



Projektgrupp vid Blekinge Tekniska Högskola (BTH):

Dr. Johanna Törnquist Krasemann (projektledare)

Prof. Håkan Grahn

Doktorand Muhammad Zeeshan Iqbal

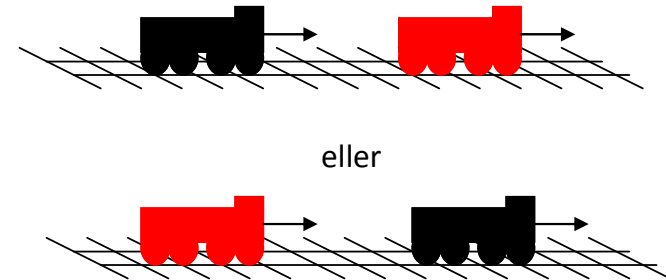
Projektassistent Sara Solanti

Kontaktpersoner vid Trafikverket:

Magdalena Grimm

Åke Lundberg

Robin Edlund (projektponsor)



Effektiv Operativ Omplanering Av Tåglägen vid driftstörningar - EOT

Tidsperiod: 2010-2013

Finansierat av  TRAFIKVERKET

Projektägare: Blekinge Tekniska Högskola (BTH)

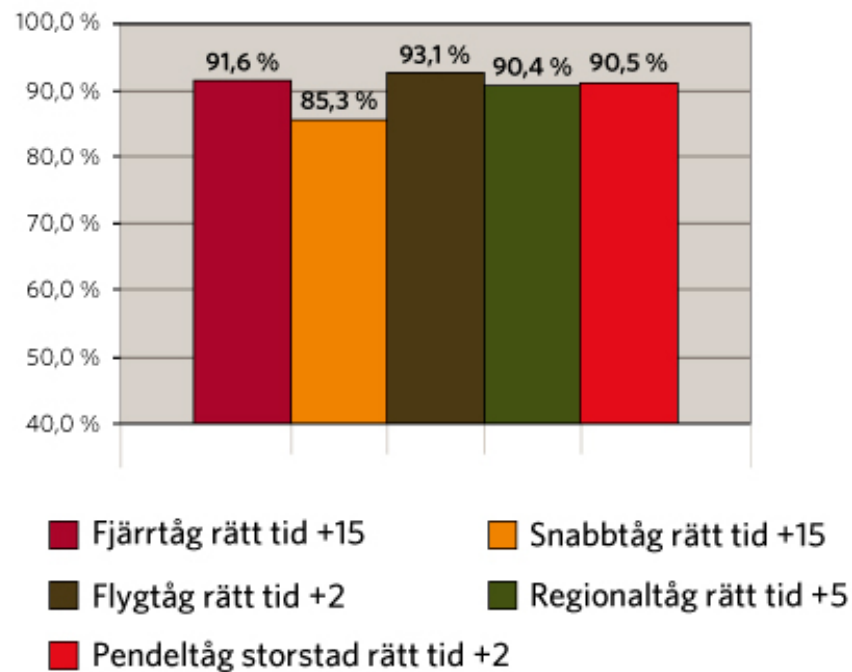
Syfte och motivering



Behov av ökad kontroll och ökad punktlighet

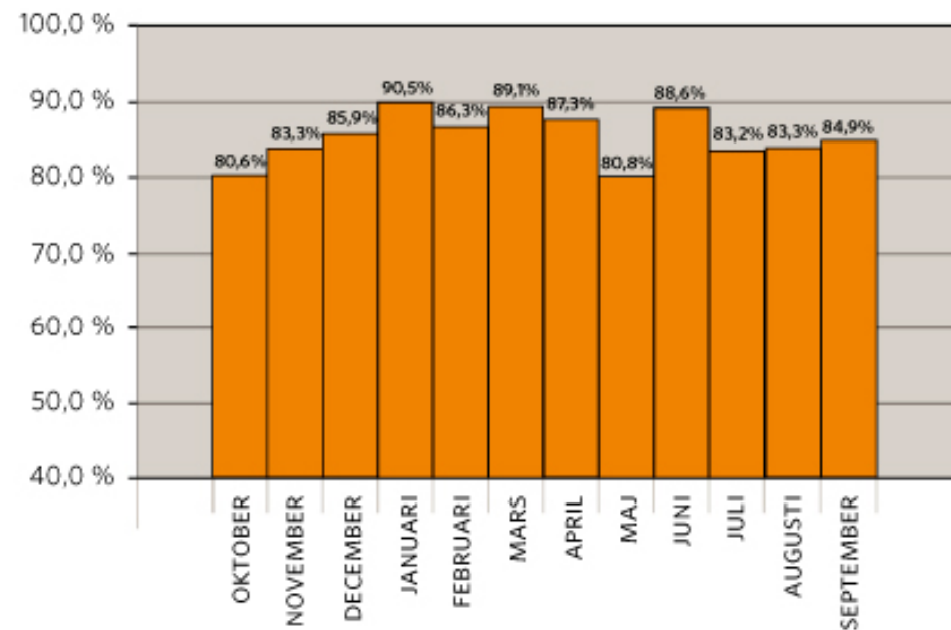
Persontåg ankomst till slutstation

ackumulerat oktober 2011 - september 2012



Snabbtåg

ankomst till slutstation rätt tid +15



Källa: Trafikverket, 2012-11-07.

Två kompletterande angreppssätt

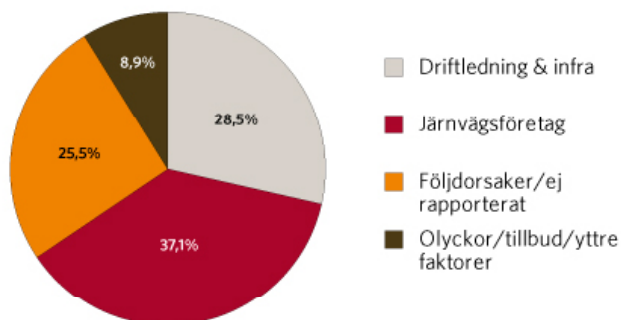
Förebygg uppkomsten av primärstörningar

=> Planerade och oplanerade störningar

Reducera sekundärstörningarna

=> dominoeffekten som orsakar merförseningar (dvs. följdförseningar)

Förseningsorsaker september
- andel alla tåg



Källa: Trafikverket, 2012-11-07.



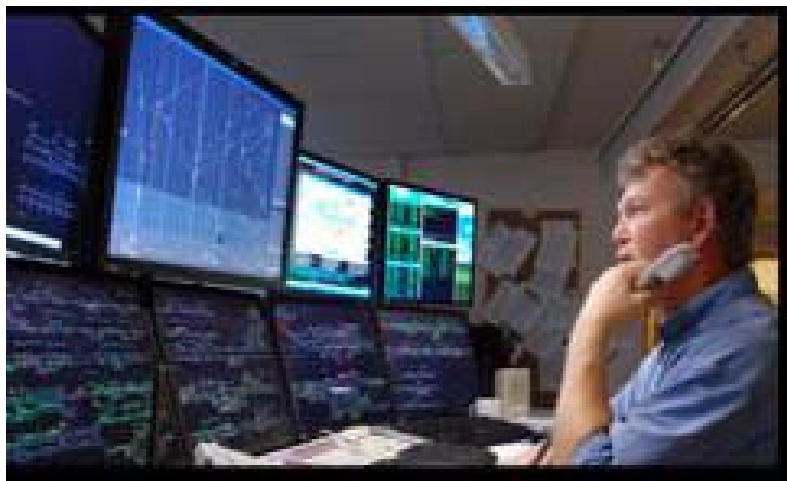
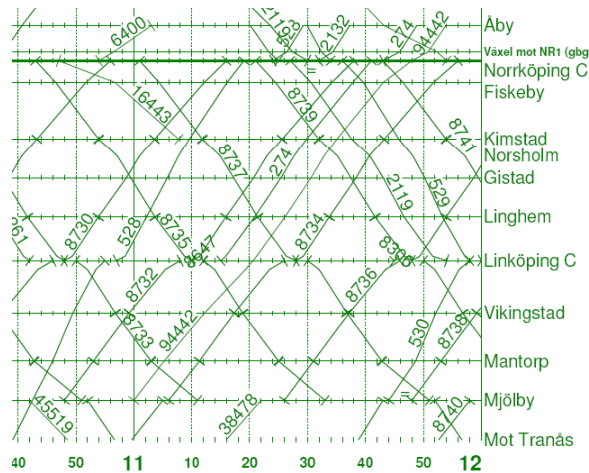
Projektets syfte

Utveckling av modeller och beräkningsmetoder som kan stödja trafikledaren i det operativa arbetet genom att:

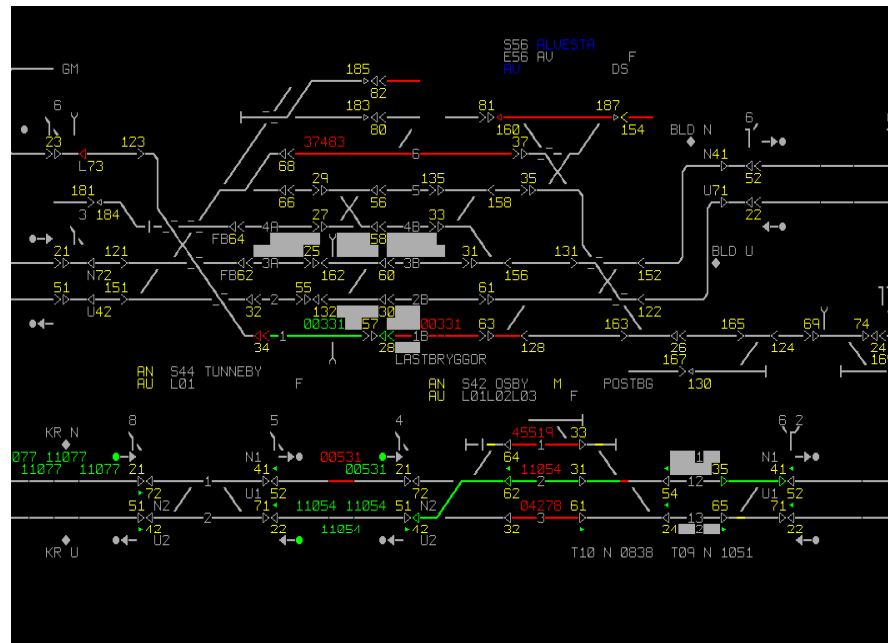
- **Identifiera** olika typer av potentiella, relevanta avvikelser och konflikter.
- Ge **alternativa förslag** på hur de kan lösas på ett "optimalt" sätt.
- **Beräkna effekterna** av de beslut som (planeras) att tas.

Trafikledaren avgör vilket alternativ som är lämpligt att använda efter ev. justeringar.

Trafikledning: En komplex uppgift

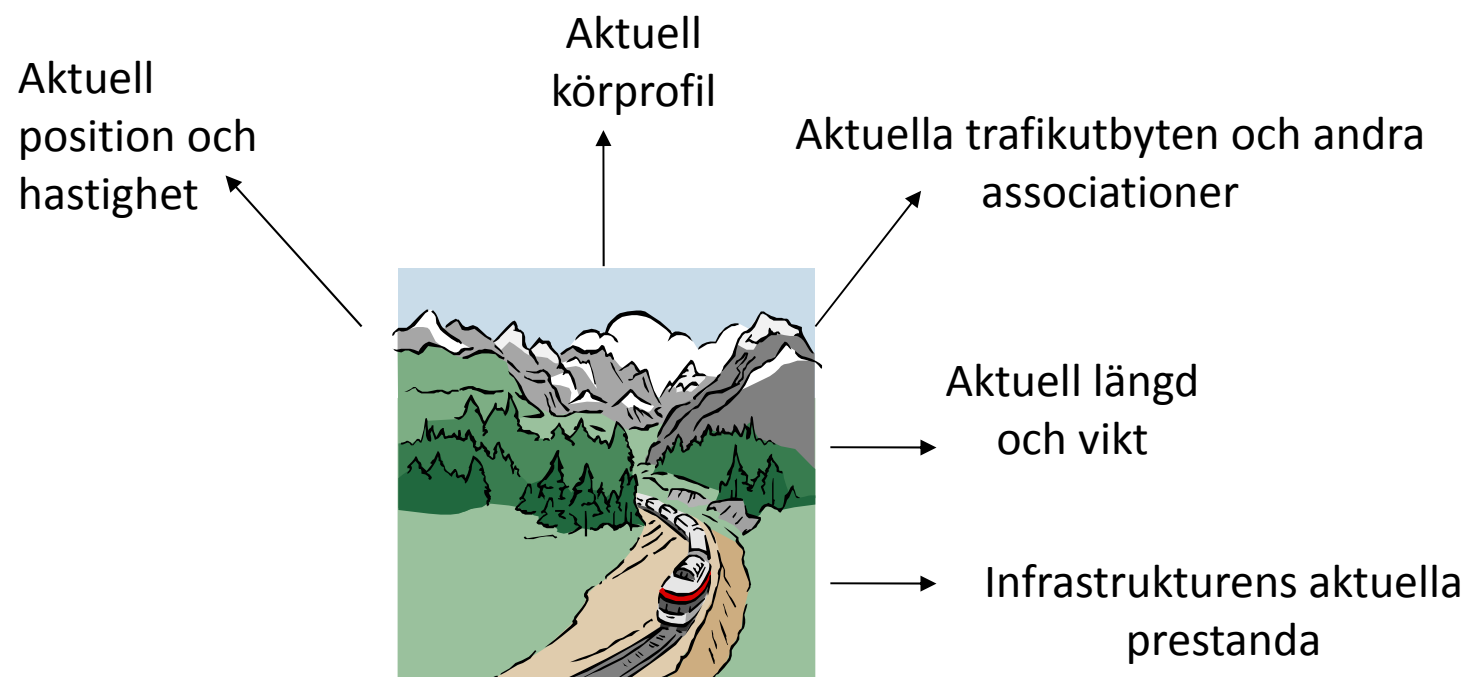


Källa: <http://www.it.uu.se/research/project/ftts/>

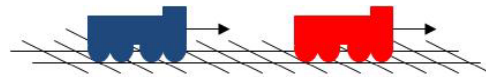


Trafikledning: En komplex uppgift

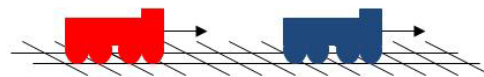
Trafikledaren har begränsad tillgång till viktig information som bör tas hänsyn till i omplaneringen om möjligheterna till beslutstöd skulle förbättras.



Kort om beräkningsmetoden



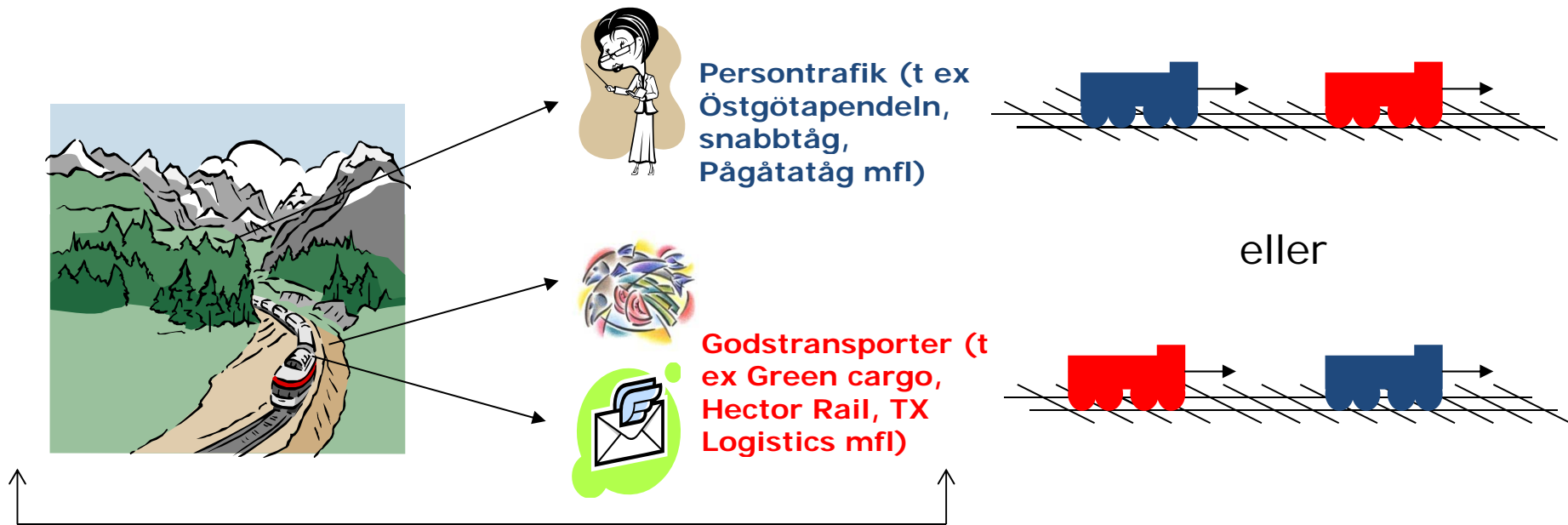
eller



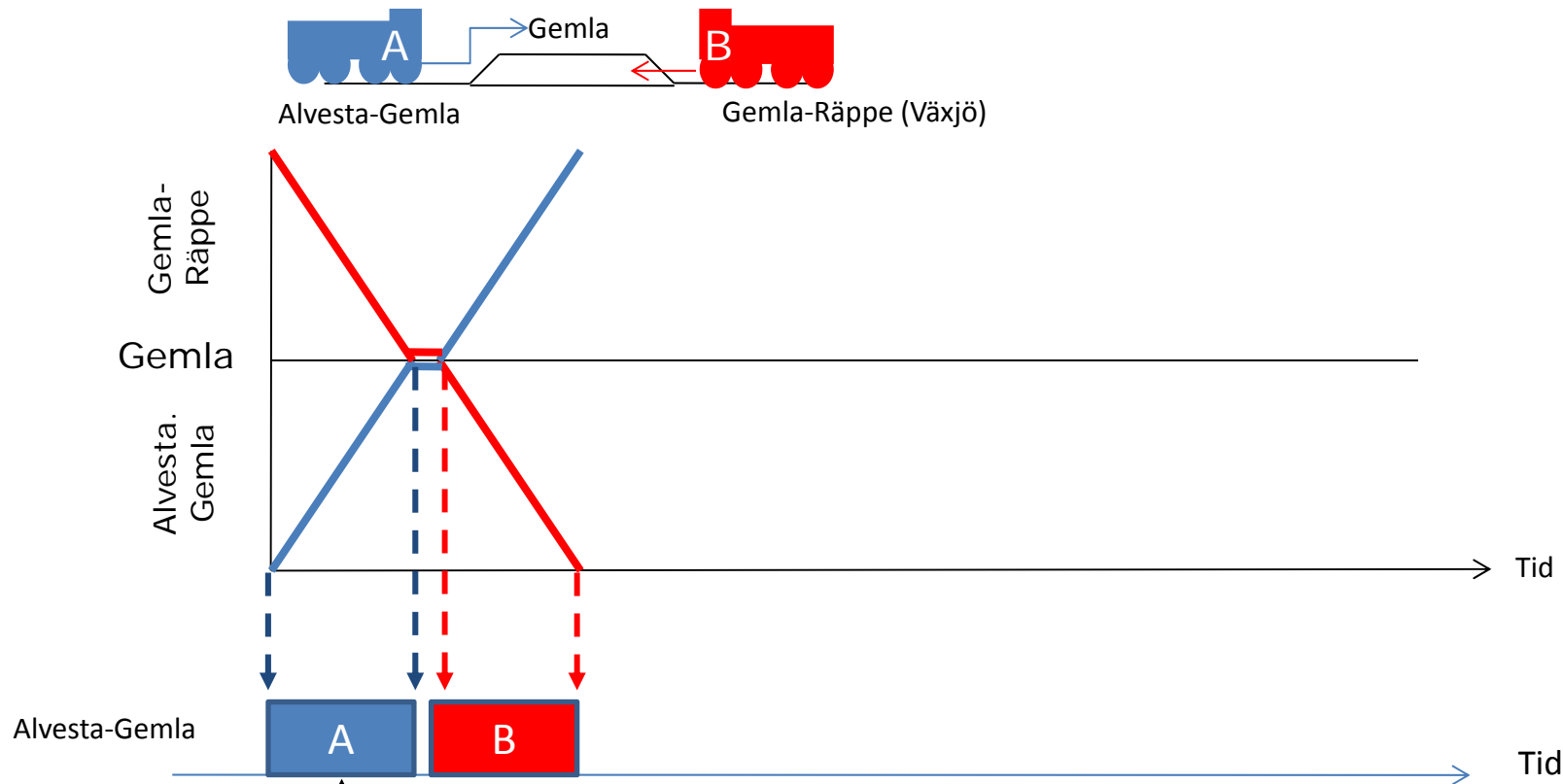
Trafikledning – ett pussel!

Trafikledarna behöver vid omplaneringen ange i vilken ordning och vilka spår tågen ska trafikera:

Modelleringsmässigt kan man se det som en mängd binära val



Modellering av "en slot"/ett tågläge

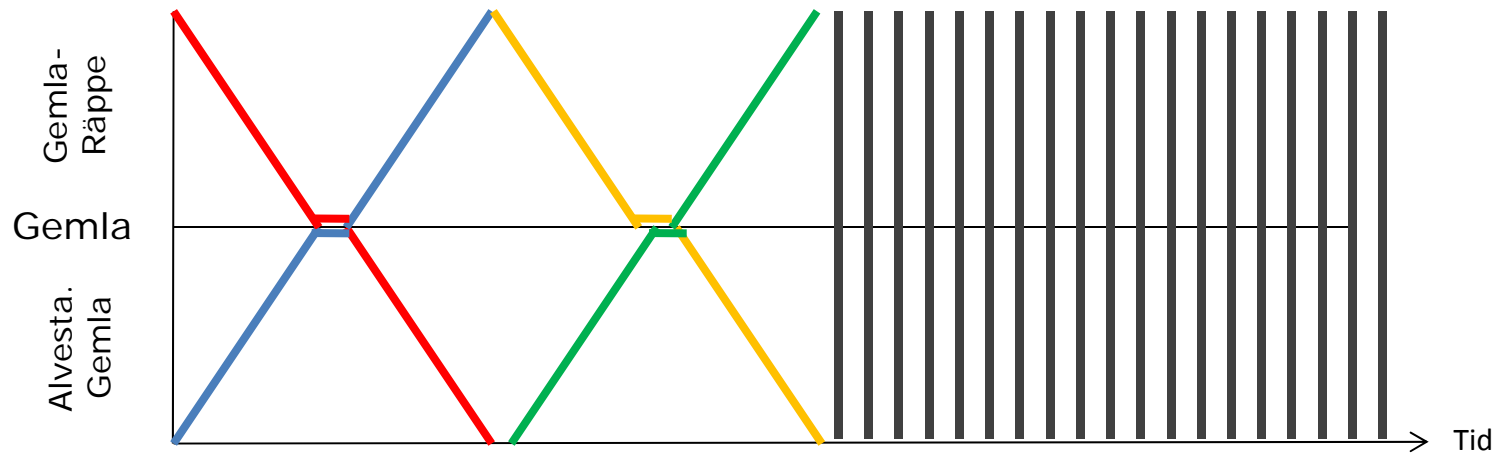
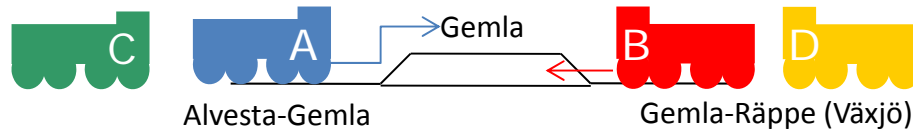


Ett tågläge/"en slot" kan betraktas som ett tidsfönster inom vilket ett specifikt tåg ska använda ett specifikt spår på en specifik bansträcka. Vi benämner det en "event".

Dess längd anger dess varaktighet (körtiden) och är dynamisk men med ett minimivärde (den teoretiska minsta gångtiden på sträckan). Dess reella längd blir större om det uppstår köbildning och tåget får invänta på spåret bakom ett annat tåg.

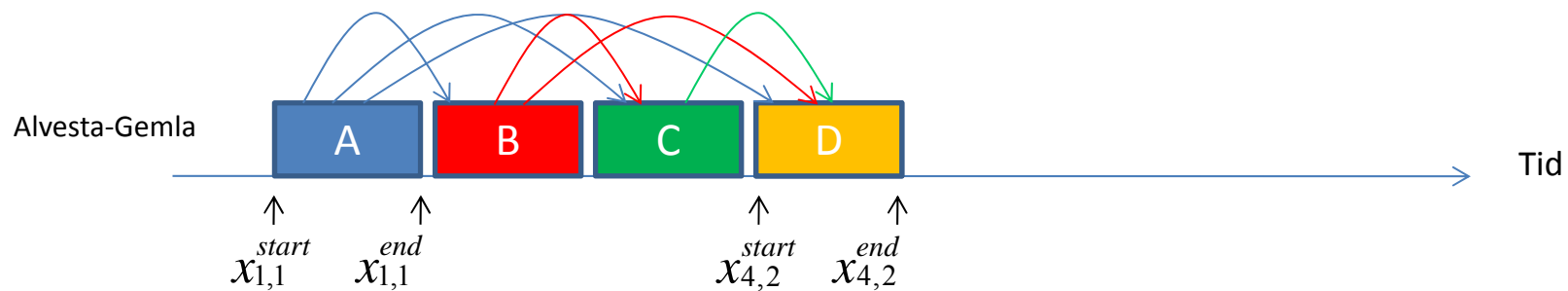
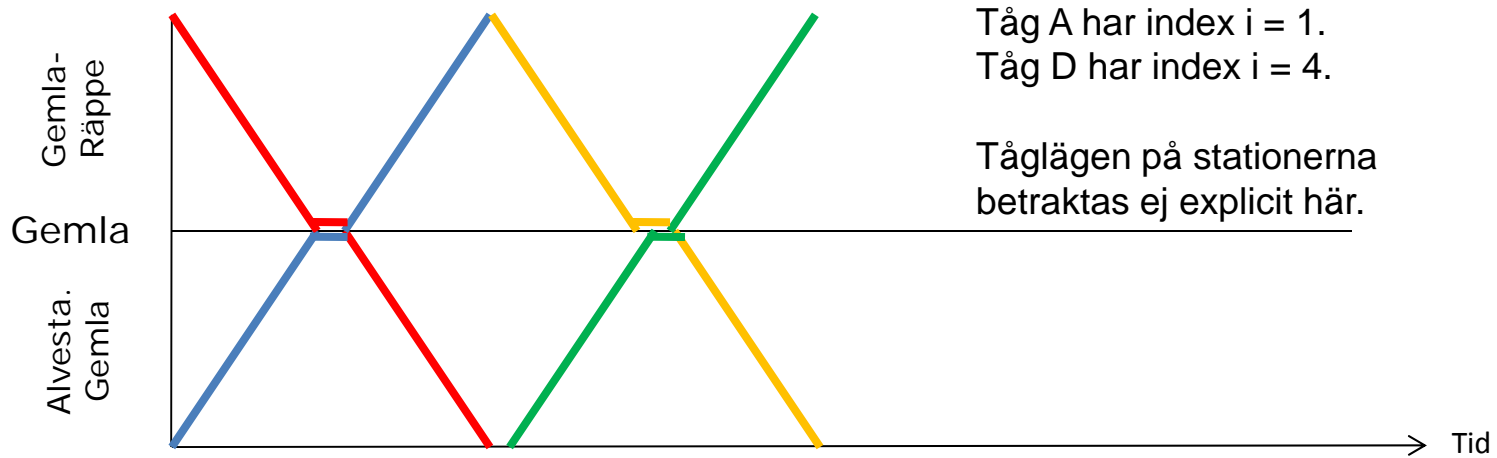
Vi skiljer på ansökta/önskade resp. tilldelade tåglägen.

Modellering av "en slot"/ett tågläge



Banarbete kan läggas in som en enskild längre "slot"

Modellering av "en slot"/ett tågläge



$$\gamma_{j,k,\hat{k}} = \begin{cases} 1, & \text{om event } k \text{ är planerad att ske före event } \hat{k} \\ 0, & \text{annars (om event } \hat{k} \text{ är planerad att ske före event } k) \end{cases}$$

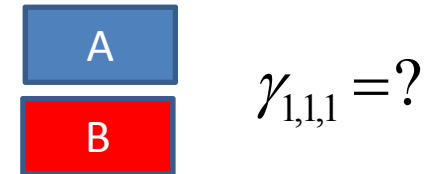
$$\gamma_{j,AB} = \gamma_{1,1,1} = 1 \quad \gamma_{j,AC} = \gamma_{1,1,2} = 1 \quad \gamma_{j,BC} = \gamma_{1,2,1} = 1 \quad , OSV \dots$$

Modellering av “en slot”/ett tågläge

$$x_{i,\hat{k}}^{start} - x_{i,k}^{end} \geq \nabla \gamma_{j,k,\hat{k}} - M(1 - \gamma_{j,k,\hat{k}})$$

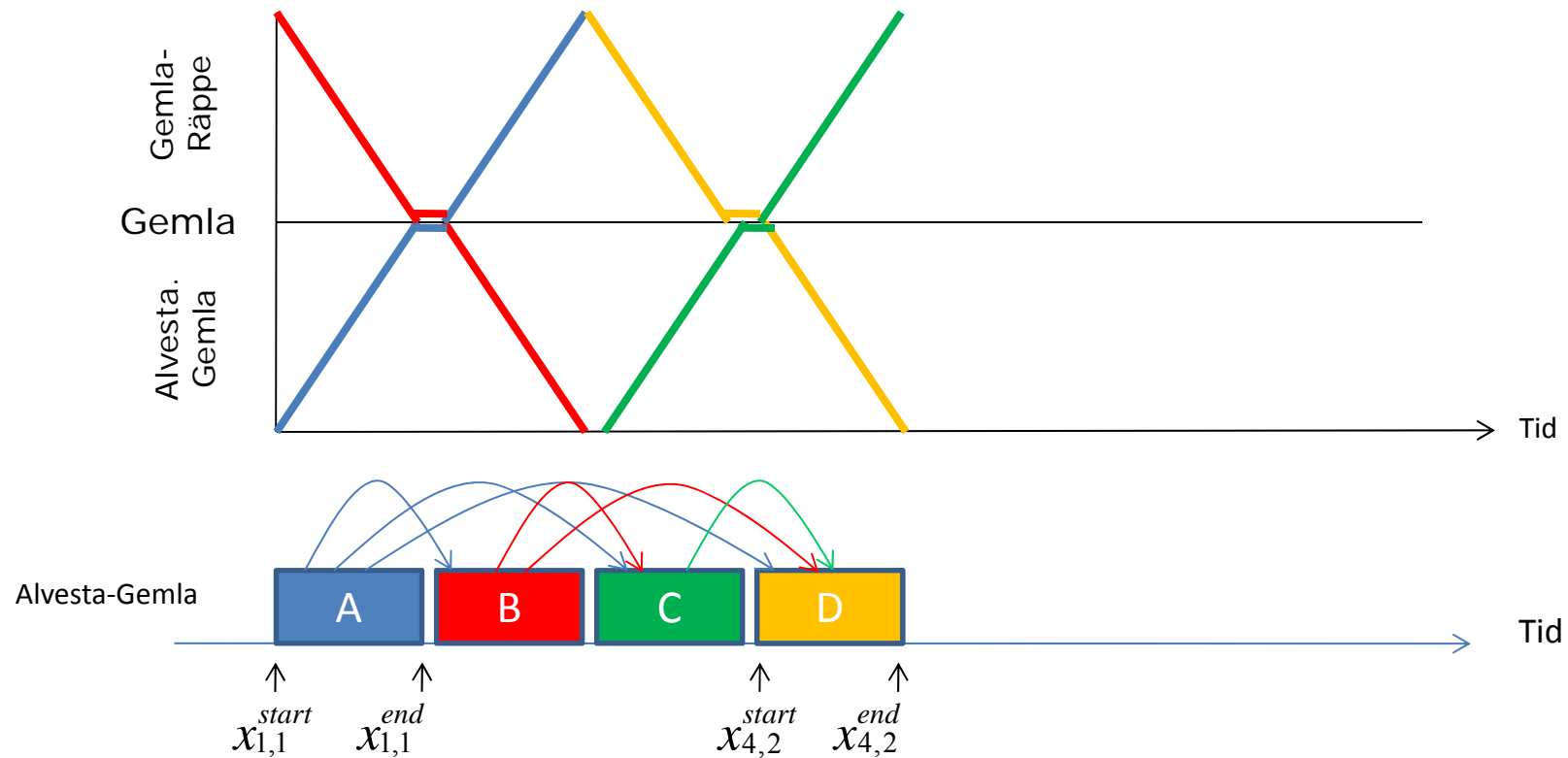


$$\gamma_{j,k,\hat{k}} = \begin{cases} 1, & \text{om event } k \text{ är planerad att ske före event } \hat{k} \\ 0, & \text{annars (om event } \hat{k} \text{ är planerad att ske före event } k) \end{cases}$$



$$x_{i,k}^{start} - x_{i,\hat{k}}^{end} \geq \nabla(1 - \gamma_{j,k,\hat{k}}) - M\gamma_{j,k,\hat{k}}$$

Modellering av "en slot"/ett tågläge

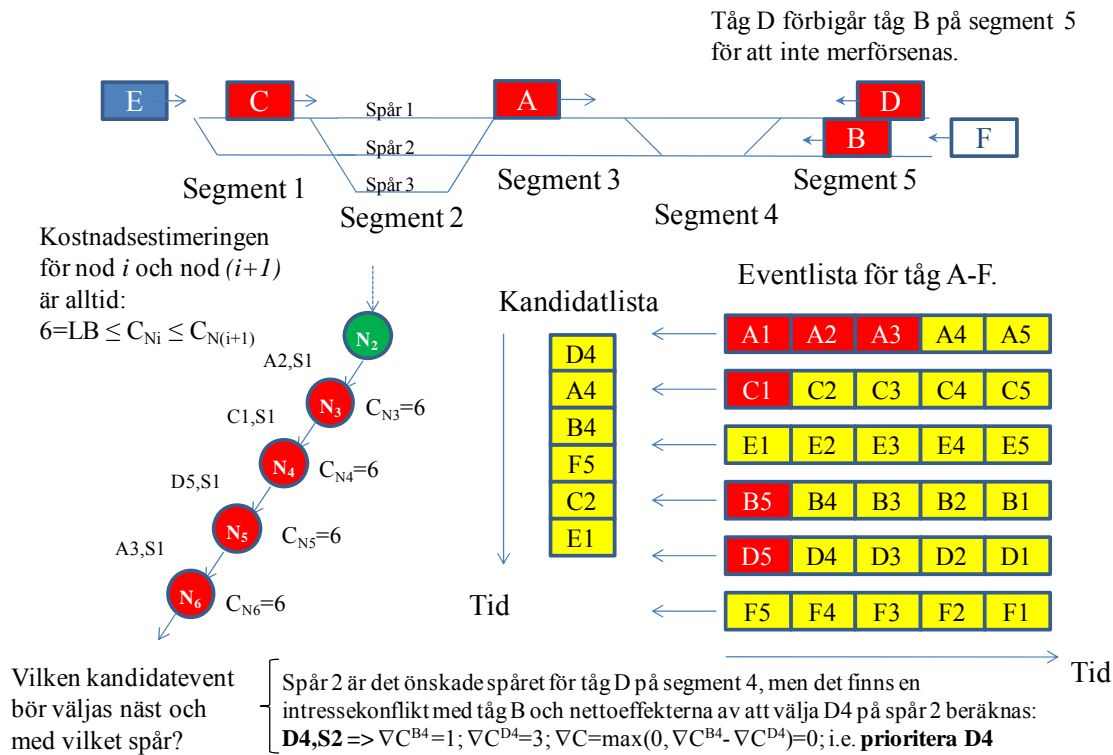


$$x_{i,\hat{k}}^{start} - x_{i,k}^{end} \geq \nabla \gamma_{j,k,\hat{k}} - M(1 - \gamma_{j,k,\hat{k}}) \quad \text{eller} \quad x_{i,k}^{start} - x_{i,\hat{k}}^{end} \geq \nabla(1 - \gamma_{j,k,\hat{k}}) - M\gamma_{j,k,\hat{k}}$$

kommer att vara "aktivt"

Lösning förfarandet

Den matematiska modellen som utvecklats beskriver omplaneringsproblemet som ska lösas. Det kan lösas med hjälp av kommersiell mjukvara såsom **ILOG Cplex** eller **Gurobi** men för vissa typer av störningar tar det mer än ett dygn att hitta en första tillåten lösning eftersom problemet är så komplext. Vi har därför utvecklat en **parallelliserad girighetsalgoritm** (beskrivs i detalj i slutrapporten):



Experimenten



Fokus på Södra Stambanan och T09

Tre olika störningstyper (100 scenarier totalt):

Ett enskilt tåg har en temporär försening

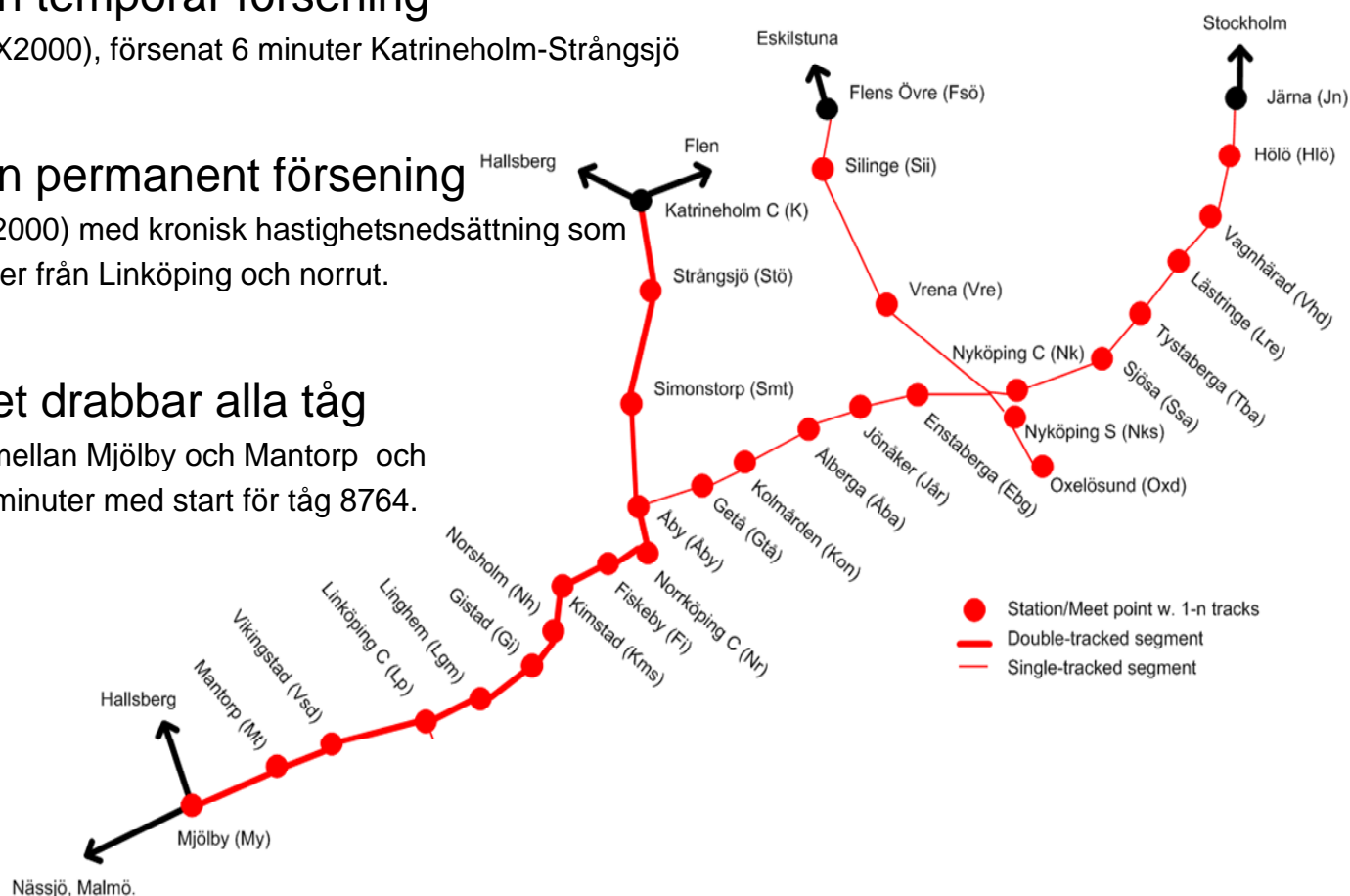
- Ex: Tåg 539 (södergående X2000), försenat 6 minuter Katrineholm-Strängsjö

Ett enskilt tåg har en permanent försening

- Ex: Tåg 538 (norrgående X2000) med kronisk hastighetsnedsättning som medför kraftigt ökade gångtider från Linköping och norrut.

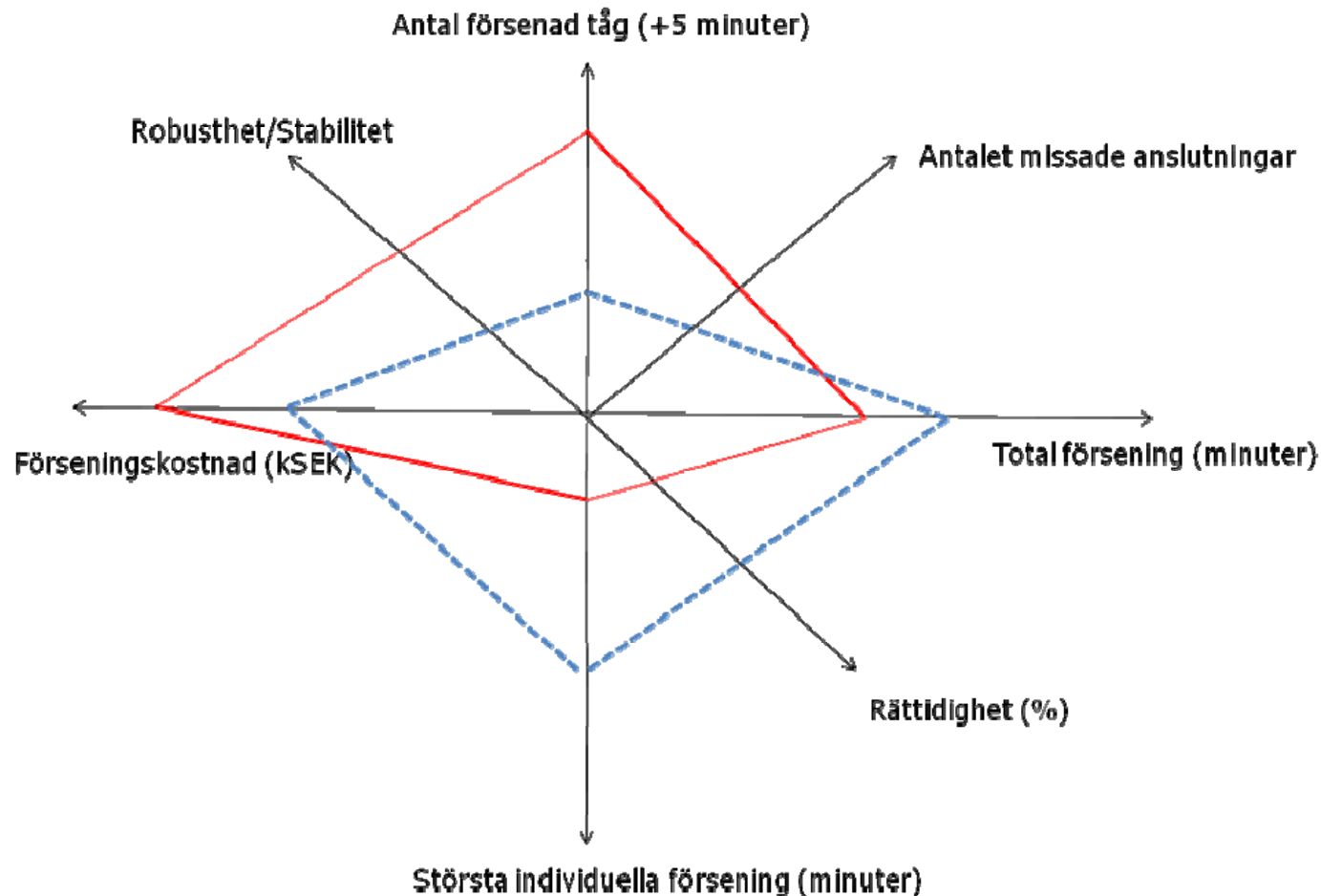
Infrastrukturfel, vilket drabbar alla tåg

- Ex: Hastighetsnedsättning mellan Mjölby och Mantorp och alla tåg får en gångtid på 20 minuter med start för tåg 8764.



Mål med omplaneringen

Vi har studerat olika mål och aspekter som är intressanta. Fokus har dock varit på att minimera den totala förseningen och begränsa antalet försenade tåg vid slutstation (som därmed påverkar "rättidigheten").



Några Resultat



Några resultat - 1

- Tidshorizonten är 90 minuter och max tillåten beräkningstid för algoritmen är 30s.
- Målfunktion här: Minimera försening vid slutdestination (anges här i sekunder) .
- Cplex 12.2 (24h) motsvarar vår ”optimallösning”.
- Vår algoritm hittar ’bra’ lösningar inom 10 s. Svårast är att lösa infrastrukturella problem.

Sc#	Parallel approach 1					Parallel approach 2	Parallel approach 3	CPLEX 12.2 24h
	S0	S1 α	S1 β	S2	S3			
1	1 172	995	1 103	1 486	1 103	995	1 103	855
2	437	288	396	751	396	288	366	226
3	781	686	740	1 150	740	686	686	570
4	421	326	380	790	380	326	326	210
5	701	956	1 338	1 190	878	930	701	686
6	53	53	68	592	68	53	53	30
7	499	499	568	1 109	568	499	499	486
8	207	332	401	1 003	401	207	207	176
9	744	768	837	1 349	837	768	744	731
10	269	269	338	874	338	269	269	256
11	1 233	1 084	1 192	1 233	1 192	1 084	1 084	1 022
12	680	585	639	1 049	639	585	585	469
13	2 245	2 231	2 488	2 900	2 504	2 231	2 245	2 231
14	1 519	1 677	1 888	1 999	1 888	1 519	1 519	1 113
15	1 659	1 844	1 913	2 264	1 912	1 659	1 659	1 599
16	13 850	13 850	13 850	13 850	13 850	13 850	13 850	13 850
17	7 069	7 105	9 128	7 069	9 128	7 069	7 069	7 038
18	4 295	4 242	4 739	4 130	4 739	4 130	4 130	4 130
19	28 883	28 883	28 883	28 883	28 883	28 883	28 883	28 740
20	23 144	21 898	-	22 954	-	21 898	21 898	18 971

Kategori 1: Temporär störning (Sc# 1-10)

Kategori 2: Permanent störning (Sc# 11-15)

Kategori 3: Infrastrukturel (Sc# 16-20)

Några resultat - 2

Tåg	Alternativa förslag fr. den sekventiella algoritmen*			Cplex 12.2, 24h
	Försening för resp. tåg (minuter)			
237	19	19	19	15
80866	3	3	3	3
242	29	29	24	40
538	12	12	12	11
539	28	28	28	13
540	20	20	16	32
5629	2	2	2	0
8313	30	30	0	0
8762	9	9	9	8
8764	25	15	15	14
8766	0	0	0	6
8767	11	11	11	11
8768	32	32	28	48
8769	9	9	9	9
8770	52	52	32	34
8771	34	34	34	19
8773	29	29	29	14
8841	3	3	3	3
8854	0	3	0	0
42702	49	49	50	35

Mått	Alternativa förslag fr. den sekventiella algoritmen			Cplex 12.2, 24h
	1	2	3	
Rättidighet (totalt 48 tåg)	68,8	68,8	70,8	68,8
Total försening (min)	396	389	322	315
Total försening +5min (min)	388	378	315	309
Max försening +5min (min)	52	52	50	48
Medel försening +5min (min)	26	25	22	21
Minimi försening +5min (min)	9	9	9	6
Antal försenade tåg (+5min)	15	15	14	15
Antal försenade tåg (+15min)	11	10	9	6

Inte uppenbart hur man bör ranka och bedöma alternativa förslag och åtgärder.

Ett exempel - scenario 20 – med fyra alternativa förslag och vilka tåg som försenas i resp. förslag och hur mycket.

Baserat på den primära målfunktion (minimera den totala förseningen) så är det fjärde förslaget (från Cplex) mest optimalt men om vi utgår från rättidighet så är det tredje förslaget att föredra.

I praktiken finns en mängd ytterligare aspekter att beakta.

Fortsatt arbete

! ? !

Nästa steg: En praktisk utvärdering

Centrala frågor

- Vad är rimliga omplaneringsåtgärder i olika sammanhang (vilka plattforms- och spårbyten kan bli aktuella vid mindre resp. större försening)?
- Hur värderas/bedöms förslagen och vilka målfunktioner är därmed rimliga att använda?
- Hur ser samspelet med trafikledaren ut och vad är dennas behov?
- Tillgången till information:
 - Vilken information behövs?
 - Finns den tillgänglig och hur?
Om inte, hur påverkar detta beräkningarna?
 - Hantering av prognostiserad data (t ex tågets position) och snabba förändringar av information?