanser som kan ansöka om tillträde till banan:

- Trafikverket själva. Den interna underhålls- och investeringsverksamheten kräver tillträde till infrastrukturen. Hit hör t ex vägarbeten som påverkar banan, och beställningar från Investeringsdivisionen som syftar till att uppgradera infrastrukturen.
- Underhållsentreprenörer som är kontrakterade för flera år i taget. Dessa ansöker om tider för att utföra arbeten som utgör det mer rutinmässiga underhållet.
- Externa infrastrukturförvaltare, såsom kommuner och kraftbolag. åtgärder i omkringliggande terräng Övriga behov av tillträde till banan där banan påverkas av någon orsak och därför får samma effekt som ett banarbete.

För att täcka underhållet av järnvägsinfrastrukturen hade Trafikverket år 2010 ca 40 olika kontrakt med fyra olika entreprenörer till ett värde på ca 1,5 miljarder kronor. Kontrakten utformas idag mer än förut på basis av funktion snarare än utförande, dvs Trafikverket specificerar inte i detalj hur arbetet för att uppnå ett visst resultat ska utföras utan lämnar dessa beslut åt entreprenören [36].

Arton månader innan tågplanen ska fastställas skickar Trafikverket ut såväl en extern som intern förfrågan för att få in de långsiktiga planerna från kommuner, kraftbolag, Investeringsdivisionen och banförvaltare. De sistnämnda samlar in synpunkter om banans skick och lämpliga åtgärder från de entreprenörer som de har skrivit funktionsavtal med [13].

<sup>3</sup>1 april 2010 bildades Trafikverket och tog över ansvaret för verksamheter som förut bedrevs av Banverket, Vägverket och SIKa. De tre nämnda myndigheterna avvecklades också i och med bildandet av Trafikverket.

### 3.3.2 Klassificering

Ett större arbete kan klassificeras som *planerat större banarbete* (PSB). Samtliga PSB anges i Järnvägsnätsbeskrivningen (JNB) för aktuellt år och ska därmed ses som en del av förutsättningarna för att bedriva trafik på spårnätet när trafikoperatörerna ansöker om att få köra tåg.

Underlag för arbeten som kan komma att klassificeras som PSB ska lämnas in senast 17 månader innan den berörda tågplanen ska börja gälla, vilket innebär att underlaget måste vara Trafikverket tillhanda i augusti året innan tilldelningsprocessen för den tågplanen i fråga startar [3].

Förslaget om vad som ska bli PSB går även ut på remiss till järnvägsföretagen (JF). Banarbetsplanerare på Trafikverket har märkt att det finns en acceptans för ungefär 20-25 PSB per år hos operatörerna [19]. Notera att budgeten inte är fastställd när beslut om PSB tas, vilket kan leda till att de inte blir av.

Arbeten som driftområden signalerar behöver genomföras men som inte klassificeras som PSB får etiketten "övriga banarbeten". Även om PSB innehar en särställning i JNB, finns där även en förteckning sträcka för sträcka som anger vilka övriga arbeten som planeras som förväntas störa trafiken.

Beteckningen "övrig" är olyckligt vald eftersom sådana banarbeten inte får förväxlas med de som av något skäl helt saknar etikett. De arbeten som klassificeras som "övriga banarbeten" har en bestämd status på Trafikverket. I detta dokument använder vi hädanefter konsekvent kursiv stil till denna term för att markera att det verkligen är fråga om banarbeten med en viss klassificering.

### 3.3.3 Tilldelning

Intentionen är att *övriga banarbetens* kapacitetsbehov ska bedömas samtidigt som tåglägesansökningarna från tågoperatörerna behandlas, dvs under tidtabellägningsprocessen. Vilka banarbeten som entreprenörerna ansöker om att få göra framgår av hur Banarbetsplanen (BAP) ser ut i samma stund som ansökningstiden för tåglägen går ut (för närvarande i mitten av april).

I dagsläget finns inga tydliga rutiner för hur tidtabelläggare ska ta hänsyn till *övriga banarbeten* under tidtabellägningsfasen. Banarbetsplanerare och tidtabellkonstruktörer jobbar parallellt och i samförstånd med att efter bästa förmåga ta hänsyn till det som den andre planerar. Eftersom ingenting ligger fast förrän tågplanen är fastställd, baseras många beslut på antaganden om hur den slutliga planen kommer att se ut. Tidsschemat för tågplanekonstruktionen är vidare så hårt pressat att tidtabelläggarna pga tidsbrist inledningsvis i praktiken fokuserar på tågen och endast tar direkt hänsyn till PSB-klassificerade banarbeten. JF informeras dock om vilka tåglägen som ser ut att bli påverkade av banarbeten [13].

Dagens rutiner bottenar i principen att inte låta ett banarbete som påverkar trafiken under en väldigt begränsad del av året påverka trafiklösningen på ett sådant sätt att tågplanen blir märkbart sämre än den skulle varit annars under den del av året som banarbetet inte pågår. Det bästa för helheten vore naturligtvis om man – i de fall det finns flera likvärdiga lösningar – valde den

lösning som bäst gynnar både banarbetet i fråga och trafiken som ska gå under samma period. I dagsläget saknas möjligheter och metoder att utvärdera flera olika lösningar utifrån ovannämnda kriterier.

### 3.3.4 Revisionsplanering

När tågplanen väl har fastställts gäller inte längre samma principer för tilldelning av tåglägen och tider för banarbeten som under tilldelningsprocessen. Ansökningar om tåglägen tas under innevarande tågplaneperiod om hand enligt först till kvarn-principen i något som benämns ad hoc-processen. All banarbetsplanering som sker under innevarande tågplaneperiod benämns *revisionsplanering*, och det som tidsmässigt sammanfaller med ad hoc-processen kallas *revisionsperioden*<sup>4</sup>.

Under revisionsperioden tar Trafikverket emot önskemål från entreprenörerna om tider då deras respektive arbeten ska utföras. Detta gäller inte minst när behovet av att förändra redan beslutade arbeten uppstår. En stor del av uppgiften för de som på Trafikverket jobbar med revisionsplanering är hantering av sådana förändringar. En Banarbetsplanerare som vi har pratat med bedömer att inte ens hälften av de objekt som är fastställda i BAP utförs på det sätt och på de tider som är planerade där [12].

### 3.3.5 Överlämning till drift

I dagsläget överlämnas ansvaret för BAP till Driftledningscentralen (Dlc) nio veckor före drift<sup>5</sup>. Överlämningen sker rullande genom att en *Banutnyttjandeplan* (BUP) som omfattar de kommande åtta veckorna fastställs varje onsdag kl 15. Förändringar i BUP får inte innebära förändringar för tågtrafiken, dvs nio veckor före genomförande ligger banarbetet i allt väsentligt fast ur trafikpåverkanssynpunkt. Undantag förekommer naturligtvis, men innebär i så fall en förhandling med berörda järnvägsföretag [2]. I praktiken vill operatörerna ofta veta betydligt tidigare än så om ett visst arbete blir av eller inte, t ex 14 eller t o m så mycket som 20 veckor i förväg [19].

## 3.4 Prioritering mellan tåg och banarbeten

De banarbeten som lämnas över till Banarbetsplanerarna har blivit bedömda och prioriterade av en BAP-koordinator, dvs beslutet att det ska bli av är redan fattat när Banarbetsplaneraren tar emot det via Trans. BAP-koordinatorerna värderar objekten i sina respektive geografiska områden, men de detaljplanerar inte när (eller hur) de ska genomföras. Det sistnämnda är Banarbetsplanerarens uppgift [13].

<sup>4</sup>Det är inte helt sant att revisionsperioden och ad hoc-processen sammanfaller. Den korrekta beskrivningen är att revisionsperioden startar när tågplanen och BAP fastställs (i september) medan ad hoc-processen formellt startar först då tågplanen börjar gälla (i december).

<sup>5</sup>Det är i skrivandets stund oklart hur länge det kommer att se ut på detta sätt. Kanske kommer inom kort endast nästkommande dygn att lämnas över till Dlc [13].



flytta på tåg och fastställda banarbeten är därmed starkt begränsad. Förenklingen att de överhuvudtaget inte får flyttas, utan endast strykas, är därför inte helt realistisk.

Om vi utgår från revisionsplaneringens förutsättningar, kan våra modeller fokusera på hur nya banarbeten kan planeras in i en befintlig plan utan att behöva tyngas ner av att samtidigt försöka planera in tåg. Detta ger hanterbara körtider, dvs detta innebär att problemet som formuleras av modellen kan lösas inom en rimlig tid av CPLEX eller någon annan heltalsprogrammeringsprogramvara. Samtidigt har det förenklade scenariot i högsta grad relevans i Trafikverkets verksamhet. Därför har vi valt att fokusera på revisionsplaneringen för våra matematiska experiment.

## 4 Trafikpåverkan

I detta kapitel tittar vi på vilka konsekvenser banarbeten får för trafiken<sup>6</sup>. Vi börjar med att beskriva vad vi egentligen menar med trafikpåverkan och fortsätter med att titta på hur man på Trafikverket resonerar när man gör plats för banarbeten i tågplanen.

För den fortsatta framställningen är det viktigt att poängtera att det i ett vidare perspektiv inte är Trafikverkets uppdrag att betrakta effekterna av banarbeten på trafiken som en isolerad företeelse som till varje pris ska minimeras. Trafikverkets uppgift är att hitta den helhetslösning som är bäst ur ett samhälls-ekonomiskt perspektiv [11]. I helhetsperspektivet är det dessutom meningen att kortsiktiga mål mot ska vägas mot långsiktiga.

Även om det inte är den enda, är en av komponenterna i helhetsbilden trots allt hur trafiken påverkas kortsiktigt – inte minst för att det anses finnas ett samhälls-ekonomiskt värde i att uppfylla operatörernas önskemål så långt som möjligt [35]. I förlängningen kan det tolkas som att deras trafikupplägg ska störas så litet som möjligt.

För att vi ska kunna förhålla oss till hur man värderar vem som ska ges tillgång till infrastrukturen vid en viss given tidpunkt behöver vi med andra ord utreda vilka effekter ett banarbete tillåts ha på trafiken.

### 4.1 Kvantifiering

Vi vill göra ett försök att ringa in vad som menas med att minimera banarbetsobjektens trafikpåverkan och besvara frågan “Vad är minsta möjliga trafikpåverkan”? Eller ännu mer specifikt: “Vad innebär det att minimera de negativa effekter som banarbeten har på trafiken”?

Utän tvekan är den lösning som överhuvudtaget inte avviker från den fastställda tågplanen den som kan sägas innebära minsta möjliga trafikpåverkan. I

<sup>6</sup>Den trafik vi avser i detta avsnitt är järnvägstrafiken. Självklart kan även övriga trafikslag påverkas negativt av ett banarbete, men detta faktum har vi för överskådlighetens skull bortsett från i denna detaljerade framställning. Det finns en samhälls-ekonomisk kostnad förknippad med att påverka även övriga trafikslag, men vi betraktar denna påverkan som bivillkor som tas hänsyn till först i och med att man värderar helhetsbilden.

andra änden av spektrumet finns alternativet att helt ställa in trafiken till följd av ett banarbete, dvs stryka tåg utan att ersätta tågen med bussar/lastbilar. Mellan dessa ytterligheter finns olika grader av trafikpåverkan.

## 4.2 Förutsättningar

Vi förutsätter att JF i det allmänna fallet föredrar det ansökta och beviljade tågläget framför ett omledningsläge eftersom de annars hade sökt ett annat tågläge<sup>7</sup>. Vi förutsätter också att en lösning med ersättningsbussar eller -lastbilar alltid är sämre för JF än om trafiken flöt på enligt den ursprungliga tågplanen, oavsett om Trafikverket ger JF tillräcklig ekonomisk ersättning för merkostnaderna eller inte.

## 4.3 Kundens perspektiv

Om kunden är minst lika nöjd med en lösning som är anpassad till ett banarbete som denne skulle ha varit med trafiken som den var tänkt i den ursprungliga tågplanen, har trafiken inte påverkats negativt från just den kundens perspektiv. Den tillfälliga lösningen kan skilja sig väsentligt från den ursprungliga, men att trafiken påverkas är inte samma sak som att den påverkas negativt.

Det finns två kundgrupper att ta hänsyn till: slutkunderna, dvs resenärer och godstransportköpare, samt JF. Från Trafikverkets perspektiv är resenärer och godstransportköpare kundens kund medan JF är Trafikverkets direkta kund.

Kundens och slutkundens perspektiv sammanfaller delvis eftersom Trafikverket i de här sammanhangen måste kunna bedöma vad som gör kundens kund nöjd för att göra sin egen kund, dvs JF, nöjd. När Trafikverket behöver bereda plats i tågplanen för banarbeten, kan de förutsätta att sannolikheten för att JF ska godkänna en lösning ökar ju lindrigare slutkunden drabbas – så länge övriga parametrar som påverkar JF (t ex lösningens kostnad för JF) är någorlunda jämförbara.

### 4.3.1 Förändringsbara egenskaper hos transporten

Vilka egenskaper hos produkten bedöms av kunden? Hur påverkas kundens totala intryck av produkten när de olika egenskaperna förändras? I vilken utsträckning kan en egenskap ändras oberoende av de andra? Svaren på dessa frågor beror på vilken typ av kund man frågar.

Vi fokuserar här på de trafikala/praktiska egenskaperna även om det egentligen inte går att bortse helt från övriga aspekter eftersom alla påverkar varandra på ett eller annat sätt. För att förenkla framställningen bortser vi för tillfället från hur prisskillnaderna påverkar valet av lösning och nöjer oss med att räkna

<sup>7</sup>Den observante inser här att det ansökta och det beviljade läget kan skilja sig väsentligt åt, och att ett omledningsläge i sällsynta fall skulle kunna ligga närmare det ansökta läget än det beviljade faktiskt gör. Vi bortser i detta resonemang från detta specialfall eftersom det i praktiken bedöms som extremt osannolikt.

upp på vilka sätt lösningarna kan variera. I Avsnitt 4.5 återkommer vi till hur kostnaden för de olika alternativen påverkar besluten<sup>8</sup>.

Följande egenskaper kan förändras för att anpassa trafiken så att utrymme kan ges till ett banarbete.

- Avgångstid.
- Ankomsttid.
- Restid
- Anslutningar
- Komfort

Exakt vad en förändrad avgångstid respektive en förändrad ankomsttid får för konsekvenser för en slutkund är väldigt situationsberoende. Bl a beror det i väldigt hög utsträckning på om dessa ändras efter det att tjänsten (resan eller godstransporten) köptes eller inte.

Olika kategorier av resenärer och gods är olika känsliga för förlängda restider. Den allvarligaste konsekvensen torde vara att själva syftet med transporten omintetgörs pga att resan tar längre tid. Om transporten är en del i en transportkedja, får det t ex ofta stora konsekvenser för slutkunden om den kedjan bryts, vilket kan bli fallet om restiden förlängs och/eller ankomsttiden flyttas fram (läs vidare om anslutningar nedan).

Anslutningar och huruvida dessa upprätthålls eller inte är en egenskap som i hög grad hänger ihop med de redan nämnda egenskaperna. Den här aspekten omfattar alla anslutningar som måste upprätthållas för att transportkedjan inte ska brytas. Den inbegriper såväl anslutning gentemot andra tåg som kopplingar till andra transportslag. En missad anslutning förlänger oftast restiden/transporttiden dramatiskt. Utöver den förlängda restiden upplever resenärer ofta obehag i form av stress och osäkerhet – åtminstone tills den nya resplanen är fastställd.

När det gäller komfort är det ofta så att de som har valt att åka tåg på en viss sträcka troligen har gjort det för att de upplever tåg som bekvämare än buss. Buss finns nämligen som alternativ till tåg på de flesta sträckor och tenderar dessutom att vara billigare (men också långsammare). Vi kan därför förutsätta att många slutkunder upplever det som negativt att behöva åka ersättningsbuss i stället för det ordinarie tåget pga ett banarbete.

Relaterat till ovanstående punkt när det gäller bekvämlighetsfaktorn är antal byten. En resenär vill ha så få byten som möjligt. En godstransportköpare bryr sig förmodligen inte på samma sätt eftersom denne inte behöver lasta om godset

<sup>8</sup>Huruvida en lösning kostar mer än en annan spelar t ex självklart stor roll inte bara för den slutgiltiga bedömningen utan också för hur kunden uppfattar en lösning när han/hon/denne betraktar rimligheten hos den. Det är klart att slutkunden blir nöjd om han/hon får åka taxi från sin dörr till slutdestinationen i stället för att byta från tåg till buss och sedan tillbaka till tåg igen. Men även slutkunden inser orimligheten i att ett sådant alternativ skulle erbjudas och jämför därför heller inte den erbjudna lösningen med ett sådant luxöst alternativ.

själv. Men om omlastningar innebär ytterligare förseningar och/eller påtagligt ökad risk för att godset blir skadat, kan antal byten givetvis påverka slutkunden även i godstransportfallet.

Utöver dessa parametrar tillkommer faktumet att upplevelsen av hur trafiken påverkas av ett banarbete sannolikt även till stor del beror på hur förändringarna beskrivs, dvs hur komplicerat det är att förstå vad banarbetet betyder för mig som resenär/godsköpare.

### 4.3.2 Brutna omlopp

För JF är brutna omlopp inte förenligt med “minsta möjliga trafikpåverkan”. Rent krasst kanske JF kan lösa situationen genom att stoppa in fler vagnar och/eller lok, men eftersom brutna omlopp garanterat medför omplanering för JF för att deras övriga trafik ska fungera, räknar vi in denna parameter som en av egenskaperna hos lösningen som är trafikpåverkande för kunden (eftersom JF är Trafikverkets kund).

### 4.3.3 Egenskapernas vikt i förhållande till varandra

I vissa fall blir man tvungen att ställa förändringen av en egenskap mot en annan. För att upprätthålla anslutningar samtidigt som restiden förlängs kan det t ex vara nödvändigt att tidigarelägga avgångstiden. Det kan också vara rimligare att köra buss en längre sträcka i stället för att t ex låta passagerarna byta från buss tillbaka till tåg för den sista biten<sup>9</sup>.

För parametrarna avgångstid, ankomsttid och restid ovan gäller att små förändringar motsvarar en liten trafikpåverkan i sig, så länge det inte påverkar anslutningar och komfort.

### 4.3.4 Subjektivitet

För att kunna förutse hur en trafikförändring påverkar slutkunden, måste vi ha i åtanke att slutkundens upplevelse av situationen även kan bero på faktorer som inte har med den faktiska förändringen att göra. En lösning som av slutkunden upplevs som dålig kan mycket väl bero på hur tidtabellen såg ut redan innan det planerades för ett banarbete på sträckan. När man bedömer vad förändringen innebär för slutkunderna, förutsätter man kanske att slutkunden har en uppfattning om hur resan skulle ha förlöpt om inget banarbete hade stört trafiken, vilket inte nödvändigtvis stämmer i det enskilda fallet.

För att ta ett exempel där upplevelsen troligtvis inte stämmer med verkligheten har vi fallet där den ordinarie tidtabellen är lagd på ett sådant sätt att tåg ofta drabbas av förseningar på resor mellan två specifika punkter. En mindre försening pga ett banarbete vid resa/transport mellan samma två punkter

---

<sup>9</sup>Vid avstängning mellan Borlänge och Avesta Krylbo låter man i regel tågen som kommer söderifrån vända i Avesta Krylbo. De passagerare som ska vidare från Borlänge till Falun får sitta kvar på bussen i stället för att byta tillbaka till tåg för de sista två och en halv milen mellan Borlänge och Falun [11].

kanske upplevs som värre av en resenär/godstransportköpare som inte känner till tågets normala förseningsstatistik.

Exemplet ovan visar bara ett av potentiellt många fall där man inte utan vidare kan anta att slutkunden rättvist kan bedöma hur en lösning förhåller sig till det ordinarie upplägget. Ändå ligger det på Trafikverket att i förväg gissa hur slutkunden kommer att uppfatta en viss lösning i förhållande till den som representeras av den ordinarie tågplanen.

Trots de stora utmaningarna som finns, bedömer vi att det är möjligt att avgöra vilken av två lösningar som är bättre i det här avseendet i de fall som lösningarna skiljer sig tillräckligt mycket från varandra. Även om det inte är möjligt att verkligen veta hur slutkunden kommer att uppleva en förändring, måste såväl Trafikverket som JF fatta beslut i frågan och värdera varje enskilt fall. Vi försöker alltså egentligen ringa in hur Trafikverket (och JF) resonerar om vad slutkunden "kommer att kunna tänkas tycka".

#### 4.4 Trafikverkets perspektiv

Om vi för tillfället bortser från den arbetsinsats som krävs på Trafikverket för att planera om trafiken för att anpassa den till ett banarbete, är det på Trafikverket främst den operativa driften som påverkas av trafikförändringar pga banarbeten. Här är de viktigaste aspekterna som påverkas:

- Förändrad bemanning, t ex med avseende på bevakning på TAM-sträckor
- Förändrad störningskänslighet hos tidtabellen
- Trafikinformation

Märk väl att inställd trafik till följd av ett banarbete kan få positiva effekter på den operativa driften för de tåg som är kvar. Tidtabellen kan (men behöver inte) bli mindre störningskänslig och färre tåg innebär sannolikt en något lägre arbetsbelastning för den personal som är i tjänst.

Vid omledningar kan en tidtabell bli mer störningskänslig eftersom ordinarie tåglägen samsas med extrainsatta omledningslägen på en viss sträcka. Även om den extra känsligheten för störningar uppstår på sträckan för själva omledningsläget, kan en störning på denna sträcka snabbt fortplanta sig genom järnvägsnätet och få återverkningar i hela systemet.

Enligt Trafikverket tar man i princip ingen hänsyn alls till vilken effekt ett omledningsläge får för störningskänsligheten hos tidtabellen. Om det är teoretiskt möjligt att köra ett tåg på ett visst sätt, får man förutsätta att det kommer att vara möjligt också i verkligheten. Även om man vet att det är en sanning med modifikation har man i dagens process ingen möjlighet att neka en operatör kapacitet för ett omledningsläge om det finns teoretisk plats för tåget [11].

Avsteg från den fastställda tågplanen medför att trafikinformation måste uppdateras. Detta gäller inte minst vid inställd trafik. Om banarbetet kommer in så sent i processen att transporterna som berörs redan presenterats för slutkund innebär banarbetet även ett gediget arbete med att se till att alla som berörs nås av ändringsmeddelandet.

## 4.5 Val av metod

Om det endast gick ut på att minimera trafikpåverkan ur JF:s och/eller slutkundens perspektiv, skulle verkligheten se väsentligen annorlunda ut mot vad den gör idag eftersom deras perspektiv är relativt kortsiktiga. Om det står mellan att stänga av banan under en period och möjligheten att genomföra samma banarbete utan att behöva stänga av banan, är det inte på förhand givet vilket alternativ som är bäst ur ett helhetsperspektiv. Inte minst sätter tillgängliga resurser begränsningar på vad som är möjligt och inte.

I exemplet som just nämnts kan metoden som krävs för att banan inte ska behöva stängas av under arbetets gång vara väldigt dyr. Beroende på vilken typ av trafik som berörs, hur många tåg det är fråga om, och vilka omlidningsmöjligheter som står till buds, kan den dyra arbetsmetoden mycket väl vara befogad eftersom kostnaden – inte minst den samhällsekonomiska kostnaden – för att stänga av banan kan anses vara ännu högre.

Det man gör är alltså siktar på den helhetslösning som bedöms vara samhällsekonomiskt mest lönsam, samtidigt som den givetvis måste vara rimlig även i det korta perspektivet<sup>10</sup>. Det är naturligtvis meningen att detta på lång sikt ska vara det bästa alternativet även för JF och slutkunderna.

### 4.5.1 Icke-trafikala parametrar

Följande parametrar måste vägas mot de trafikala parametrarna i Avsnitt 4.3.1 när en lösning väljs:

- Total kostnad för Trafikverket
- Krav på den entreprenör/de entreprenörer som utför arbetet m a p direkta och indirekta kostnader
- Merkostnader för JF, Trv och utförande entreprenör
- Rättviseaspekten, dvs den som drabbas ska också kunna ta del av de positiva effekterna av åtgärderna
- Goodwill

Punkt nummer två ovan innebär t ex att en entreprenör inte förväntas förfoga över ett orimligt antal arbetslag och äga utrustning som möjliggör effektivast möjliga utförande av den aktuella åtgärden.

Rättviseaspekten gäller inte per fall utan utjämnat över tiden och eventuellt endast indirekt. Men sunt förnuft och den samlade erfarenheten säger att det är betydligt svårare att få en operatör att gå på gång gå med på att låta banarbeten komma ut på banan om denne sällan gynnas av åtgärderna. Så

---

<sup>10</sup>En filosofisk utveckling: Pondera att det gick att påvisa att Sverige som samhälle på mycket lång sikt skulle vinna på att ägna ett år åt bara underhåll av järnvägsnätet, dvs inte låta några tåg trafikera banan under ett helt år. De kortsiktiga negativa effekterna skulle förmodligen anses vara alltför negativa för den nuvarande befolkningen för att ett sådant alternativ skulle vara försvarbart.

är t ex fallen med vissa åtgärder som möjliggör en högre hastighet för vissa persontåg, men som i praktiken varken gör till eller från för godstågen. Att be godstrafiken stå tillbaka till förmån för sådana åtgärder vid upprepade tillfällen kan vara känsligt – inte minst om det dessutom är så att de operatörer som i slutändan kommer att ha nytta av åtgärden överhuvudtaget inte drabbas [11].

## 4.6 Banarbetets behov

När man tar fram ett förslag om var i tiden man ska förlägga ett banarbete är en viktig parameter givetvis hur trafiken just där påverkas. Ett färdigt förslag har alltså ställt banarbetets behov av tid och resurser mot hur banarbetet påverkar trafiken under den tid som krävs. Det slutgiltiga beslutet är resultatet av att jämka dessa aspekter på bästa möjliga sätt, i kombination med allt annat som måste tas hänsyn till (t ex samhällsekonomiska aspekter).

De negativa effekterna ett banarbete har på trafiken kan mildras och i vissa fall helt försvinna genom att man anpassar banarbetet. Det mest extrema exemplet är naturligtvis att man beslutar att inte utföra banarbetet överhuvudtaget. Det blir förstås i längden inte särskilt lyckat, men om det inte rör sig om akuta insatser som är helt nödvändiga för att det överhuvudtaget ska vara möjligt att framföra tåg på banan, går det ofta att skjuta på genomförandefasen. På så vis kan man styra banarbeten till tidpunkter som ur trafikhänseende är mer lämpliga.

### 4.6.1 Olika typer av banarbeten

*Den här delen ska utvecklas! (För att kunna modellera problemet matematiskt är nog detta litet av nyckeln)*

Det går att kategorisera banarbeten beroende på vilka behov de har och vilka konsekvenser de får medan de genomförs

Olika typer av behov:

- Måste utföras “all in one go”
- “Ge oss så mycket tid du kan under den här perioden”-jobb (saknar deadline i det korta perspektivet)

Olika typer av konsekvenser:

- Avstängt spår
- Reducerad hastighet
- En kombination av avstängt spår och reducerad hastighet

Den totala tiden för att genomföra ett jobb beror på hur tiden delas upp. Jämfört med ett 8-timmarsskift, behöver man enligt en av Banarbetsplanerarna på Trafikverket 15-18 timmar för att göra samma sak som man hade hunnit på 8-timmarsskiftet om man bara får 3-timmarsskift [11]. Detta gäller främst jobb där man måste ha strömlöst, där 45 minuter av början och slutet av skiftet går åt bara för att komma igång respektive göra banan körbar igen.

## 4.7 Åtgärder vid trafikpåverkande banarbeten

Mellan fastställelse, där såväl tågplan som BAP fastställs, och den operativa driften, har JF krävt på sig att ansöka om omledningslägen för de tåg som påverkas av objekt som finns i BAP. Objekten i BAP har alltså företräde framför tågtrafiken.

De objekt som finns fastställda i BAP täcker av olika orsaker inte behovet av banarbeten. JF har däremot ingen som helst skyldighet att acceptera objekt som kommer in efter fastställd BAP. Processen som den ser ut idag bygger därför till stor del på att JF är tillmötesgående och i praktiken offrar en del av sin egen affär för att infrastrukturen antingen ska kunna uppgraderas i den takt som behövs eller för att banan helt enkelt ska kunna hållas i acceptabelt skick.

Oavsett orsak är det i slutändan JF som ansöker om omledningslägen eller beslutar att trafiken ska ersättas med bussar/lastbilar till förmån för ett banarbete när deras tåg inte kan komma fram enligt den fastställda tågplanen. JF är med och beslutar vilken åtgärd det blir fråga om, och hur tågens omledningslägen ser ut. JF är med andra ord i högsta grad med och bedömer vilken lösning som är bäst för dem.

### 4.7.1 Banarbetsplanerarens roll

När det gäller objekt som inte finns med i BAP, kan den tillgängliga "bästa lösningen" (enligt något mått) vara avgörande för om ett banarbete överhuvudtaget blir av eller inte. Under revisionsplaneringen är det med andra ord en viktig uppgift för Banarbetsplaneraren att "sälja in" nytillkomna objekt hos JF så att JF kan tänka sig att gå med på att "låna ut" redan beviljad kapacitet till dessa banarbeten [11].

Sammantaget innebär detta att Banarbetsplanerare måste kunna gissa vad JF kan tänkas gå med på. Gissningarna baseras i huvudsak på erfarenhet i kombination med det som går att sluta sig till genom att betrakta grafer (tågplanen inklusive alla ändringar som skett sedan fastställelsen).

Erfarenhet har Banarbetsplaneraren tillskansat sig bl a under tidigare hantering av liknande situationer, men han/hon drar även nytta av kunskap vunnit i mer generella sammanhang. Erfarenhet är mycket svårt att karaktärisera, men till denna kategori hör t ex förmågan att bedöma hur känslig en transport är för förlängda gångtider och hur förlängda gångtider påverkar JF:s omlopp. Det kan t ex vara mer acceptabelt att leda om 8 tåg med allt vad det innebär än att försena ett Posttåg med blott 10 minuter [11].

Ju bättre Banarbetsplaneraren kan förutspå hur JF kommer att resonera, ju lättare kan han/hon förbereda ett attraktivt förslag och på så vis öka möjligheterna att objektet kan utföras.

#### 4.7.2 Omledningar

När det gäller omledningslägen är den första frågan som en Banarbetsplanerare måste besvara om det överhuvudtaget finns en annan väg för tåget. I södra Sverige finns i allmänhet alternativa vägar vars sträckningar inte innebär orimligt stora omvägar för tåget. I norra Sverige är det inte säkert att det överhuvudtaget finns en alternativ väg mellan punkt A och B.

Vissa alternativ kan försvinna pga att tåget som ska ledas om innehåller specialtransporter och inte får köra på sträckan i fråga. Ytterligare en aspekt som måste tas hänsyn till är om det finns bevakning (gäller TAM-sträckor).

När Banarbetsplaneraren väl har hittat minst en möjlig alternativ väg, är nästa fråga om det finns rum i tågplanen för omledningsläget i konkurrens med övrig trafik och eventuella banarbeten.

Omledningståg som beror på objekt i BAP intar en särställning i processen. Trots att JF:s ansökningar om sådana lägen kan komma in väldigt sent, har de under normala omständigheter företräde framför såväl tåg som banarbetsobjekt som har kommit in efter fastställelsen. Tåglägen som har beviljats i ad hoc-processen samt s k E-lägen som har avropats är (oftast) säkra, men objekt som inte finns med i BAP och omledningslägen som beror på sådana objekt får flytta på sig till förmån för omledningståg som beror på BAP-objekt.

Även för omledningståg som skapas pga BAP-objekt kan det såklart vara svårt att hitta plats i tågplanen på den alternativa sträckan eftersom det hänger på att det där finns tillräckligt med restkapacitet. Ett omledningsläge bör inte försena tåget mer än JF tål. Vad JF kan tolerera skiljer sig från operatör till operatör och från fall till fall [11]. Även om det inte finns någon allmängiltig tumregel har förseningar i storleksordningen upp till en och en halv timme på sträckan mellan Stockholm och Malmö (för persontåg) accepterats av JF, och för godståg i Norrland har betydligt större förseningar än så varit godtagbara [6].

#### 4.7.3 Ersättningstrafik

Om situationen inte går att lösa med omledningståg, kan bussar eller lastbilar under vissa omständigheter ersätta. Trafikverket ger i så fall JF skälig ekonomisk kompensation för ersättningstrafiken. Det ska återigen påpekas att JF kan säga nej till att leda om (eller ersätta) sin trafik om det gäller objekt som kommer in i processen efter fastställelse.

## 5 Den matematiska modellen

Det här kapitlet klargör hur banarbeten i dagsläget modelleras i *Marackasen*. Vi redogör även för skillnaderna mellan att modellera tåg och banarbeten, mellan

att modellera en konflikt mellan två tåg kontra en konflikt mellan ett tåg och ett banarbete. Dessutom motiverar vi de avgränsningar som gjorts.

## 5.1 Avgränsningar

### 5.1.1 Tåg och banarbeten stryks ej

Vi har valt att separera besluten om vilka banarbeten och tåglägen som ska finnas med i planen från besluten om var i tiden de presumptiva banarbetena och tåglägena ska placeras i förhållande till varandra. Andra forskare har gjort modeller som innefattar alternativet att stryka tåg när det enligt modellen är bättre att göra så än att försöka schemalägga dem (se t ex [9]). Vår modell inbegriper inte sådana mekanismer utan förutsätter att strykningar av tåg och banarbeten är manuella beslut.

Det huvudsakliga skälet till att vi valt ovannämnda avgränsning för vår modell är att de olika typerna av beslut fattas på olika ställen i processen och av olika personer. Även om besluten inte helt går att separera, är det ändå, för att ta ett exempel, t ex inte tidtabellkonstruktören som beslutar vilka tåglägen som ska få rum i tågplanen. Om det är för trångt och parterna inte kan komma överens, tas som sista åtgärd ett beslut om att förklara banan överbelastad. Därefter avgörs vilka som får tillträde till banan där den är överbelastad.

Ett verktyg såsom Marackasen skulle med fördel kunna hjälpa de ansvariga att hitta den bästa lösningen utifrån de kriterier som benämns *prioriteringskriterier*. Orsaken till att vår modell inte använder prioriteringskriterierna för att redan på ett tidigt stadium avgöra vilka tåglägen och banarbeten som ska strykas när inte alla ryms, är att priokriterierna inte ska användas om en lösning kan hittas på annat sätt. Operatörernas önskemål anses väga tyngst, alltså även ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Följaktligen ska samtliga tåglägen som ansöks om tidtabelläggas om så bara är möjligt.

Besluten påverkar varandra i hög grad och förutsättningarna för var i tiden tåg och banarbeten kan planeras in bestäms självklart av vilka aktiviteter som ska samsas om samma resurser. Men modellen är utformad så att den tilldelar plats åt alla tåg och banarbeten, även om det innebär att vissa aktiviteter schemaläggs på ett sådant sätt att de krockar. Den som jobbar med Marackasen får en indikation på att planen innehåller konflikter och vidtar manuellt åtgärder för att ge systemet utrymme att lösa dem, varpå han/hon kan be Marackasen att göra ett nytt försök.

### 5.1.2 Banarbeten hanteras endast på länkarna

Under programkörningen detekteras resurskonflikter mellan tågtraverseringar och banarbeten. Än så länge detekteras bara konflikter på linjen, dvs inte konflikter på stationer. Banarbeten som ändrar egenskaperna lokalt på en station är inte med i modellen. Banarbeten som sker på station men som medför konkreta konsekvenser för linjen behandlas inte heller i dagsläget. Dessa är exkluderade pga att det oftast inte går att uttyda vad de faktiska trafikala konsekvenserna av ett banarbete blir med enbart BUP/BAP som källa.

### 5.1.3 Rudimentär hantering av banarbeten som överlappar varandra

Banarbeten kan under vissa omständigheter med fördel förläggas på samma tid och plats eftersom det kan leda till lägre overhead-kostnader (inklusive kostnad för att stänga av spåret för trafik). Vi får ändå förmoda att det inte alltid är optimalt eller ens möjligt för två arbetslag att samsas om samma tid.

I vår nuvarande modell gör vi följande antaganden:

- Två (eller fler) banarbeten får i vår modell överlappa varandra utan någon som helst påföljd om minst ett av dem inte kräver avstängt spår
- Alla banarbetsobjekt kan vid planering tidigare- eller senareläggas med lika många antal minuter (i förhållande till det senaste utkastet till plan), dvs ingen hänsyn tas till entreprenörernas önskemål eller banarbetets karaktär när de respektive tiderna förskjuts för att en optimal plan ska hittas
- Banarbetenas inbördes placering i tid tar inte hänsyn till huruvida ett banarbete är del av en större mängd åtgärder som egentligen ska hållas ihop
- Överlapp mellan tåg och hastighetsnedsättande banarbeten anses lika allvarliga oavsett vilken tågtyp det är fråga om
- Vi tar ingen hänsyn till klassificeringen (PSB, *övrigt*, eller oklassificerat)

Första punkten avser i praktiken överlapp mellan banarbeten som i BUP är specificerade som hastighetsnedsättande (anges med H i kolumnen "Påv") och banarbeten som kräver avstängt spår (anges med A). Den första kategorin anger snarare en egenskap hos banan och tenderar att gälla i veckor i sträck, medan den andra kategorin förmodas ange tid som används till att genomföra faktiskt arbete. Vi bedömer därför att de generellt sett tillåts överlappa varandra, vilket vi också ser många exempel på i befintlig (färdigplanerad) BUP.

Punkt två och tre är starkt relaterade till varandra. Vår modell utgår från att det finns ett utkast till plan som ska förbättras (precis som när det gäller optimering av en tågplan). Så länge vi tillåter ett rätt begränsat slack (några få timmar i stället för dagar), duger det som approximation att tillsvidare strunta i hur banarbeten rent tidsmässigt ska förhålla sig till varandra. Det begränsade slacket kommer nämligen leda till att Marackasen föreslår tider som inte skiljer sig alltför mycket från de tider som fanns i BUP-handläggarens förslag. Chansen är därmed stor att relationer mellan banarbeten kommer att bevaras även om programmet inte explicit känner till dessa relationer.

Den näst sista punkten innebär att vi behandlar alla konflikter mellan tåg och banarbeten på samma sätt. Vissa tåg påverkas dock egentligen inte av vissa banarbeten och därmed finns det inte några konflikter mellan dessa tåg och banarbeten i fråga. Det kan t ex röra sig om ett banarbete som leder till en hastighetsnedsättning men där tågtypens maxhastighet ändå är lägre än den nya reducerade hastigheten, eller där tåget kanske inte kommer upp i hastigheten i

fråga pga frekventa stopp på sträckan. Vi har främst av tidsbrist valt att inte inkludera detta i modellen ännu.

Den sista punkten blir troligen det vi närmast väljer att ändra på. Om modellen faktiskt tar hänsyn till klassificeringen av banarbeten kan vi se till att PSB inte tidigare- eller senareläggas. Marackasen borde dessutom enkelt kunna kontrollera att det inte förekommer konflikter mellan tåg och PSB. Tåg som ligger i konflikt med en PSB som har en hastighetsnedsättande påverkan på spåret ska i tågplanen redan ha tagit höjd för hastighetsnedsättningen.

Vi är medvetna om att vår modell enligt ovan är en grov förenkling av verkligheten. Ett mål i en eventuell fortsättning på projektet är att vidareutveckla denna modell så att den blir mer realistisk.

## 5.2 Konflikter mellan tåg och banarbeten

Den matematiska formuleringen av regleringen av konflikter mellan tåg och banarbeten ser ut som följer:

Vi definierar en mängd banarbeten (*Works*), tåg (*Trains*) och länkar (*Links*) på vilka våra banarbeten ska utföras och våra tåg ska traversera. Ett överlapp mellan ett tåg och ett banarbete, eller mellan två banarbeten, förknippas med en kostnad som anges i mängden *cost*. Varje tåg har en fastlagd start- och sluttid på sin länk och varje banarbete har en bestämd duration/utsträckning (*workDur*). Banarbetenas starttider är variabler som ska bestämmas.

```
set Works
set Trains
set Links[id, trainList, workList]
set cost[a1, a2, l], a1, a2 ∈ Works or Trains, l ∈ Links
set trainStart[t, l], t ∈ Trains, l ∈ Links
set trainEnd[t, l], t ∈ Trains, l ∈ Links
set workDur[w, l], w ∈ Works, l ∈ Links
set var workStart[w, l], w ∈ Works, l ∈ Links
```

För att underlätta läsbarheten i formlerna inför vi beteckningen *workEnd* för ett banarbetes sluttid:

$$workEnd[w, l] = workStart[w, l] + workDur[w, l] \quad \forall l \in Links, w \in Works$$

Resterande del av MIP-modellen visas i Figur 1.

Vi vill minimera kostnaden för alla överlapp enligt

$$\min \left( \sum_{t \in \text{Trains}, w \in \text{Works}} c_{tw} k_{tw} + \sum_{w_1, w_2 \in \text{Works}} c_{w_1 w_2} k_{w_1 w_2} \right)$$

s.t.

$c_{tw} = 1$  om  $t$  och  $w$  överlappar, 0 annars

$c_{w_1 w_2} = 1$  om  $w_1$  och  $w_2$  överlappar, 0 annars

$u_{twl}^1 = 1$  om  $t$  startar innan  $w$  avslutats på länk  $l$ , 0 annars

$u_{twl}^2 = 1$  om  $w$  startar innan  $t$  avslutats på länk  $l$ , 0 annars

$v_{ijl} = 1$  om  $j$  startar innan  $i$  avslutats på länk  $l$ , 0 annars

Tåg som potentiellt överlappar banarbeten

$$1 + \frac{\text{workEnd}[w, l] - \text{trainStart}[t, l]}{M} > u_{twl}^1 \quad \forall l \in \text{Links}, \forall t \in l.\text{trainList}, \forall w \in l.\text{worklist}$$

$$\frac{\text{workEnd}[w, l] - \text{trainStart}[t, l]}{M} < u_{twl}^1 \quad \forall l \in \text{Links}, \forall t \in l.\text{trainList}, \forall w \in l.\text{worklist}$$

$$1 + \frac{\text{trainEnd}[t, l] - \text{workStart}[w, l]}{M} > u_{twl}^2 \quad \forall l \in \text{Links}, \forall t \in l.\text{trainList}, \forall w \in l.\text{worklist}$$

$$\frac{\text{trainEnd}[t, l] - \text{workStart}[w, l]}{M} < u_{twl}^2 \quad \forall l \in \text{Links}, \forall t \in l.\text{trainList}, \forall w \in l.\text{worklist}$$

$$u_{twl}^1 + u_{twl}^2 - 1 \leq c_{tw} \quad \forall l \in \text{Links}, \forall t \in l.\text{trainList}, \forall w \in l.\text{worklist}$$

Banarbeten som potentiellt överlappar andra banarbeten

$$1 + \frac{\text{workEnd}[i, l] - \text{workStart}[j, l]}{M} > v_{ijl} \quad \forall l \in \text{Links}, \forall i, j \in l.\text{workList}, i \neq j$$

$$\frac{\text{workEnd}[i, l] - \text{workStart}[j, l]}{M} < v_{ijl} \quad \forall l \in \text{Links}, \forall i, j \in l.\text{workList}, i \neq j$$

$$v_{ijl} + v_{jil} - 1 \leq c_{w_1 w_2} \quad \forall l \in \text{Links}, \forall i, j \in l.\text{workList}, i \leq j$$

Aktiviteter måste vara inom planeringsperioden

$$\text{startPlanningTime} \leq \text{trainStart}(t) \leq \text{endPlanningTime} \quad \forall t \in \text{Trains}$$

$$\text{startPlanningTime} \leq \text{workStart}(w) \leq \text{endPlanningTime} \quad \forall w \in \text{Works}$$

$u_{twl}, c_{tw}, v_{ijl}$  binary

Figur 1: MIP-modell som reglerar banarbeten och tåg på länkar

## 6 Banarbeten i *Marackasen*

*Det här kapitlet är inte uppdaterat och mycket har hänt i koden sedan sist! Bl a pga att XML-formatet har ändrats*

Syftet med det här kapitlet är att beskriva hur banarbetsdata för närvarande kan användas i *Marackasen*. Vi beskriver processen “från ax till limpa”, dvs alla steg från hur vi (SICS) tar emot data från Trafikverket till dess att banarbeten dyker upp sida vid sida med tågen i vårt grafiska gränssnitt.

Notera att de inledande experimenten med att låta *Marackasen* ta hänsyn till data om banarbeten har baserats på XML-exporter av BUP, inte BAP. Vi tror inte att steget är långt från nuvarande implementation till en där man kan utgå från en BAP-export i stället för en BUP-export, men detta har alltså inte säkerställts.

Processen initieras genom att BUP exporteras som XML från Trainplan. Informationen i XML-filen kan efter tolkning användas för att generera en datafil på ett format som *Marackasen* kan använda som indata. Indatafilen som genereras utifrån Trainplans XML-export innehåller tillräcklig information för att det ska gå att avgöra var på linjen, och när, som ett banarbete planeras äga rum och i grova drag hur trafiken påverkas.

*Marackasen* detekterar resurskonflikter mellan tåg och banarbeten, dvs de fall då ett tåg och banarbete helt eller delvis behöver tillgång till banan samtidigt på ett otillåtet sätt, och skriver ekvationer som reglerar förekomsten av dem enligt vår modell. Någon optimeringsprogramvara, t ex CPLEX, läser dessa ekvationer tillsammans med en s k *objektfunktion* och optimerar planen m a p den sistnämnda. T ex kan antalet konflikter i materialet minimeras.

Den resterande delen av detta kapitel beskriver de olika delstegen relativt grundligt. De flesta läsare kan med fördel hoppa över den detaljerade beskrivningen eftersom den dokumenterar ett projektresultat som rör på sig i takt med att vi hittar sätt att förbättra modellen och/eller implementationen på.

### 6.1 XML-formatet

De tabeller och fält i XML-exporten som vi är intresserade av finns sammanfattade i Tabell 1.

`Possessions` är det engelska namnet på banarbeten. Tabellen `Possessions` innehåller således generell information om ett objekt medan fälten i tabellerna `Possession details`, `Possession activities` och `Possession time slots` syftar till att ge en mer detaljerad beskrivning av de olika delarna som tillsammans utgör ett objekt. Data i tabellen `Possession locations` listar de platser som berörs av objektet, i den ordning de förekommer i stråket.

### 6.2 *Marackas*-specifik databas

Som alla program förväntar sig *Marackasen* data på en viss form. Man kan betrakta resultatet av tolkningen av XML-filen som en *Marackas*-specifik databas.

Tabell	Fält	Prolog-argument
possessions	POSSESSION_REF	Ref
	POSSESSION_NUMBER	No
	IS_NOT_ELECTRIFIED	NoElectricity
	IS_SINGLE_TRACK_OPERATION	SingleTr
possession_details	POSSESSION_REF	Ref
	FROM_WEEK	
	TO_WEEK	
	TIME_FROM	
	TIME_TO	
	POSSESSION_TYPE	Type
	PLAT_LINE_IDS	LineIDs
	PLAT_LINE_OPTIONS	AllTr
	PLATS_OR_LINES	LineOrPlatf
	FROM_SPEED_RESTRICTION	FromSpeed
	TO_SPEED_RESTRICTION	ToSpeed
	FROM_KM_RESTRICTION	FromKm
TO_KM_RESTRICTION	ToKm	
RESTRICTION_LENGTH	RestrLen	
possession_activities	ACTIVITY_REF	ARef
	POSSESSION_REF	Ref
possession_time_slots	ACTIVITY_REF	ARef
	ORDINAL	Ordinal
	DETAIL_ID	DetailId
	FROM_WEEK	
	TO_WEEK	
	TIME_FROM	
	TIME_TO	
	TIME_PERIOD	
TYPE		
possession_locations	POSSESSION_REF	Ref
	LOCATION	

Tabell 1: Tabeller från XML-exporten och deras fält (i urval) (*OBS! Ännu ej uppdaterad till det nya XML-exportformatet!* Kommentar 9 nov 2011)

Det är den Marackas-databasen, inte XML-filen, som i praktiken är indata till *Marackasen*.

Det finns ingen anledning att bygga databasen mer än en gång per XML-fil eftersom parsningen trots allt tar tid och dessutom alltid producerar samma databas. Nuvarande implementation förutsätter att parsningen sker i ett separat försteg och att databasen finns när en Marackas-körning startar.

Detta avsnitt beskriver i detalj hur den Marackas-specifika databasen med indata som gäller banarbeten är strukturerad.

### 6.2.1 Databasens struktur

*Marackasen* är skriven i SICStus Prolog (undantaget är det grafiska gränssnittet, GUI:t, som är skrivet i Java). Den läsare som inte kan programmera Prolog kan hoppa över de Prologspecifika avsnitten.

Banarbetsdata beskrivs med hjälp av två datastrukturer där den ena bara är till för att skapa redundansfrihet. Huvudstrukturen/-tabellen beskriver ett objekt, eller del av objekt, och den andra håller reda på de olika delarna av stråken i området som påverkas av objektet.

I Prologdatabasen motsvaras huvuddatastrukturen av predikatet `bup_raw/21` som följer följande specifikation:

```
bup_raw(Id, ARef, Ordinal, DetailId, Ref, No, LocSetId,
        Start, Dur, Days, Type, LineIDs, AllTr, LineOrPlatf,
        FromSpeed, ToSpeed, FromKm, ToKm, RestrLen,
        NoElectricity, SingleTr).
```

`LocSetId` är en identifierare (nyckel) med vilkens hjälp man i den andra strukturen, `location_set/2`, hittar en lista `LocList` (i form av platsbeteckningar, t ex `CST` för Stockholm Central) över vilka platser i stråket som berörs:

```
location_set(LocSetId, LocList).
```

### 6.2.2 Förklaring av fälten i XML-exporten

De flesta argumenten i `bup_raw` har en direkt motsvarighet i form av ett fält i någon tabell i XML-exporten (se Tabell 1). Vidare motsvaras varje rad i `Possession time slots` med värdet `P` i fältet `TYPE` av precis en `bup_raw`-klausul i Prologdatabasen.

Att `TYPE` är `P` betyder att `Possession time slots`-raden är den planerade versionen av aktiviteten. Det kan finnas en liknande rad som har värde `A` i detta fält, och då är det i stället fråga om den ansökta aktiviteten, så som den är mottagen via `Trans` (se Avsnitt 3.2). Vi ignorerar tillsvidare ansökningarna. De representerar ändå ännu inte nödvändigtvis entreprenörens egentliga önskemål [11].

Flera rader i `Possession time slots` kan dela `ACTIVITY_REF` (kallad `ARef` i `bup_raw/21`). För att få en unik huvudnyckel för `bup_raw`, konkatenerar vi `ARef` med `ORDINAL` (`Ordinal`) och `DETAIL_ID` (`DetailId`) från `Possession`

`time slots` eftersom varje rad med samma `ARef` har en unik kombination av värden i dessa fält – såvitt vi vet<sup>11</sup>.

`NoElectricity` anger om Trafikverket kräver att elektriciteten är avstängd och `SingleTr` anger om banarbetet medför enkelspårdrift.

`Type`<sup>12</sup> anger på ett övergripande plan vilken påverkan banarbetet har på möjligheten att bedriva trafik på banan samtidigt som arbetet pågår. Fältet motsvarar `POSSESSION_TYPE` i `Possessions`-tabellen och har tre möjliga värden: “A” betyder “Avstängt spår”, “B” står för “Begränsad framkomlighet” och “H” betyder “Hastighetsnedsättning”. Vi gör skillnad mellan objekt för vilka spåret behöver stängas av och de andra typerna av påverkan.

Argumenten `LineIDs`, `AllTr` och `LineOrPlatf` används för tillfället inte av *Marackasen*, men motsvarar fälten `PLAT_LINE_IDS`, `PLAT_LINE_OPTIONS` (valet “Alla spår” betecknas i detta fält med “A”) och `PLATS_OR_LINES` (*Platforms of lines*, dvs här anges om objektet berör stationen eller linjen).

För närvarande använder vi oss inte heller av följande parametrar:

- `FromSpeed` (`FROM_SPEED_RESTRICTION`)
- `ToSpeed` (`TO_SPEED_RESTRICTION`)
- `FromKm` (`FROM_KM_RESTRICTION`)
- `ToKm` (`TO_KM_RESTRICTION`)
- `RestrLen` (`RESTRICTION_LENGTH`)

Dessa beskriver mer detaljerat vilken del av stråket som påverkas och anger *Sth* (*Största tillåtna hastighet*) samt en explicit längd på det påverkade banavsnittet.

### 6.2.3 Tolkning av XML-exportens tidsangivelser

XML-formatet använder flera fält för att specificera när ett banarbete ska starta respektive sluta. Ett banarbete är uppdelat i olika aktiviteter. Raderna i `Possession time slots` anger när de enskilda aktiviteterna ska genomföras. Dock kan en rad i praktiken ange när flera, till beskrivningen likadana, banarbeten ska starta. Så är fallet när banarbetet inte ska genomföras i ett svep, utan då det består av flera arbetspass som återkommer med en viss regelbundenhet, t ex varje morgon mellan kl 5 och kl 7.

Varje `Possession time slots`-rad definierar en starttid och en sluttid för det beskrivna arbetspasset via vecko- och veckodagsangivelser samt tidsangivelser för start och slut i antal sekunder efter midnatt (`FROM_WEEK`, `TO_WEEK`,

<sup>11</sup>Metoden förutsätter att alla värden i respektive fält består av lika många siffror. Annars kan vi förstås inte räkna med att den beskrivna metoden nödvändigtvis ger unika huvudnycklar. För säkerhets skull har vi lagt in en koll under databasgenereringen så att programmet varnar oss det försöker skapa ett id som redan finns

<sup>12</sup>`Type` i `bup_raw/21` motsvarar `POSSESSION_TYPE`. Förväxla det inte med fältet `TYPE` i `Possession time slots`.

DAY\_PATTERN samt TIME\_FROM och TIME\_TO). Tillsammans med specifikationen (TIME\_PERIOD) av vilken av två möjliga tolkningar man ska göra, C (“continuous”, “hel” period) eller D (“divided”, delad period), fås en komplett beskrivning av när banarbetet ska utföras.

Mer specifikt, hel period (C) enligt fältet TIME\_PERIOD innebär att banarbetet startar första dagen i DAY\_PATTERN på starttiden och avslutas sista dagen i DAY\_PATTERN på sluttiden. Om fältet i stället har värdet D, gäller start- och sluttiderna samma dygn, alternativt i fallet “natt mot” att en (men maximalt en) dygnsgräns passeras. I det sistnämnda fallet kan sluttiden vara mindre än starttiden eftersom tiderna som anges är antal sekunder efter midnatt. DAY\_PATTERN anger för TIME\_PATTERN D vilka dagar i veckan som ett arbetspass med de angivna start- och sluttiderna.

I en `bup_raw` anges en starttidpunkt (`Start`), duration (`Dur`), samt en kalender (`Days`) som säger vilket (eller vilka) datum objektets arbetspass ska starta. `Start` och `Dur` anges i sekunder.

`Days` består av ett stort heltal, vars binära representation tillsammans med värdena för `Start` och `Dur` säger exakt när under tågplanen som banarbetet ska utföras. Vi illustrerar med ett litet exempel.

**Exempel** Låt oss anta att tågplanen består av 10 dagar. Vi beskriver tidpunkterna för två objekt som ska utföras under denna (korta) tågplanepperiod med  $Start_1 = 21600$ ,  $Dur_1 = 14400$ ,  $Start_2 = 79200$ ,  $Dur_2 = 14400$ , dvs arbete nr 1 startar kl 06:00 och arbete nr 2 kl 22:00. Båda tar fyra timmar. Om  $Days_1 = 24$  och  $Days_2 = 128$ , eller uttryckt med binära tal,  $Days_1 = 0000011000$  och  $Days_2 = 0010000000$ , innebär det att arbete nr 1 ska utföras mellan kl 06:00 och 10:00 dag 6 och 7 i tågplanepperioden, medan arbete nr 2 ska utföras med start kl 22:00 dag 3 och avslutas kl 02:00 dag 4. Men andra ord talar `Days` tillsammans med `Start` entydigt om när ett arbete ska påbörjas. Varje gång det påbörjas är arbetet igång i det antal sekunder som `Dur` anger.

### 6.3 Intern datarepresentation

De beskrivna datastrukturerna `bup_raw/21` och `location_set/2` är förvisso indata till *Marackasen*, men varje programkörning inleds<sup>13</sup> med att en eller flera andra strukturer byggs upp, baserade på `bup_raw/21` och `location_set/2`. De nya strukturerna är sedan de som faktiskt används under själva beräkningarna (konfliktdetektionen).

Exakt vilka strukturer som byggs upp beror på vilken parametersättning användaren väljer. Vilket innehåll strukturerna har är givetvis i ännu högre grad beroende av valda parametervärden. Ett enkelt exempel är när användaren endast vill optimera en dags eller en veckas trafik, vilket styrs med parametern *DaysToPlan*. De slutgiltiga datastrukturerna som byggs upp för att finnas till-

<sup>13</sup>Sanning med modifikation. Målet är att tidigarelägga genereringen av “buppar” så att den om möjligt sker i `bid`, men tillsvidare byggs `bups`-strukturen upp relativt sent i `getProblem`. Sant är i a f att den nya strukturen byggs före konfliktdetektionen görs.

gängliga under programkörningen innehåller då av effektivitetsskäl bara information om banarbeten som berör den aktuella perioden.

### 6.3.1 bup-strukturen

Varje banarbete (objekt) representeras av en eller flera `bup_raw`-fakta i den statiska Marackas-databasen. Varje `bup_raw` omvandlas i sin tur under programkörning till en eller flera `bup`-fakta, där en `bup` har följande format:

```
bup(SubId,LnkI,Start,Dur,Type,Days,DateAlignment).
```

Minns att varje arbetspass, dvs varje arbetspass, dvs rad i `Possession time slots`, motsvaras av en `bup_raw`. Att flera `bup/7` i sin tur representerar samma arbetspass beror på att det finns en till varje länk som berörs. Endast `LnkI` skiljer dessa åt.

I de fall ett arbetspass (potentiellt) sträcker sig över flera dygn, representeras arbetspasset i dagsläget av implementationstekniska skäl av flera `bup/7`, en för varje trafikeringsdygn som påverkas. Starttiden `Start` anges relativt detta dygn, och dygnet anges med hjälp av `DateAlignment`, vilket gör att dessa två fält skiljer de `bup/7` som beskriver ett sådant flerdygnspass (på en specifik länk `LnkI`). T ex

### 6.3.2 Grafisk representation

Banarbeten ritas ut i det grafiska gränssnittet [infoga bild!]. Konflikter mellan banarbeten och tåg markeras för tillfället inte på något sätt, vilket delvis beror på att det inte finns något större behov av visuellt stöd för att upptäcka sådana konflikter eftersom de är tämligen uppenbara för ögat redan som de är.

### 6.3.3 Status

Ett par avslutande kommentarer om `bup` är på sin plats. Som framgår av deklarationen har `bup` alltså inte någon egen identifierare utan endast `SubId`. Detta är givetvis avsiktligt. Namnet på vår struktur, `bup`, är något olyckligt valt, för trots namnet är det egentligen `bup_raw` vi fokuserar på. Det är från det perspektivet irrelevant hur vi väljer att representera en `bup_raw`: med en, två eller tre `bup`.

Notera slutligen att representationen av banarbeten med `bup_raw` via `bup` är starkt färgad av hur vi i dagsläget modellerar banarbeten (se avsnitt X). Det är mycket troligt att vi kommer att behöva göra förändringar i samband med att vi ändrar i modellen. T ex används `bup` för tillfället endast vid konfliktdektion. När en konflikt mellan ett banarbete och ett tåg upptäcks, är det `Start` och `Dur` från den associerade `bup_raw` som är intressanta när de reglerande länkekvationerna ska skrivas.

## 7 Test av modellen

### 7.1 Case 1

### 7.2 Case 2

## 8 Slutsatser

## Referenser

- [1] Mats Andersson. Slutredovisning av “Förstudie järnväg” inom MC-tema – slitage, projektnummer 91003. Rapport, VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, december 2002.
- [2] Banverket. Banutnyttjandeplanering. Version 1.0, juni 2009. BVR 1605.
- [3] Banverket. Rutin för banarbetsplanering, november 2009. Utkast.
- [4] Banverket. Banarbetsplanering i Trans. Användarhandledning, version 2.2, november 2010. [www.trafikverket.se/PageFiles/10204/Anvandarhandledning-Trans-vers-2.5.pdf](http://www.trafikverket.se/PageFiles/10204/Anvandarhandledning-Trans-vers-2.5.pdf).
- [5] A. Berrichi, L. Amodeo, F. Yalaoui, E. Châtelet, and M. Mezghiche. Bi-objective optimization algorithms for joint production and maintenance scheduling: application to the parallel machine problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20:389–400, 2009. 10.1007/s10845-008-0113-5.
- [6] Lars Brunsson. Möte, augusti 2011. Muntlig kontakt, Trafikverket.
- [7] G. Budai, D. Huisman, and R. Dekker. Scheduling preventive railway maintenance activities. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 5:4171–4176, 2004.
- [8] G. Budai-Balke, R. Dekker, and U. Kaymak. Genetic and memetic algorithms for scheduling railway maintenance activities. Econometric Institute Report EI 2009-30, Erasmus University Rotterdam, Econometric Institute, December 2009.
- [9] Alberto Caprara, Matteo Fischetti, and Paolo Toth. Modeling and solving the train timetabling problem. *Operations Research*, 50(5):851–861, September-October 2002.
- [10] Bruce S. N. Cheung, K. P. Chow, Lucas C. K. Hui, and Alvin M. K. Yong. Railway track possession assignment using constraint satisfaction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 12(5):599 – 611, 1999.
- [11] Per Edholm. Telefonsamtal, april 2011. Muntlig kontakt, Trafikverket.
- [12] Per Edholm. Telefonsamtal, mars 2011. Muntlig kontakt, Trafikverket.

- [13] Per Edholm and Robert Bläckt. Telefonsamtal, augusti 2011. Muntlig kontakt, Trafikverket.
- [14] Ulla Espling and Uday Kumar. Benchmarking of the maintenance process at Banverket (the Swedish National Rail Administration). In *Complex System Maintenance Handbook*, Springer Series in Reliability Engineering, pages 559–583. Springer London, 2008.
- [15] M. Fischetti, D. Salvagnin, and Zanette. A. Fast approaches to robust railway timetabling. In Christian Liebchen, Ravindra K. Ahuja, and Juan A. Mesa, editors, *ATMOS*, volume 07001 of *Dagstuhl Seminar Proceedings*, pages 142–157. Internationales Begegnungs- und Forschungszentrum für Informatik (IBFI), Schloss Dagstuhl, Germany, 2007.
- [16] Malin Forsgren, Martin Aronsson, and Per Kreuger. The Maraca – a tool for minimizing resource conflicts in a non-periodic railway timetable. In *RailRome 2011*, Rome, Italy, 2011.
- [17] A. Higgins and E. Kozan. Heuristic techniques for single line train scheduling. *Journal of Heuristics*, 3:43–62, 1997.
- [18] Andrew K.S. Jardine, Daming Lin, and Dragan Banjevic. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7):1483 – 1510, 2006.
- [19] Monika Knutsen. Samtal, november 2009. Muntlig kontakt, Trafikverket.
- [20] Khairy A. H. Kobbacy, D. N. Prabhakar Murthy, and Jørn Vatn. Maintenance in the rail industry. In *Complex System Maintenance Handbook*, Springer Series in Reliability Engineering, pages 509–531. Springer London, 2008.
- [21] Konkurrensverket. Konkurrensen i Sverige 2002. Konkurrensverkets rapportserie 4, Konkurrensverket, juli 2002.
- [22] M. Lake and L. Ferreira. Minimising the conflict between rail operations and infrastructure maintenance. In M. Taylor, editor, *Transportation and Traffic Theory in the 21st Century: Proceedings of the 15th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, pages 63–80, Oxford, UK, 2002. Elsevier.
- [23] D. Larsson. *A Study of the Track Degradation Process Related to Changes in Railway Traffic*. Licentiatavhandling, Luleå tekniska universitet, 2004.
- [24] Richard Lusby, Jesper Larsen, Matthias Ehrgott, and David Ryan. Railway track allocation: models and methods. *OR Spectrum*, 2009.
- [25] B. Naderi, M. Zandieh, and S.M.T. Fatemi Ghomi. Scheduling sequence-dependent setup times job shop problems. *International Journal of Production Research*, 47(21):5959–5976, 2009.

- [26] Dario Pacciarelli and Marco Pranzo. A tabu search algorithm for the railway scheduling problem. In *Proceedings of the 4th Metaheuristics International Conference. Porto, Portugal*, pages 159–163, 2001.
- [27] Ambika Prasad Patra. *RAMS and LCC in rail track maintenance*. Licentiatavhandling, Luleå tekniska universitet, 2007.
- [28] F. Peng, S. Kang, X. Li, Y. Ouyang, K. Somani, and D Acharya. A heuristic approach to the railroad track maintenance scheduling problem. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2010.
- [29] Yves Putallaz and Robert Rivier. Strategic maintenance and renewal policy of a railway corridors, taking into account the value of capacity. *World Congress of Rail Research*, 2003.
- [30] J. Schutz, N. Rezg, and J.-B. Léger. Periodic and sequential preventive maintenance policies over a finite planning horizon with a dynamic failure law. *Journal of Intelligent Manufacturing*, pages 1–10, 2009. 10.1007/s10845-009-0313-7.
- [31] Scott Simson, Luis Ferreira, and Martin Murray. Rail track maintenance planning: An assessment model. *Railroad Track Engineering and Maintenance; Passenger Rail Planning and Operations*, 9:29–35, 2000.
- [32] N. Sortrakul, H. L. Nachtmann, and C. R. Cassady. Genetic algorithms for integrated preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine. *Computers in Industry – Special issue: Application of genetics algorithms in industry*, 56:161–168, February 2005.
- [33] A. Sudiarso and A. W. Labib. A fuzzy logic approach to an integrated maintenance/production scheduling algorithm. *International Journal of Production Research*, 40:3121–3138, 2002.
- [34] Trafikverket. Revisionsplanering. Version 0.1, maj 2010. TRVR 1601.
- [35] Trafikverket. Tågplan – tilldelning av Kapacitet. BVR 1600, maj 2011. Utkast.
- [36] Pär-Erik Westin. Förbättrad vinterberedskap inom järnvägen – betänkande av Utredningen om störningar i järnvägstrafiken vintern 2009/2010. Sou 2010:69, Statens offentliga utredningar, 2010.

## A Termer

Tabell 2 innehåller en uppräknig av termer och förkortningar som används i detta dokument, inklusive en referens till avsnittet där det används för första gången.

Term	Förklaring	Avsnitt
AS	Auktoriserad sökande. Begrepp som infördes som konsekvens av Järnvägsutredningen 2002 för att markera att det inte bara är järnvägsföretag (tågoperatörer) som kan ansöka om kapacitet, utan även industriföretag, speditörer och liknande (förutsatt att de uppfyller de villkor som anges i JNB) [21].	ref!
BAP	Banarbetsplan. Plan som beskriver samtliga planerade trafikpåverkande banarbeten under berörd tidtabellsperiod. Dokumentet ingår i den fastställda tågplanen [3].	ref!
BUP	Banutnyttjandeplaner. Kallas i dagligt tal för "BUP:en" (buppen).	ref!
Dlc	Driftledningscentral (betecknar även ofta plural och bestämd form, dvs Driftledningscentraler och Driftledningscentralerna).	ref!
JF	Järnvägsföretag. Används som samlingsbegrepp med den ungefärliga betydelsen "operatörerna", för att skilja denna grupp från underhållsentreprenörer och Trafikverket.	ref!
JNB	Järnvägsnätsbeskrivning (eng: <i>Network Statement</i> ). Formellt dokument som bl a beskriver de förutsättningar som gäller för att köra trafik på Sveriges järnvägsnät under det kommande tågplanepreioden.	ref!
Objekt	Ett arbete på Trafikverkets anläggningar som via ett unikt nummer identifierar åtgärder som har samma start- och sluttider på station eller linje, eller flera stationer och sträckor.	ref!
PSB	Trafikverkets vedertagna benämning av <i>planerat större banarbete</i> . Definieras som objekt som har omfattande påverkan på trafiken och presenteras i JNB [3].	3.3.1
Trans	System för banarbetsplanering	ref!

Tabell 2: Termer som används i detta dokument och deras förklaringar