

## FLOAT

- Bättre flyt i tågtrafiken med  
beräkningsstöd för trafikledningen

**Projekttitle:** FLOAT – FLexibel Omplanering Av Tåglägen.

**Projektid:** Oktober 2013-Mars 2017

**Kontaktperson Trafikverket:** Peter Hammarberg

**Finansiering:**  TRAFIKVERKET och Karlshamns Kommun.

**Utförare:** Blekinge Tekniska Högskola



Håkan Grahn



Johanna Törnquist Krasemann



Sai Prashanth Josyula



Omid Gholami



# Två typer av förseningar



# FLOAT: Utgångspunkt

**Punktlighetsarbete består av tre huvudsakliga utmaningar:**

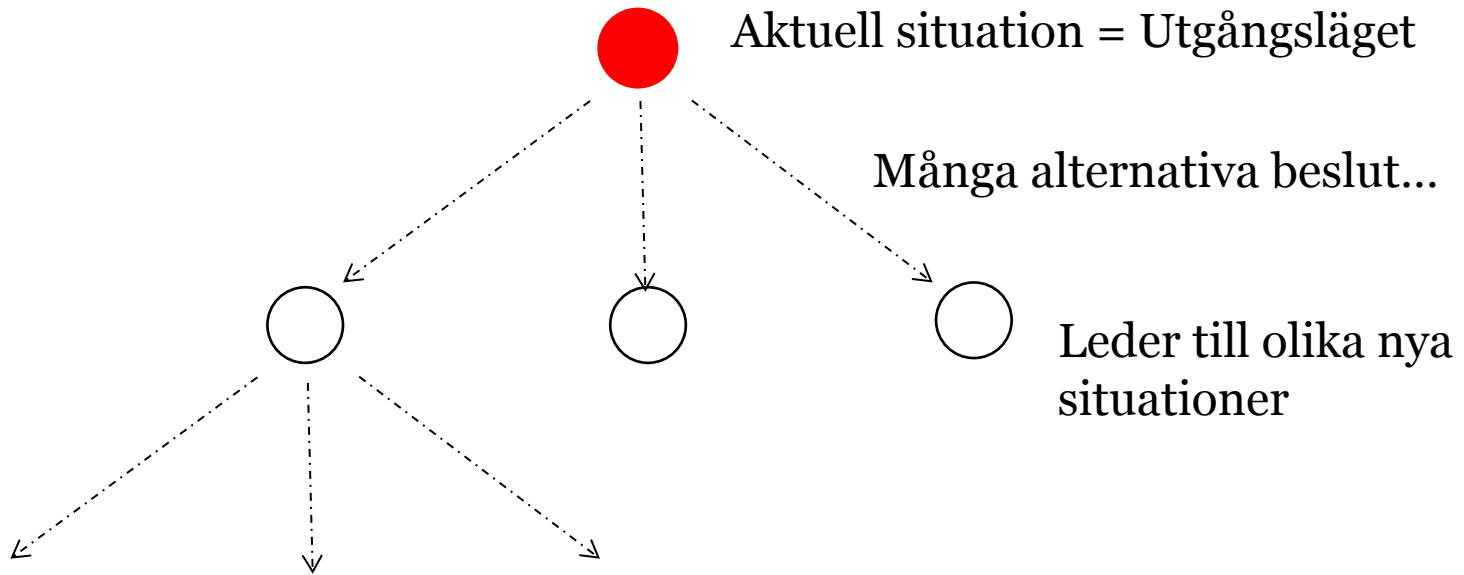
1. *Förebygga att s k primära störningar uppstår såsom fordonsfel, signalfel mm.*
2. *Konstruera robusta tidtabeller som i viss mån hämmar spridningseffekten av uppkomna störningar*
3. *Ge trafikledare optimerande beräkningsstöd och konsekvensanalyser*



# Optimerande beslutstöd - Potential & Relevans

- Kan **hantera stora mängder information och data** och kan därmed ha ett större perspektiv i tid och rum.
- Kan snabbt ta fram **flera alternativa lösningar**, inkl. en ”optimal” lösning, och **beräkna effekterna** (positiva och negativa) av alternativa lösningar.
- Har visat sig **praktiskt användbart på enkelspårsbanor** (Milano Metro, Regionala tåglinjer i Italien, Lötschberg Base-tunneln i Schweiz, Stavanger-Moi i Norge).

# Trafikledning och alla dessa beslut...



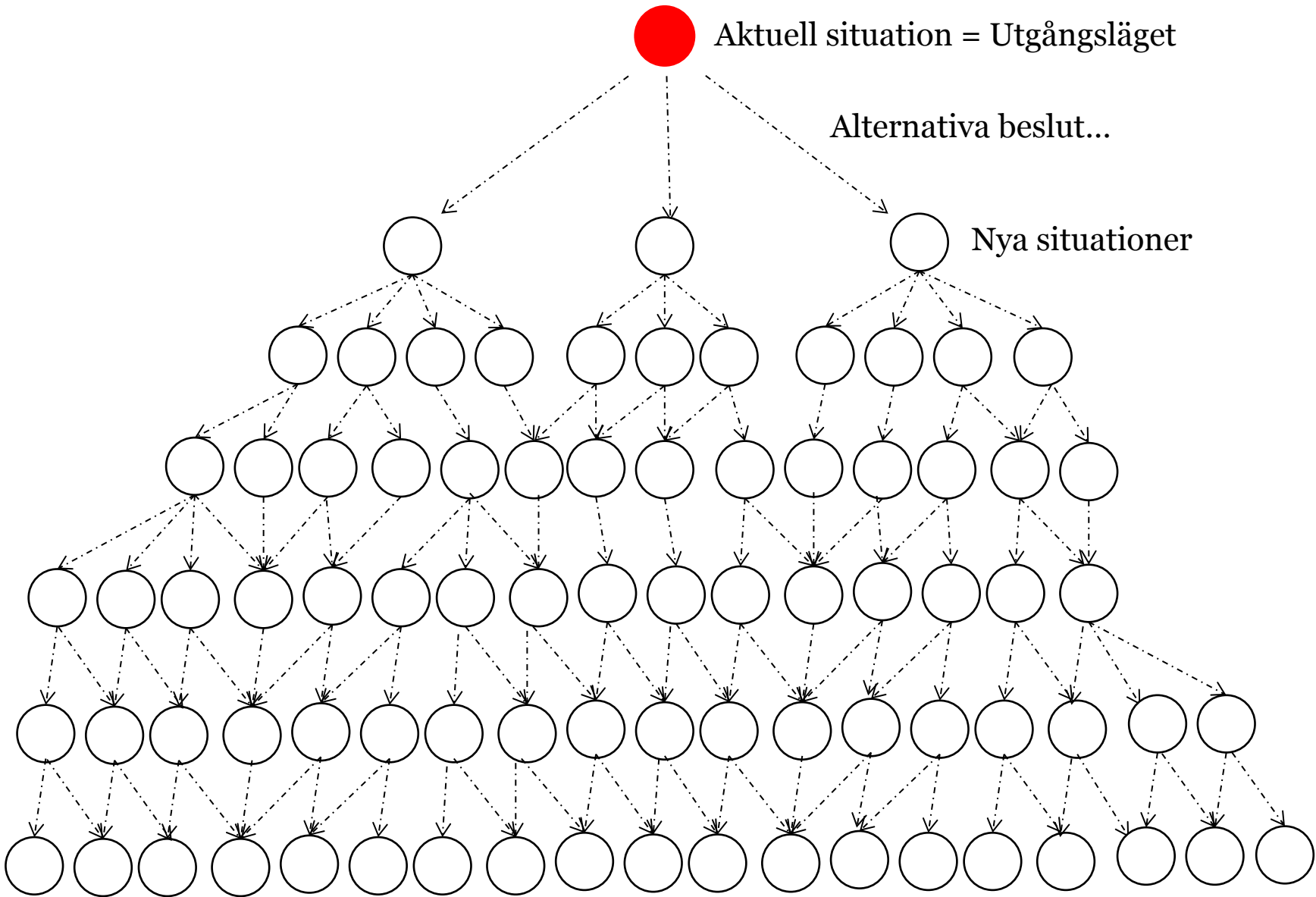
Bildkälla: <http://www.it.uu.se/research/project/fts/>

# FLOAT: Nyckelbesluten i fokus

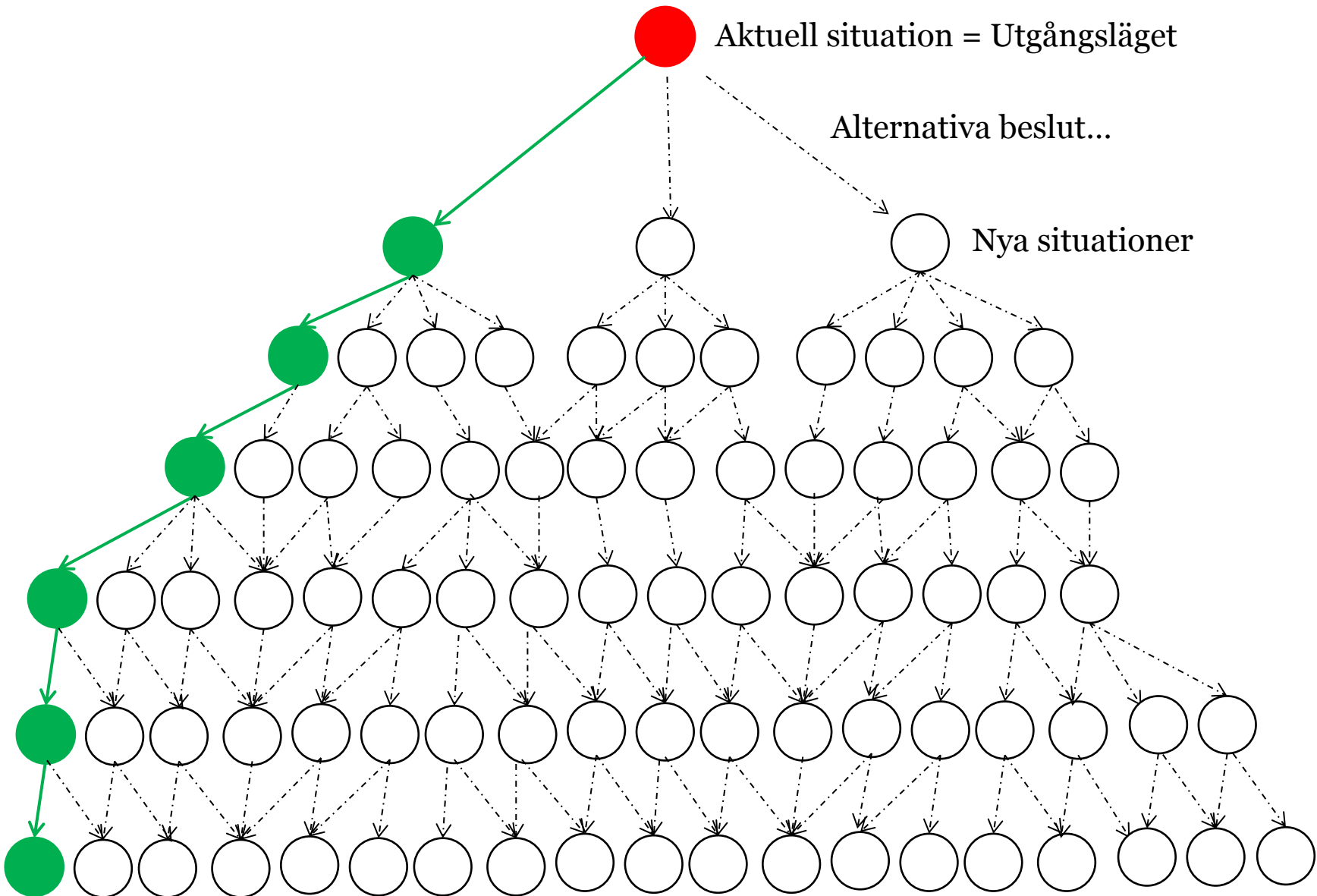
I ett operativt omplaneringskede tas olika ”nivåer” av **beslut**:

- Justering av **tågens ankomst- och avgångstider**
- Justering av **spårval** på linjen och stationer (inkl. plattformsväl)
- Justering av **tågordning** (inkl. möten och förbigångar)
- ~~Omledning, inställelse och tidig vändning av tåg.~~

# Optimerande beslutsstöd: Vi bygger ett "beslutsträd"...

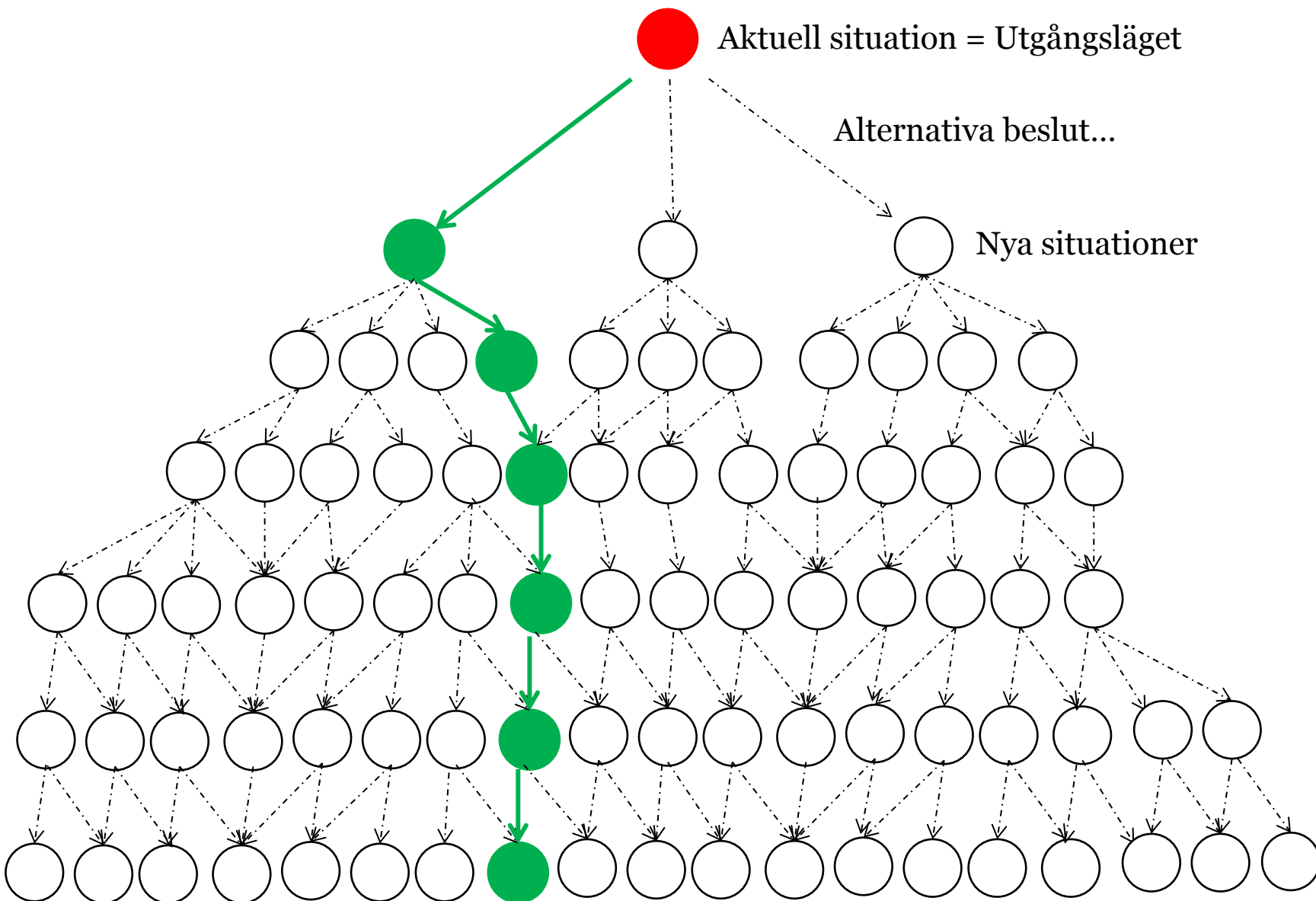


# ..för att snabbt finna en **bra** beslutssekvens

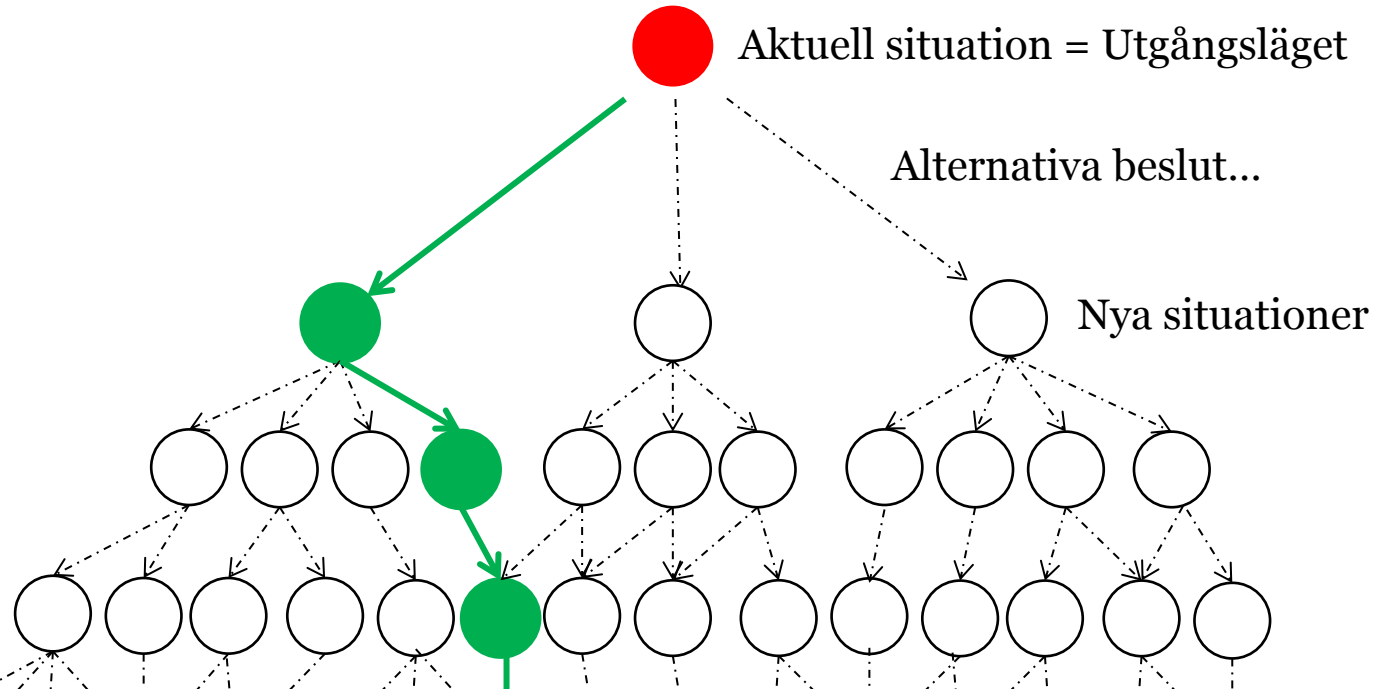




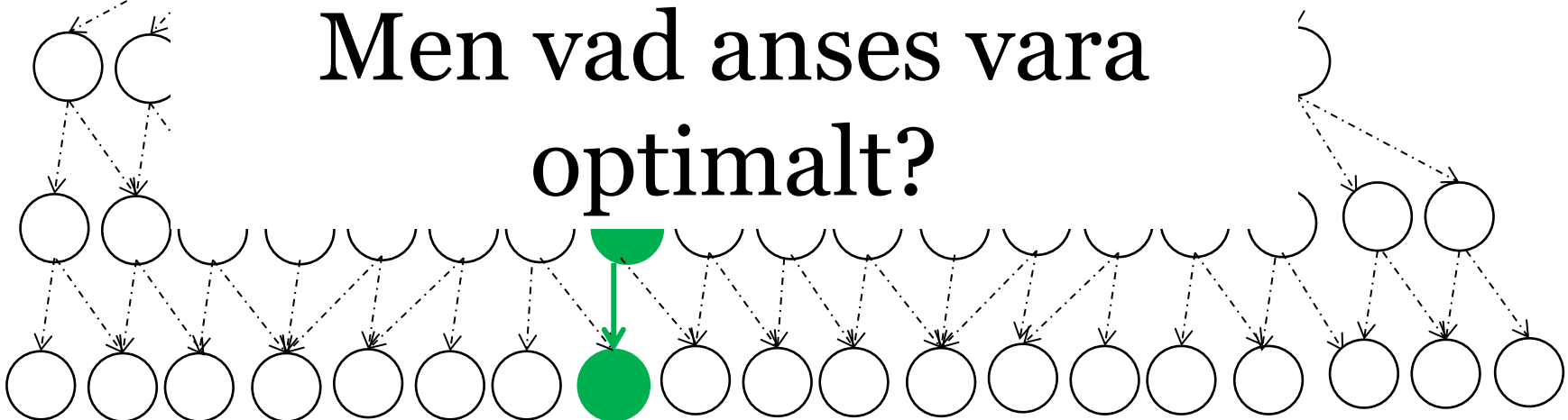
# ..eller ännu hellre en **optimal** beslutssekvens



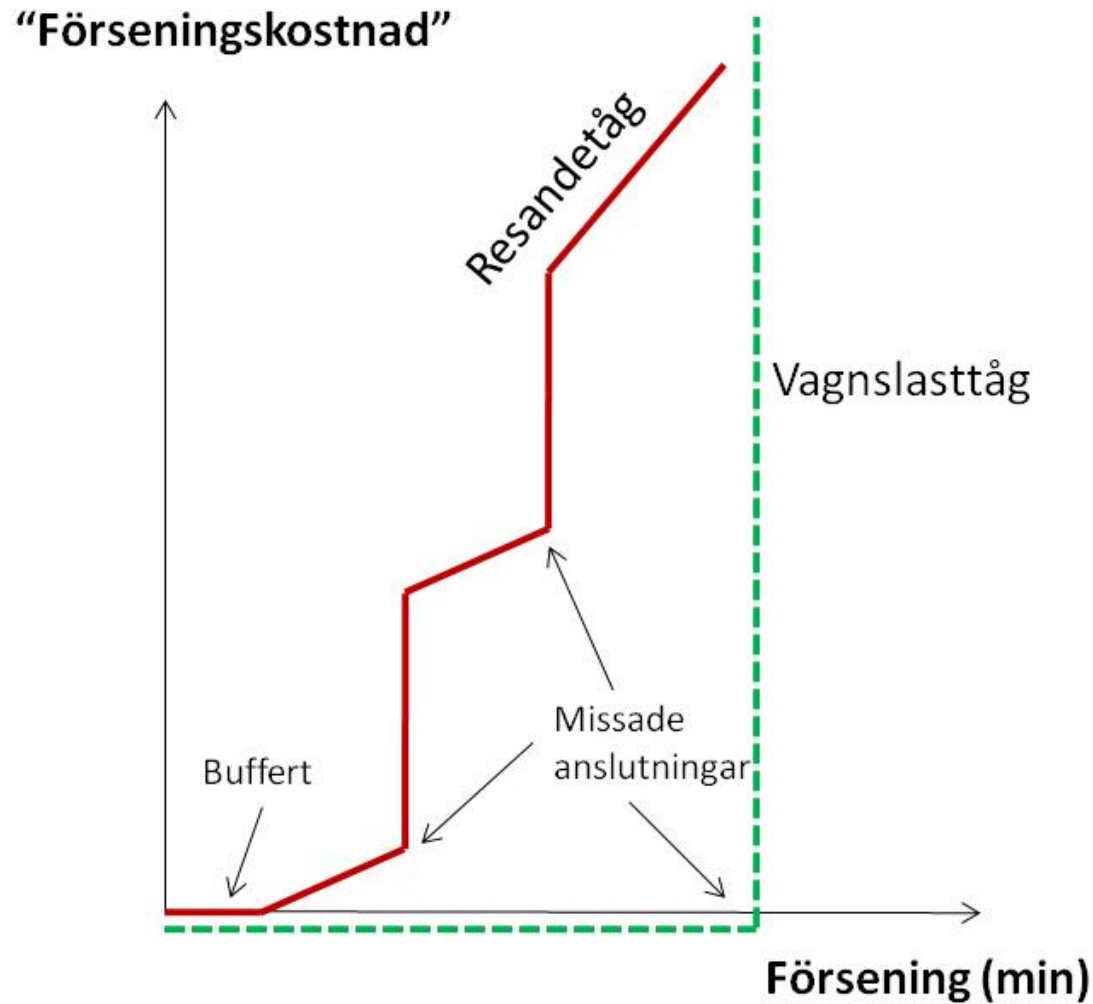
..eller ännu hellre en **optimal** beslutssekvens



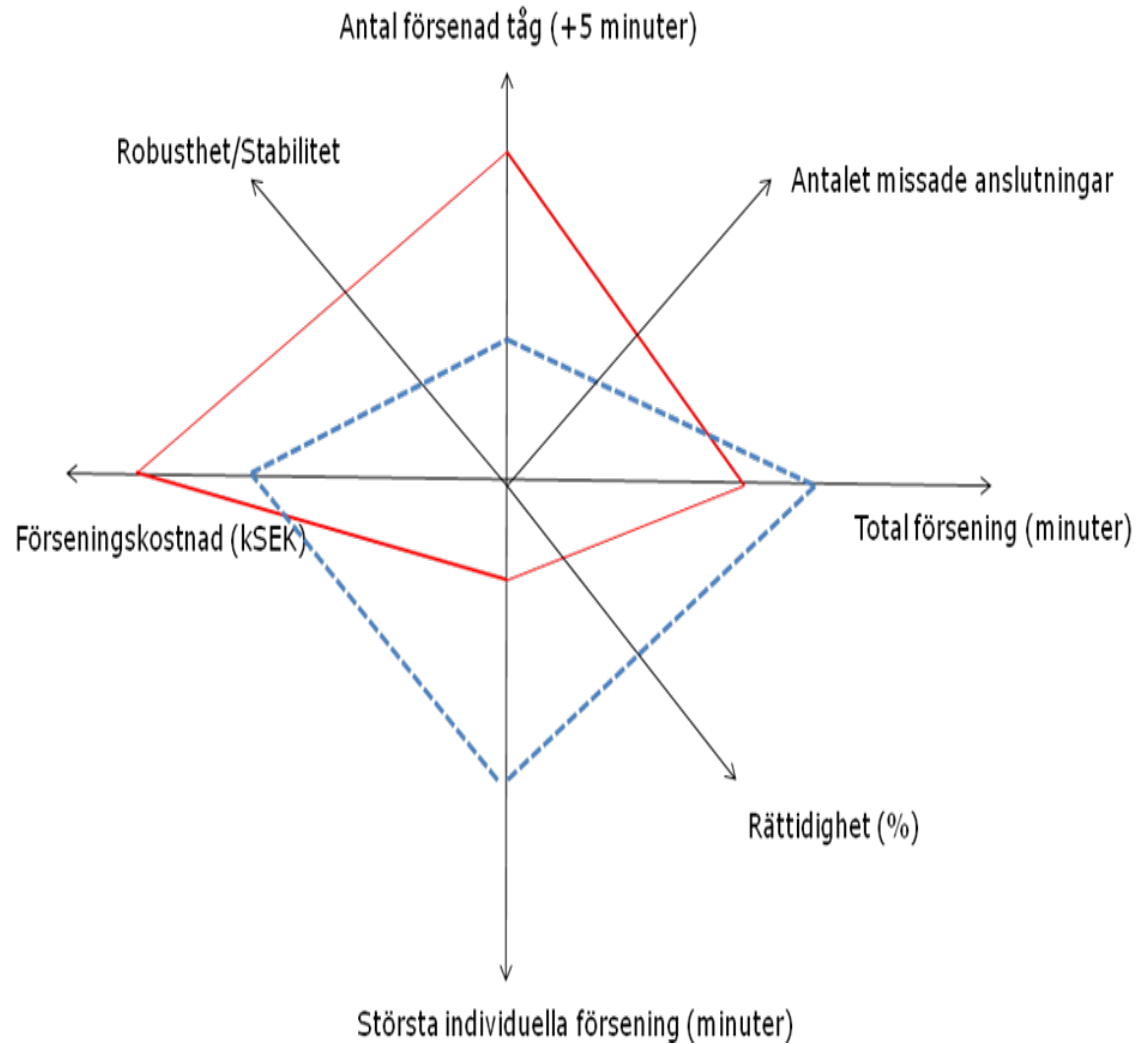
Men vad anses vara  
**optimalt?**



# Mål och optimalitet - 1

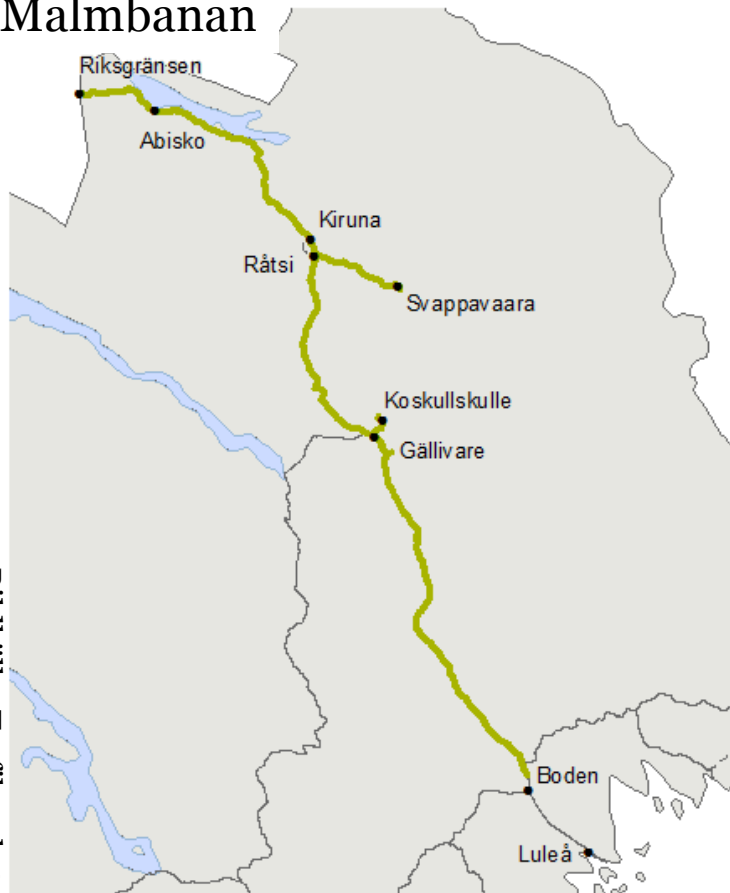


# Mål och optimalitet - 2



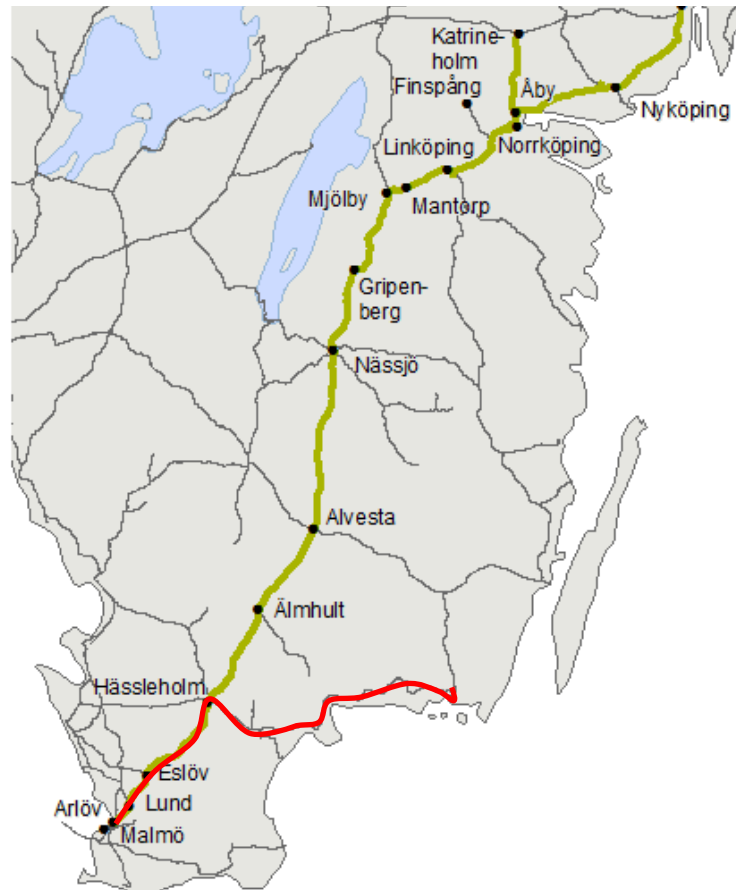
# FLOAT: Fokus på 2 olika bandelar

## Malmbanan



Bildkälla: Trafikverket

## Södra stambanan och Blekinge Kustbana



# The olika typer av störningar har studerats

## **Ett enskilt tåg har en ”temporär” försening**

- Ex: Norrgående lastat malmtåg 9914 lämnar Kiruna malmbangård minst 20 minuter försenat.
- Ex: Resandetåg 93 får ett tågstopp på minimum 45 minuter mellan Riksgränsen och Katterjåk.

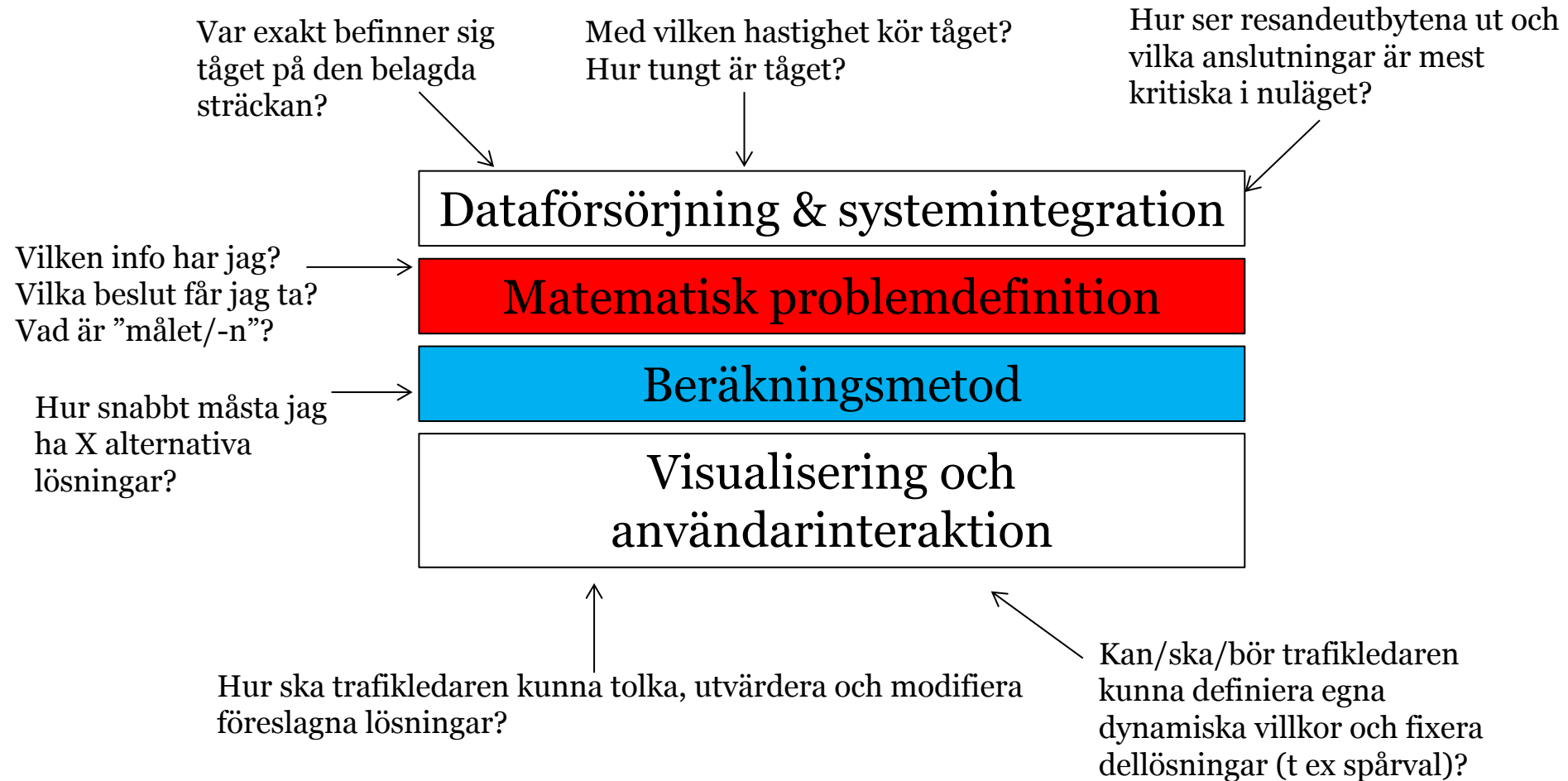
## **Ett enskilt tåg har en ”permanent”/kronisk försening**

- Ex: Tåg 535 (södergående snabbtåg) får en kronisk hastighetsnedsättning som medför ökade gångtider mellan Hässleholm och Malmö C.

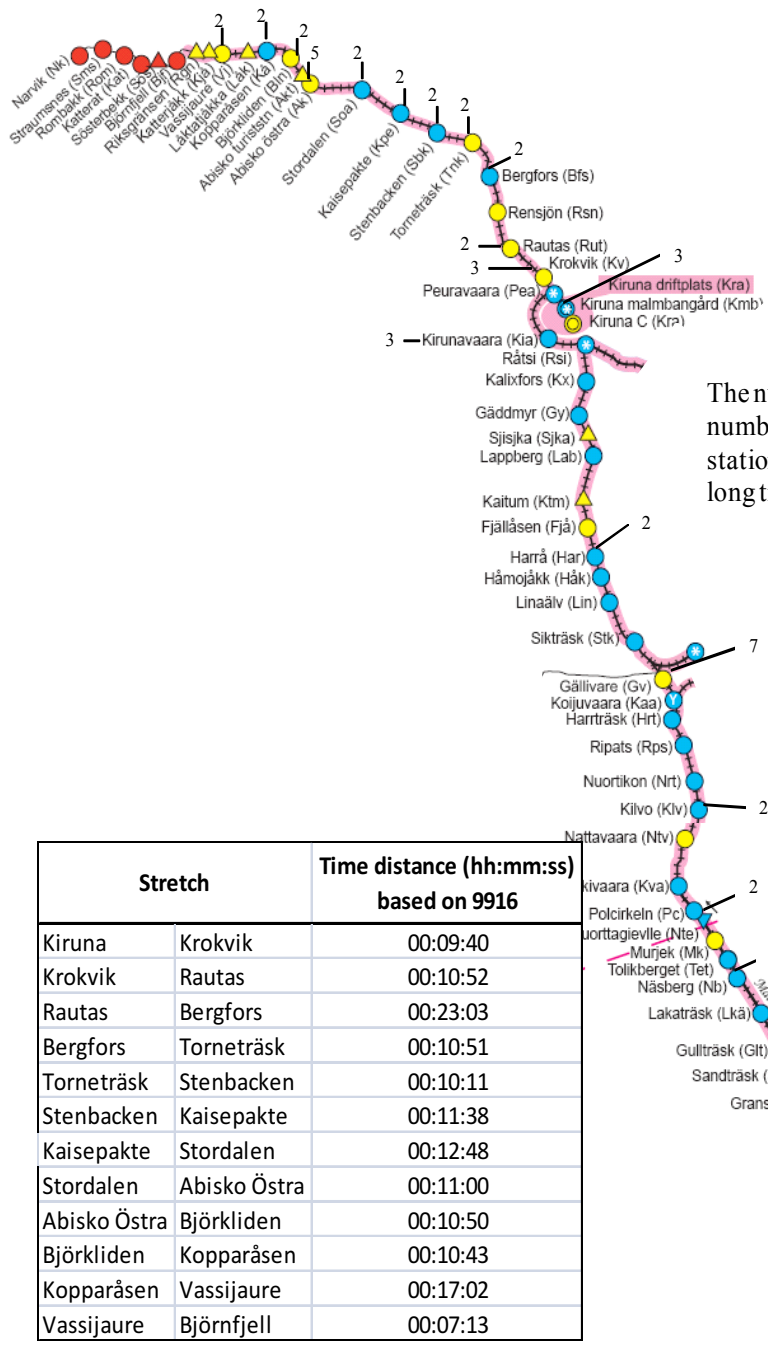
## **Infrastrukturfel, vilket drabbar alla tåg som passerar**

- Ex: Hastighetsnedsättning mellan Lund och Åkarp och alla tåg som passerar under en viss tidsperiod får en ökad gångtid.

# Optimerande beslutstöd - Några utmaningar



# FLOAT: Malmbanan - 1



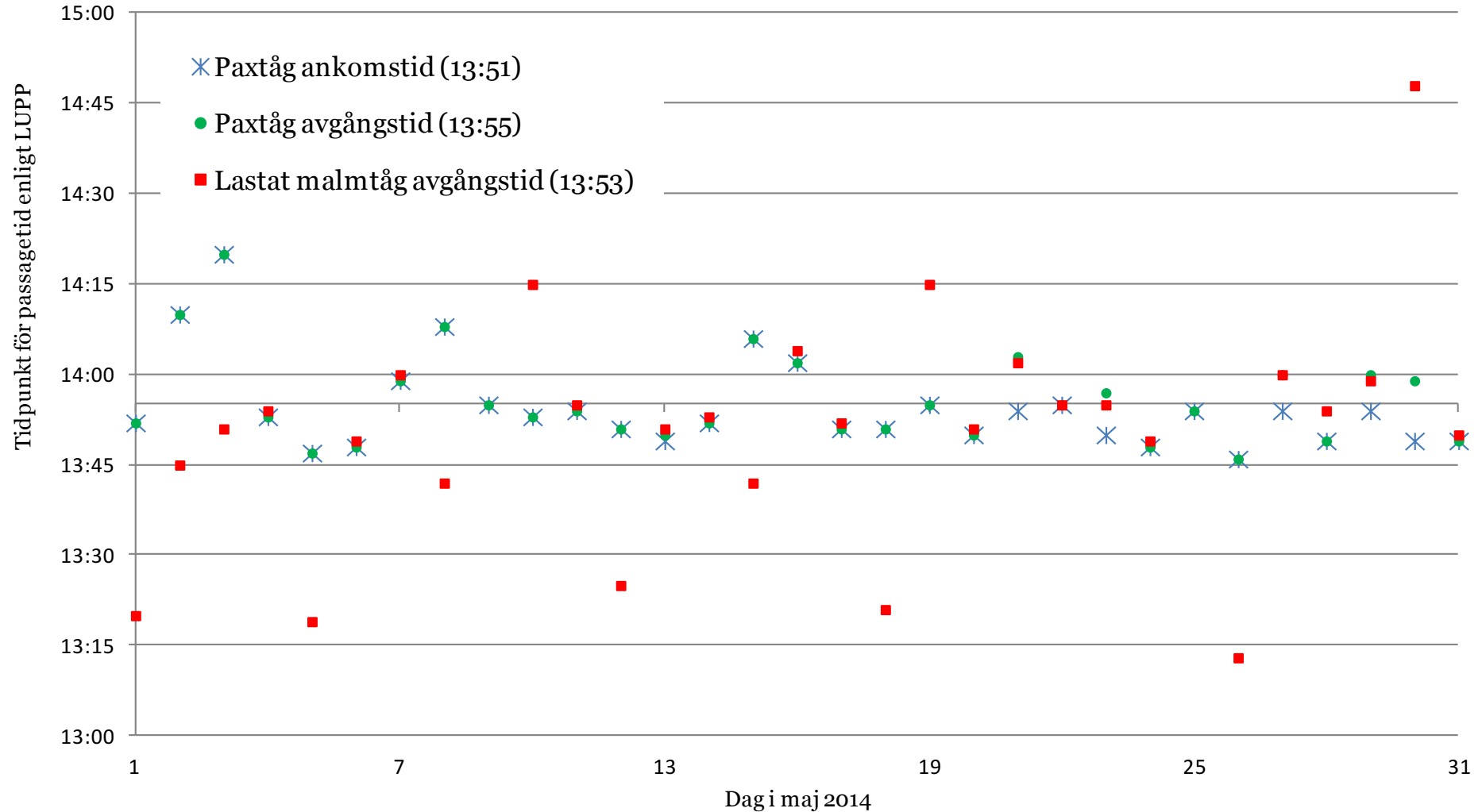
The numbers indicate the number of tracks on the stations that allows two 750 long trains to meet or pass.

- Enkelspårsbana mellan Narvik-Riksgränsen-Kiruna-Boden => Luleå. Fokus på T14
- I princip 4 klasser av tåg:
  - Lastade malmtåg (746m, 8160 ton, 60 km/h)
  - Olastade malmtåg (746m, 1470 ton, 70km/h)
  - Andra godståg (ex. 430m, 3400ton, 70 km/h)
  - Persontåg (160 km/h, 150m)
- Infrastrukturen tillåter inte att tåg av längden  $\approx 750m$  stannar för möte på alla stationer:
  - Restid RGN-KRA/KMB: ca 2h resp. 2.5h.
  - Ex. på tidsavstånd mellan driftplatser som tillåter möte mellan två långa malmtåg 20 och 25 min.



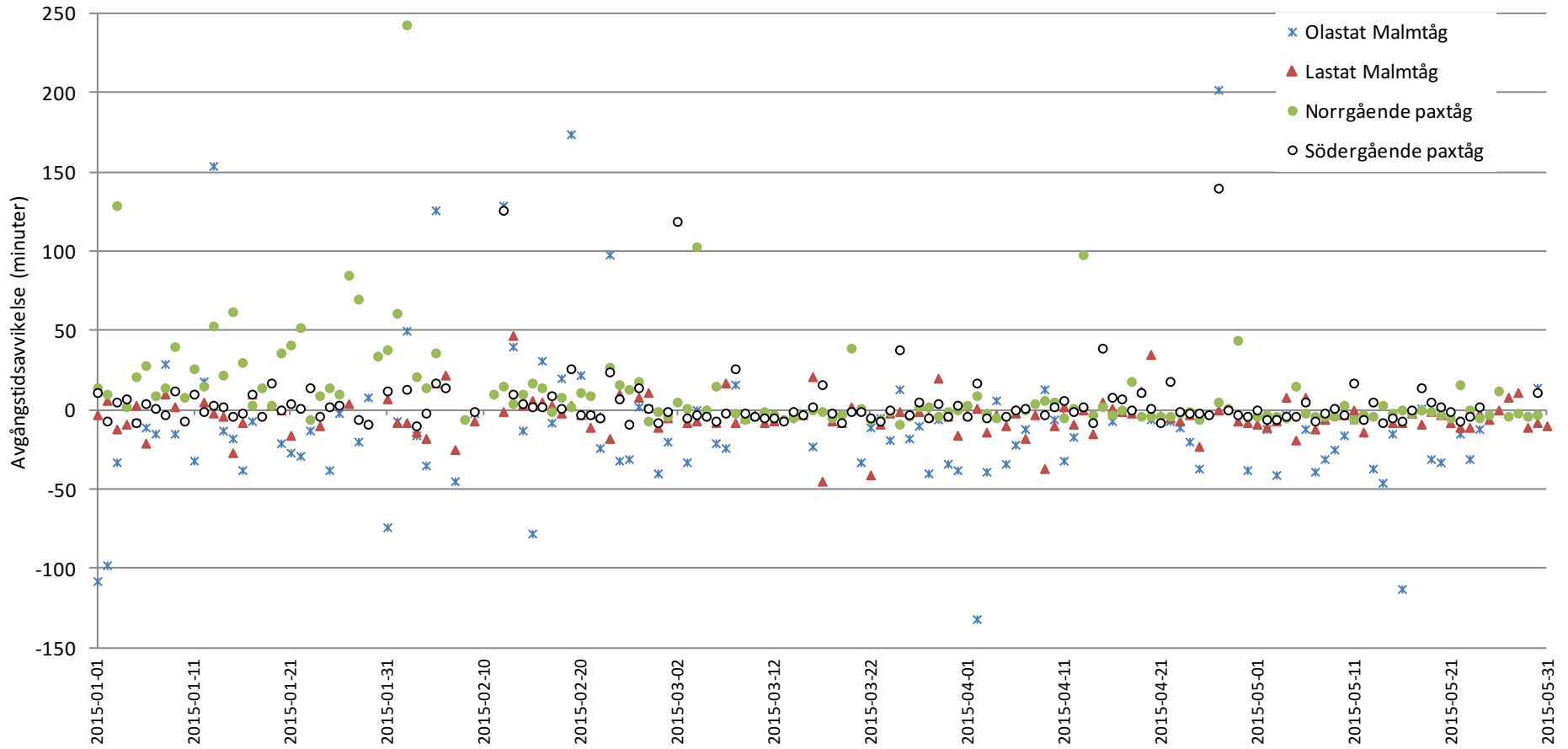
# FLOAT: Malmbanan - 2

Ankomst- & avgångstider för planerat möte i Kopparåsen under maj 2014



# FLOAT: Malmbanan - 3

Avgångstidsavvikelse i Torneträsk jan-maj 2015 för 4 olika tåg



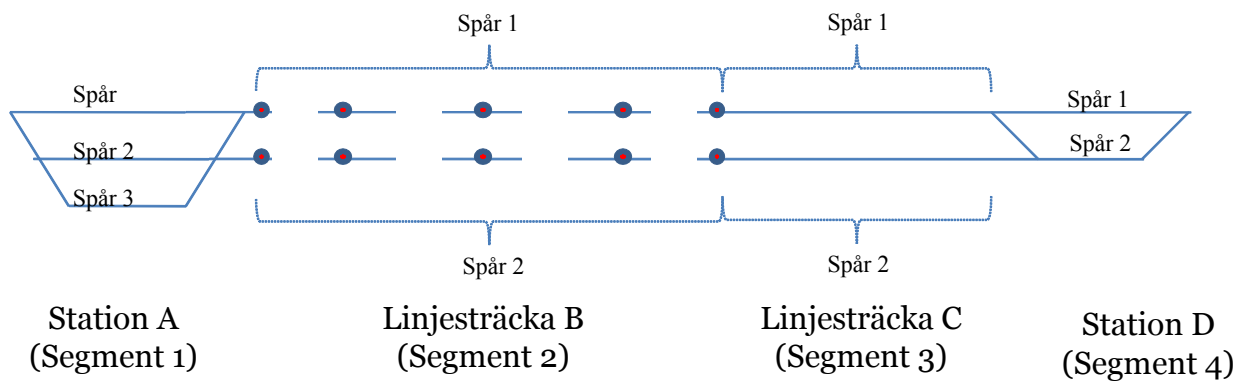
# FLOAT: Malmbanan - 4

Omplaneringsmetodens kan modifiera och ta beslut om:

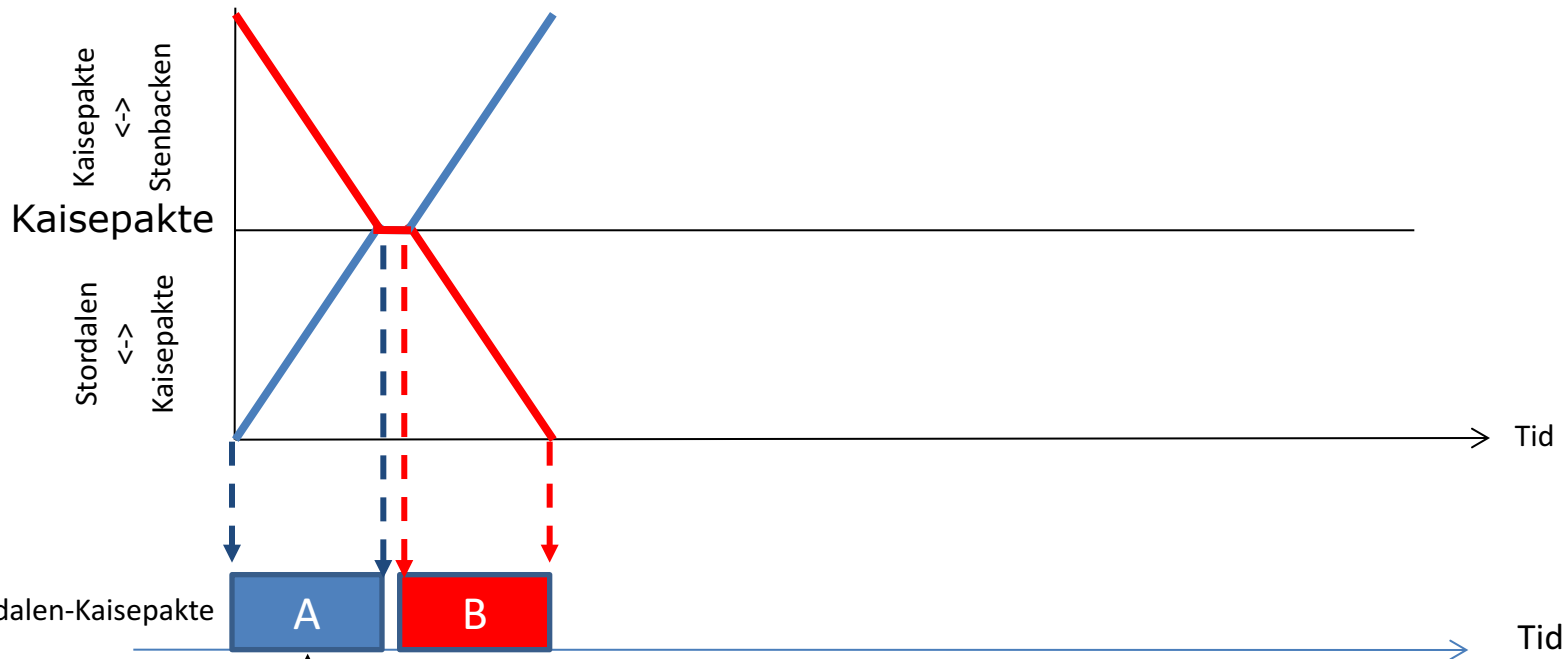
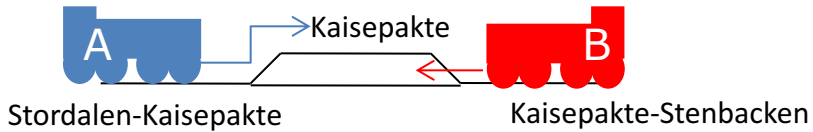
- **Tågens ankomst- och avgångstider**
- **Spårval** på linjen och stationer (inkl. plattformsväl)
- **Tågordningen** (inkl. möten och förbigångar)

Förbjuden samtidig infart (tidsseparering 2-4min).

Infrastrukturen beskrivs enligt nedan detaljnivå med utgångspunkt från Trainplan-datan:

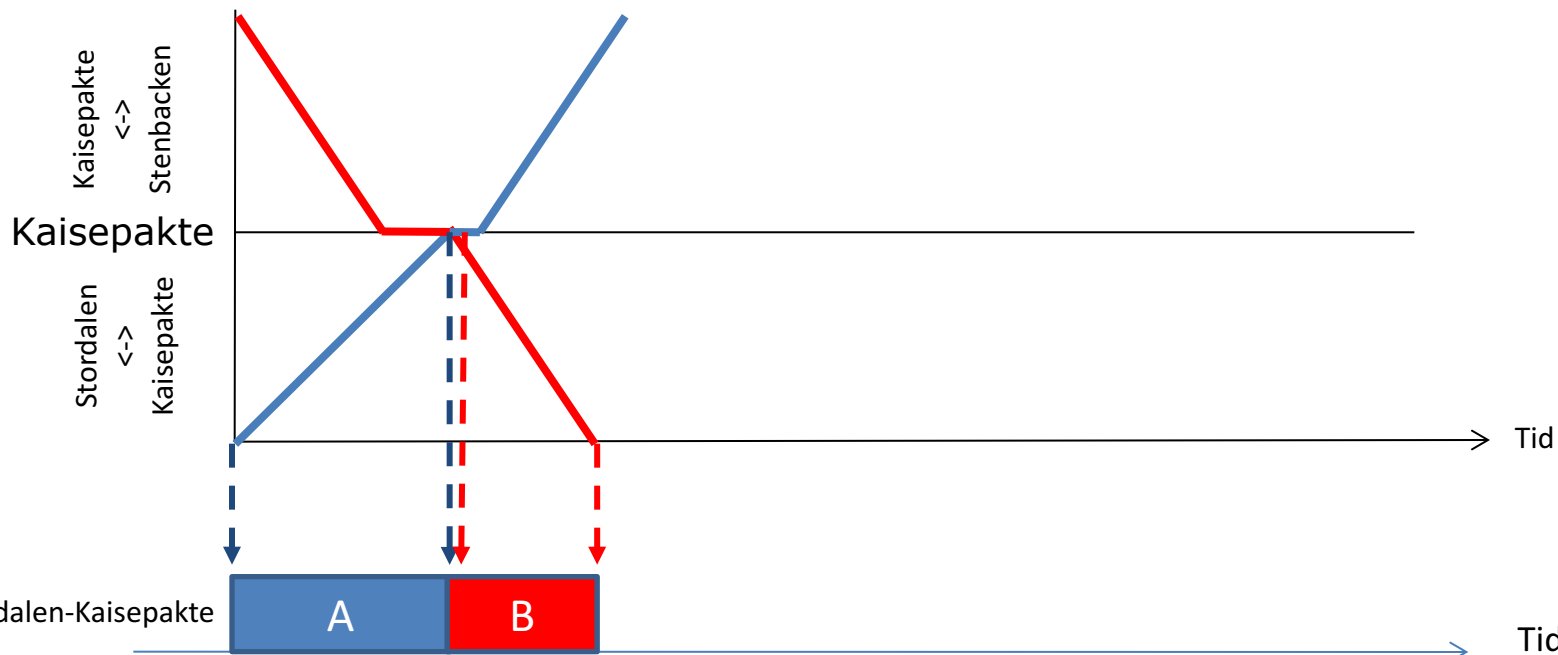
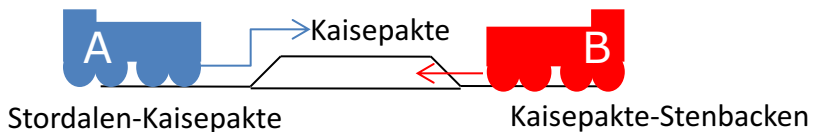


# Modellering av trafiken - 1



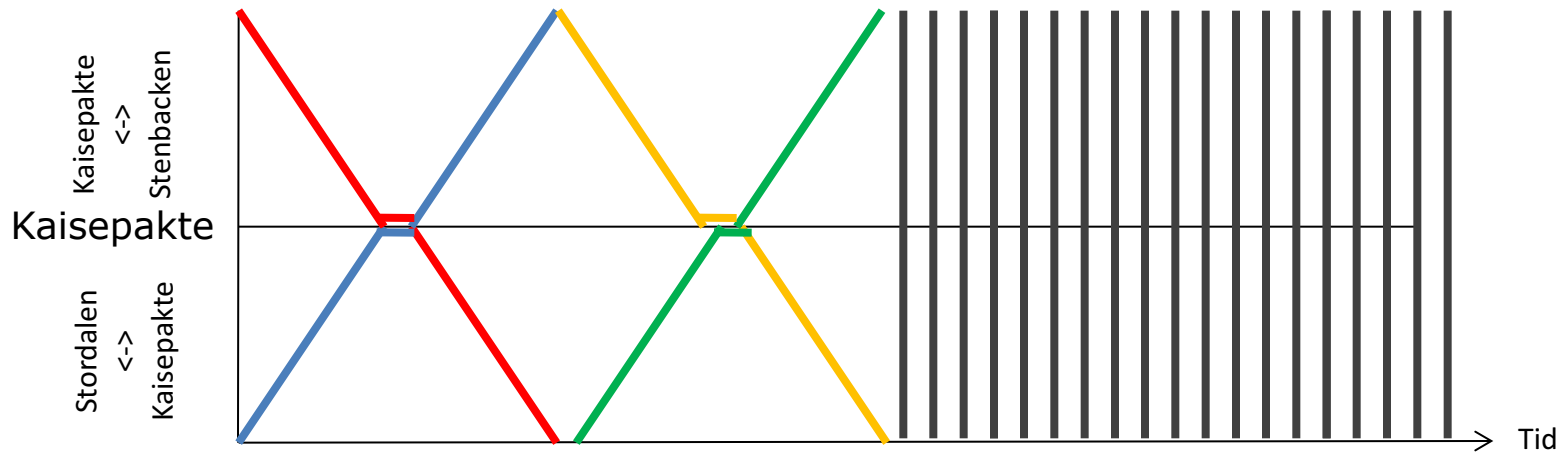
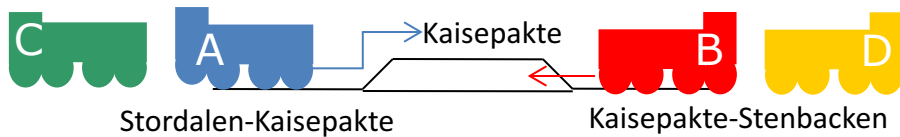
Ett tågläge/”en slot” kan betraktas som ett tidsfönster inom vilket ett specifikt tåg ska använda ett specifikt spår på en specifik bansträcka. Vi benämner det en ”event”. Dess längd anger dess varaktighet (körtiden) och är dynamisk men med ett minimivärde (den teoretiska minsta gångtiden på sträckan). Dess reella längd blir större om det uppstår köbildning och tåget får invänta på spåret bakom ett annat tåg.

# Modellering av trafiken - 2



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.

# Modellering av trafiken - 3



Banarbete kan läggas in som en enskild längre "slot"

# BTH En optimeringsmodell (urval)

Målfunktion:

Ex: Minimera den totala förseningen till slutstation för resp. tåg

$$q_{kt} = \begin{cases} 1, & \text{if event } k \text{ uses track } t, \text{ where } k \in L_j, t \in P_j, j \in B. \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$\gamma_{k\hat{k}} = \begin{cases} 1, & \text{if event } k \text{ occurs before event } \hat{k} \text{ (as in the initial timetable),} \\ & \text{where } k, \hat{k} \in L_j, j \in B: k < \hat{k}. \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$\lambda_{k\hat{k}} = \begin{cases} 1, & \text{if event } k \text{ is re-scheduled to occur after event } \hat{k}, \\ & \text{where } k, \hat{k} \in L_j, j \in B: k < \hat{k}. \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Varje tågslot måste använda exakt ett spår

$$\sum_{t \in P_j} q_{kt} = 1$$

Tåg som använder samma spår ska separeras i tid

$$q_{kt} + q_{\hat{k}t} - 1 \leq \lambda_{k\hat{k}} + \gamma_{k\hat{k}}$$

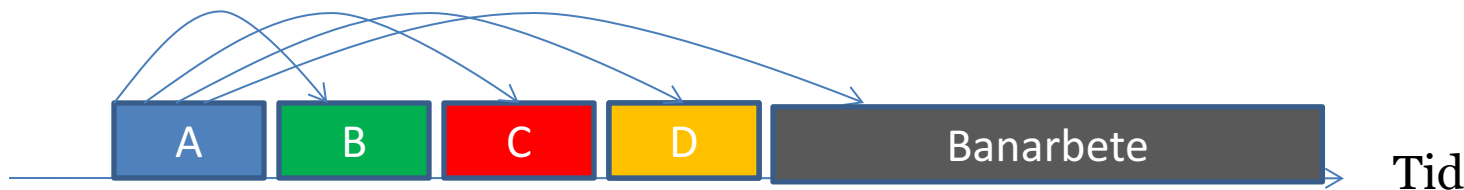
$$x_{\hat{k}}^{\text{begin}} - x_k^{\text{end}} \geq \Delta_j^M \gamma_{k\hat{k}} - M(1 - \gamma_{k\hat{k}})$$

$$x_{\hat{k}}^{\text{begin}} - x_k^{\text{end}} \geq \Delta_j^F \gamma_{k\hat{k}} - M(1 - \gamma_{k\hat{k}})$$

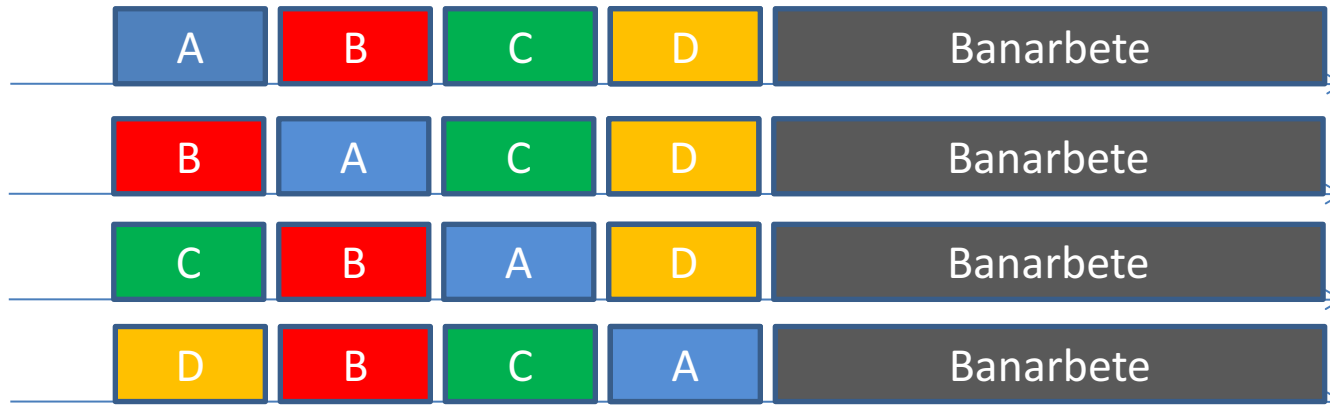
$$x_k^{\text{begin}} - x_{\hat{k}}^{\text{end}} \geq \Delta_j^M \lambda_{k\hat{k}} - M(1 - \lambda_{k\hat{k}})$$

$$x_k^{\text{begin}} - x_{\hat{k}}^{\text{end}} \geq \Delta_j^F \lambda_{k\hat{k}} - M(1 - \lambda_{k\hat{k}})$$

$$\lambda_{k\hat{k}} + \gamma_{k\hat{k}} \leq 1$$



# Många möjliga kombinationer finns..



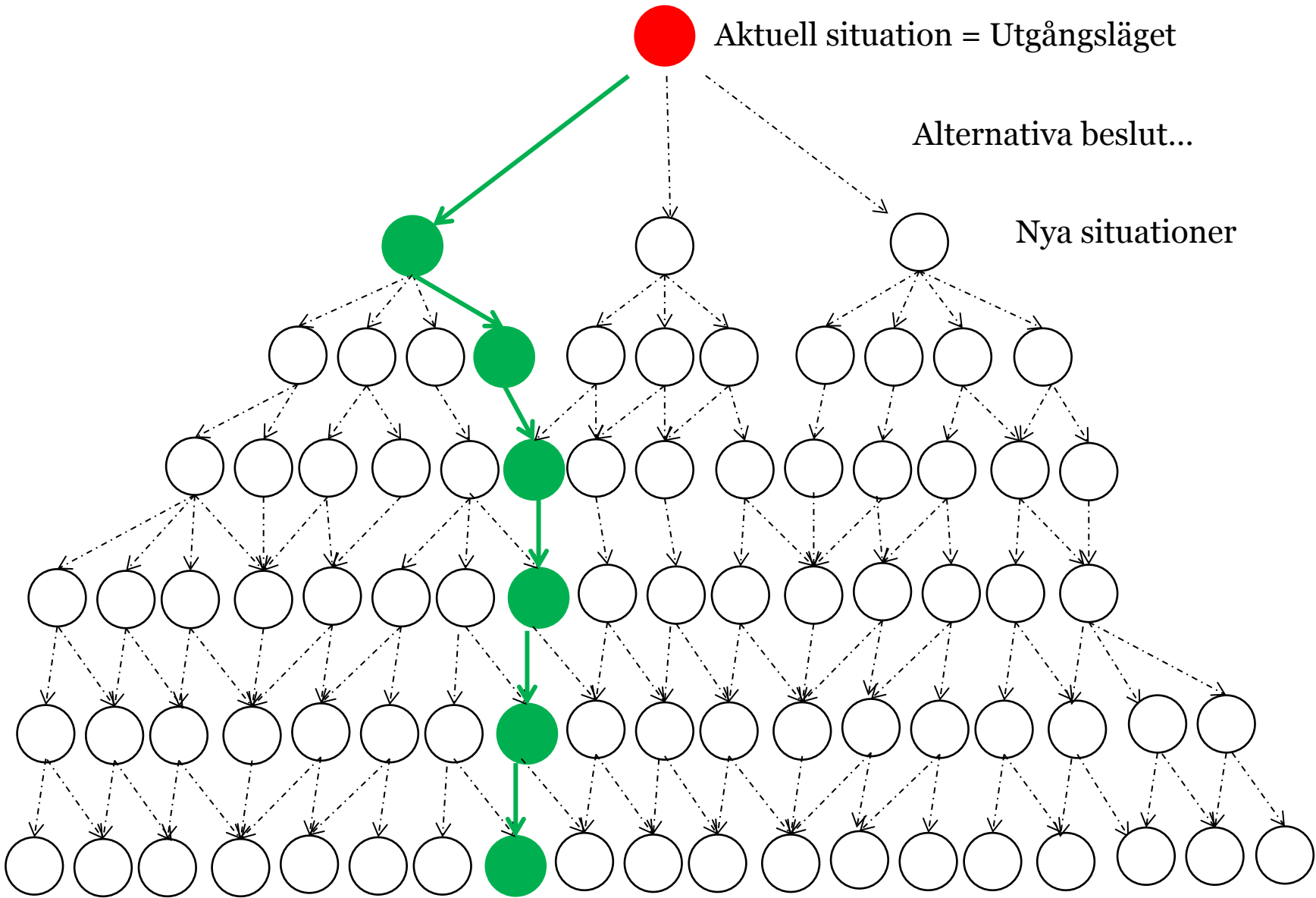
·  
·  
·  
OSV...

Därför finns det ett uppenbart behov av att:

- 1) dels identifiera de "irrelevanta" kombinationerna,
- 2) dels snabbt hitta "potentiellt lönsamma" kombinationer.



# Utmaningen: Hitta bra lösningar fort nog..



# Malmbanan: Scenarier

Scenarierna är baserade på trafiken den 28 maj 2014 och

planeringshorisonten är 4 timmar.

Scenario	T_0	Disturbance description	Problem size (#trains/#events)
1	14.41	Early and delayed iron ore trains: 9911 departs early (14.20 instead of 14.52 from Riksgränsen, 9914 departs delayed (14.46 instead of 14.10) from Bergfors, 9909 departs delayed from Bergfors (14:46 instead of 14:40)	113(46)/1234
2	14.41	Delayed iron ore trains: 9914 departs delayed (14.46 instead of 14.10) from Bergfors, 9909 departs delayed from Bergfors (14:46 instead of 14:40)	113(46)/1235
3	16.05	Iron ore train 9913 wants to depart 16.10 instead of 16:31 from Riksgränsen	113(41)/1201
4	16.05	9913 wants to depart 16.15 instead of 16:31 from Riksgränsen	113(41)/1201
5	16.25	9913 departs late, 16.36 instead of 16:31, from Riksgränsen	113(42)/1161
6	13.20	9914 departs minimum 10 min late from Kiruna	113(42)/1136
7	13.20	9914 departs minimum 15 min late from Kiruna	113(42)/1136
8	13.20	9914 departs minimum 20 min late from Kiruna	113(42)/1136
9	13.20	Paxtrain 93 arrives late (13.45 instead of 13:29) to Riksgränsen	113(42)/1136
10	13.20	Paxtrain 93 arrives late (13.55 instead of 13:29) to Riksgränsen	113(42)/1136
11	10.30	Pax trains 96 departs late (10.45 instead of 10.36) from Luleå.	113(34)/921
12	10.55	Paxtrains 96 departs late (11.12 instead of 11.02) from Boden.	113(36)/954
13	09.34	Pax train 7155 departs late (09.50 instead of 9.41) from Kiruna	113(34)/831
14	10.25	Pax train 7155 arrives late to Linträsk (10.45 instead of 10:33)	113(34)/932
15	13.30	Pax train 93 get a suddden 45min stop between Riksgränsen-Katterjåk.	113(45)/1160
16	12.42	Iron ore train 9909 get a suddden 45min stop between Riksgränsen-Katterjåk.	113(46)/1223
17	13.35	Paxtrain 93 get a suddden 45min stop between Katterjåk-Vasserjaure.	113(47)/1176
18	12.44	Iron ore train 9909 get a suddden 45min stop between Katterjåk-Vasserjaure	113(44)/1218
19	12.10	Pax train 7155 gets a 45 min stop between Lakaträsk and Gullträsk.	113(44)/1137
20	13.30	Freigt train 9231 gets a 45 min stop between Lakaträsk and Gullträsk.	113(46)/1240

Flera  
avvikande  
tåg

Tidiga  
tåg

Mindre initiala  
förseningar

Förseningar  
och planerade  
korta  
banarbeten

# Malmbanan: Scenarier

Scenarierna är baserade på trafiken den 28 maj 2014 och planeringshorisonten är 4 timmar.

Flera  
avvikande  
tåg

Tidiga  
tåg

Mindre initiala  
förseningar

Förseningar  
och planerade  
korta  
banarbeten

Scenario	T_0	Scenario
1	14.41	Tåg 9911 avgång Riksgränsen kl 14:20 istället för kl 14:52. Tåg 9909 avgång Bergfors 14:46 istället för kl 14:40. Tåg 9914 avgång Bergfors 14:46 istället för kl 14:10.
2	14.41	Tåg 9909 avgång Bergfors 14:46 istället för kl 14:40. Tåg 9914 avgång Bergfors 14:46 istället för kl 14:10.
3	16.05	9913 vill avgå 16.10 istället för 16:31 från RGN
4	16.05	9913 vill avgå 16.15 istället för 16:31 från RGN
5	16.25	9913 avgår lite sent 16.46 istället för 16:31 från RGN
6	13.20	9914 blir minst 10 min sent fr. KMB.
7	13.20	9914 blir minst 15 min sent fr. KMB.
8	13.20	9914 blir minst 20 min sent fr. KMB.
9	13.20	Tåg 93 är försenad ankomst till RGN kl 13.45 (kl istället för 13:29)
10	13.20	Tåg 93 är försenad ankomst till RGN kl 13.55 (kl istället för 13:29)
11	10.30	Tåg 96 avgår sent kl 10.45 från Luleå istället för kl 10.36
12	10.55	Tåg 96 avgår sent 11.12 från Boden istället för kl 11.02
13	09.34	Tåg 7155 avgår sent kl 9.50 från KMB (9.41)
14	10.25	Tåg 7155 ankommer sent till LIN kl 10.45 istället för 10:33
15	13.30	Tåg 93 får stopp 45min mellan stationerna Riksgränsen-Katterjåk pga ren på spår
16	12.42	Tåg 9909 får stopp 45min mellan stationerna Riksgränsen-Katterjåk pga ren på spår
17	13.35	Tåg 93 får stopp 45min mellan stationerna Katterjåk-Vasserjaure pga ren på spår
18	12.44	Tåg 9909 får stopp 45min mellan stationerna Katterjåk-Vasserjaure pga ren på spår
19	12.10	Tåg 7155 får stopp mellan Lakaträsk och Gullträsk på 45min
20	13.30	Tåg 9231 får stopp mellan Lakaträsk och Gullträsk på 45min

# BTH Malmbanan: Centrala antaganden - 1

Vi har ett antal huvudsakliga antaganden:

Tidtabellstekniska uppehåll kan förläggas på annan (tillåten) driftplats eller utebli och gångtiderna justeras då för de uteblivna behoven av tidstillägg som ges av planen.

# BTH Malmbanan: Centrala antaganden - 2

Vi har ett antal huvudsakliga antaganden:

Tidtabellstekniska uppehåll kan förläggas på annan (tillåten) driftplats eller utebli och gångtiderna justeras då för de uteblivna behoven av tidstillägg som ges av planen.

**Tidstillägg för oplanerade uppehåll: Malmtågen får ett tidspåslag med 2+2 minuter för att kompensera inbromsning samt acceleration. Detta tidspåslag läggs på minimigångtiden för den specifika linjesträcka och det specifika tåget.**

# BTH Malmbanan: Centrala antaganden - 3

Vi har ett antal huvudsakliga antaganden:

Tidtabellstekniska uppehåll kan förläggas på annan (tillåten) driftplats eller utebli och gångtiderna justeras då för de uteblivna behoven av tidstillägg som ges av planen.

Tidstillägg för oplanerade uppehåll: Malmtågen får ett tidspåslag med 2+2 minuter för att kompensera inbromsning samt acceleration. Detta tidspåslag läggs på minimigångtiden för den specifika linjesträckan och det specifika tåget.

Lastade malmtåg tillåts stanna på driftplatserna (om spårets längd tillåter detta vid möten/förbigångar) men det är förenat med de tidspåslag som framgår av 2).

# BTH Malmbanan: Centrala antaganden - 4

Vi har ett antal huvudsakliga antaganden:

Tidtabellstekniska uppehåll kan förläggas på annan (tillåten) driftplats eller utebli och gångtiderna justeras då för de uteblivna behoven av tidstillägg som ges av planen.

Tidstillägg för oplanerade uppehåll: Malmtågen får ett tidspåslag med 2+2 minuter för att kompensera inbromsning samt acceleration. Detta tidspåslag läggs på minimigångtiden för den specifika linjesträckan och det specifika tåget.

Lastade malmtåg tillåts stanna på driftplatserna (om spårets längd tillåter detta vid möten/förbigångar) men det är förenat med de tidspåslag som framgår av 2).

**Tidsseparering vid användning av samma spår på driftplats resp. linjen: 30s mellan utfart av tåg A och infart av tåg B.**

# BTH Malmbanan: Centrala antaganden - 5

Vi har ett antal huvudsakliga antaganden:

Tidtabellstekniska uppehåll kan förläggas på annan (tillåten) driftplats eller utebli och gångtiderna justeras då för de uteblivna behoven av tidstillägg som ges av planen.

Tidstillägg för oplanerade uppehåll: Malmtågen får ett tidspåslag med 2+2 minuter för att kompensera inbromsning samt acceleration. Detta tidspåslag läggs på minimigångtiden för den specifika linjesträckan och det specifika tåget.

Lastade malmtåg tillåts stanna på driftplatserna (om spårets längd tillåter detta vid möten/förbigångar) men det är förenat med de tidspåslag som framgår av 2).

Tidsseparering vid användning av samma spår på driftplats resp. linjen: 30s mellan utfart av tåg A och infart av tåg B.

**Förbjuden samtidig infart på samtliga driftplats: Infarterna ska tidsepareras med 2 minuter om det är ett persontåg som ska stanna och 4 minuter om det är ett godståg som ska stanna för möte. (Baserat på empirisk data).**



# Malmbanan: Några resultat - 1

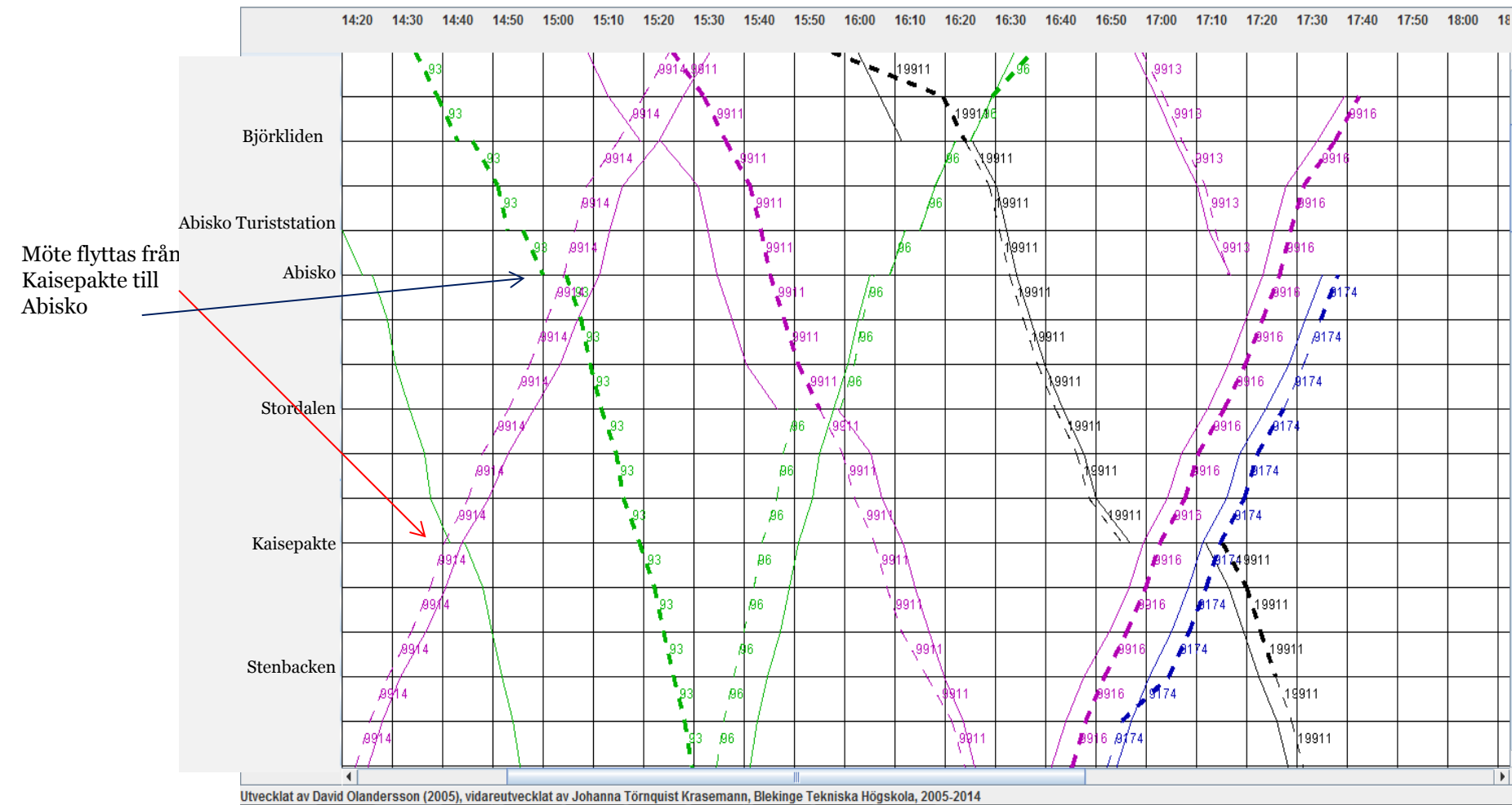
Omplaneringsproblemet är matematiskt formulerat i AMPL och löst med CPLEX 12.5 från IBM med upp till 8 trådar på en server med 4 processors (2 GHz), 24 GB of RAM och GNU/Linux 3.2.0-x86-64.

Scenario	Minimering av försening > 3 minuter, dvs. målfunktion $\Sigma TFD+3$					Minimering av försening > 3 minuter vid kommersiella uppehåll och slutstation, dvs. målfunktion $\Sigma TDC+3$				
	Lösningstid(s) med Cplex	Optimalvärde $\Sigma TFD+3$ (s)	Värde på $\Sigma TDC+3$ (s)	Specifika tåg försenade +3min (TFD+3)	Antal extrastopp för lastade malmtåg	Lösningstid(s) med Cplex	Värde på $\Sigma TFD+3$ (s)	Optimalvärde $\Sigma TDC+3$	Specifika tåg försenade +3min (TFD+3)	Antal extrastopp för lastade malmtåg
1	45,86	1545	4449	9914	2	34,8	1545	1545	9914	1
2	34,42	1245	5220	9914	2	38,71	1245	1459	9914	0
3	37,54	0	880	-	0	34,68	0	0	-	1
4	33,72	0	4065	-	0	19,9	0	0	-	0
5	29,78	192	3486	96	-1	21,58	192	576	96	-1
6	17,35	0	2808	-	-1	25,43	0	541	-	1
7	2,69	150	4775	9914	-1	22,87	150	323	9914	0
8	27,3	450	4277	9914	0	16,14	545	545	9914	0
9	21,56	0	6084	-	3	23,25	763	3313	9912 (936), 9914(187)	4
10	22,3	0	11375	-	-1	36,63	28	7343	9912	1
11	1,6	0	656	-	-3	6,53	0	458	-	3
12	2,06	0	645	-	1	9,55	0	420	-	0
13	1,21	0	220	-	0	1,14	0	30	-	0
14	14,55	0	1773	-	-3	1,85	0	948	-	-4
15	60,5	1593	16006	93 (793), 7156 (208), 9912(1132)	2	43,07	1875	13315	93 (667) 9912 (1132) 9914 (616)	2
16	11,34	363	2257	9909	1	22,9	363	363	9909	-1
17	15,75	3225	16634	93(2579) 9912 (1006)	2	34,15	3595	12152	93 (2579) 9912 (1036) 9914 (520)	2
18	24,63	363	7207	9909	0	16,24	363	2883	9909	1
19	2,74	2301	11774	7155	-1	16,86	2315	9262	7155	1
20	21,79	1918	2697	9231	0	22,11	1918	1918	9231	0

Den andra kolumnen anger beräkningstiden för att finna optimallösningen. TFD+3 innebär att endast förseningar vid slutstation och som är över 3 minuter inkluderas. TDC+3 inkluderar även förseningar över 3 minuter vid kommersiella stopp (dvs. uppehåll).

# Malmbanan: Några resultat - 2

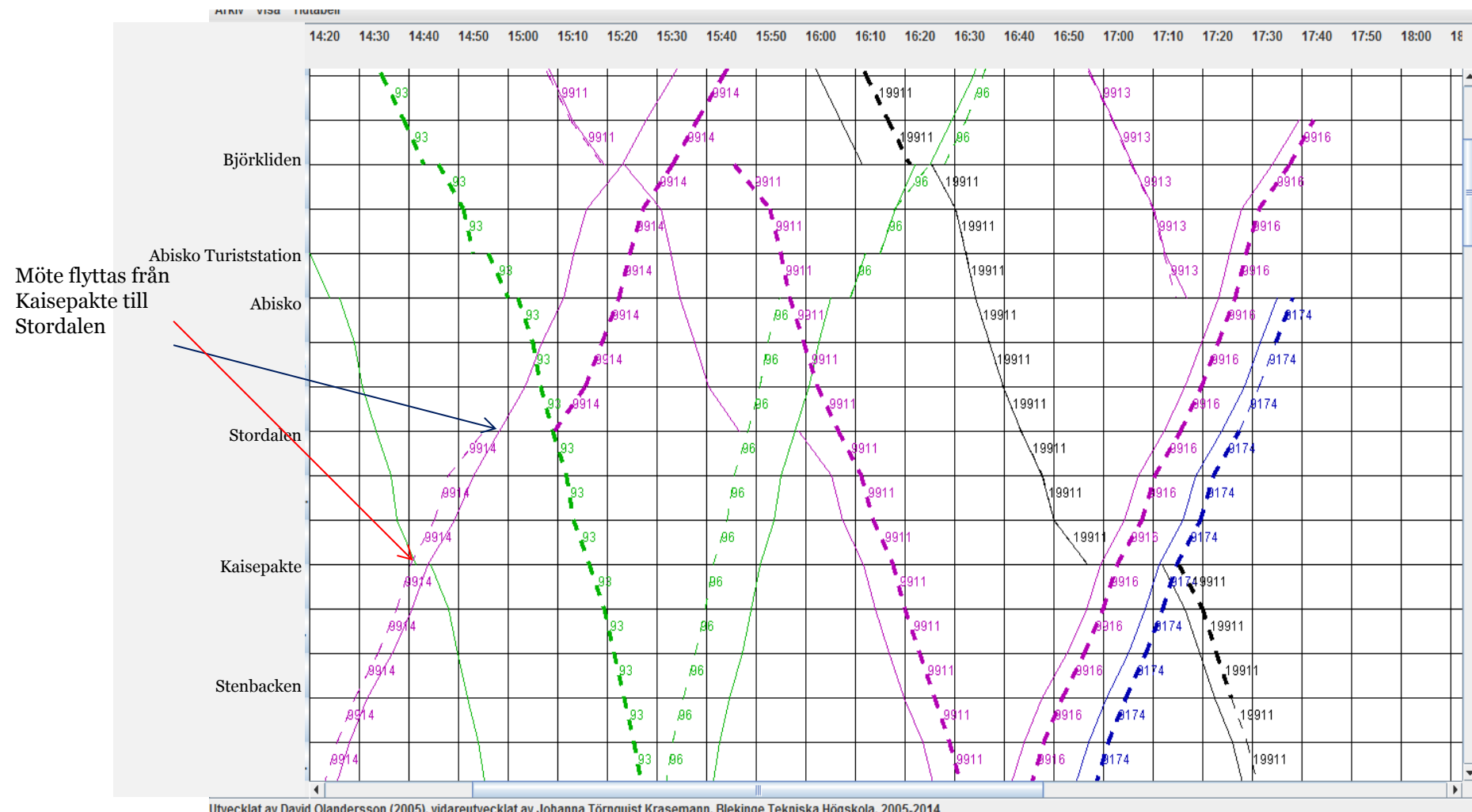
Scenario 15: Paxtåg 93 får stopp (minimum 45 min) mellan Riksgränsen och Katterjåk. Hur bör vi planera 4h framåt? **FÖRSLAG 1** nedan.



Minimera försening +3min till "slutstation"

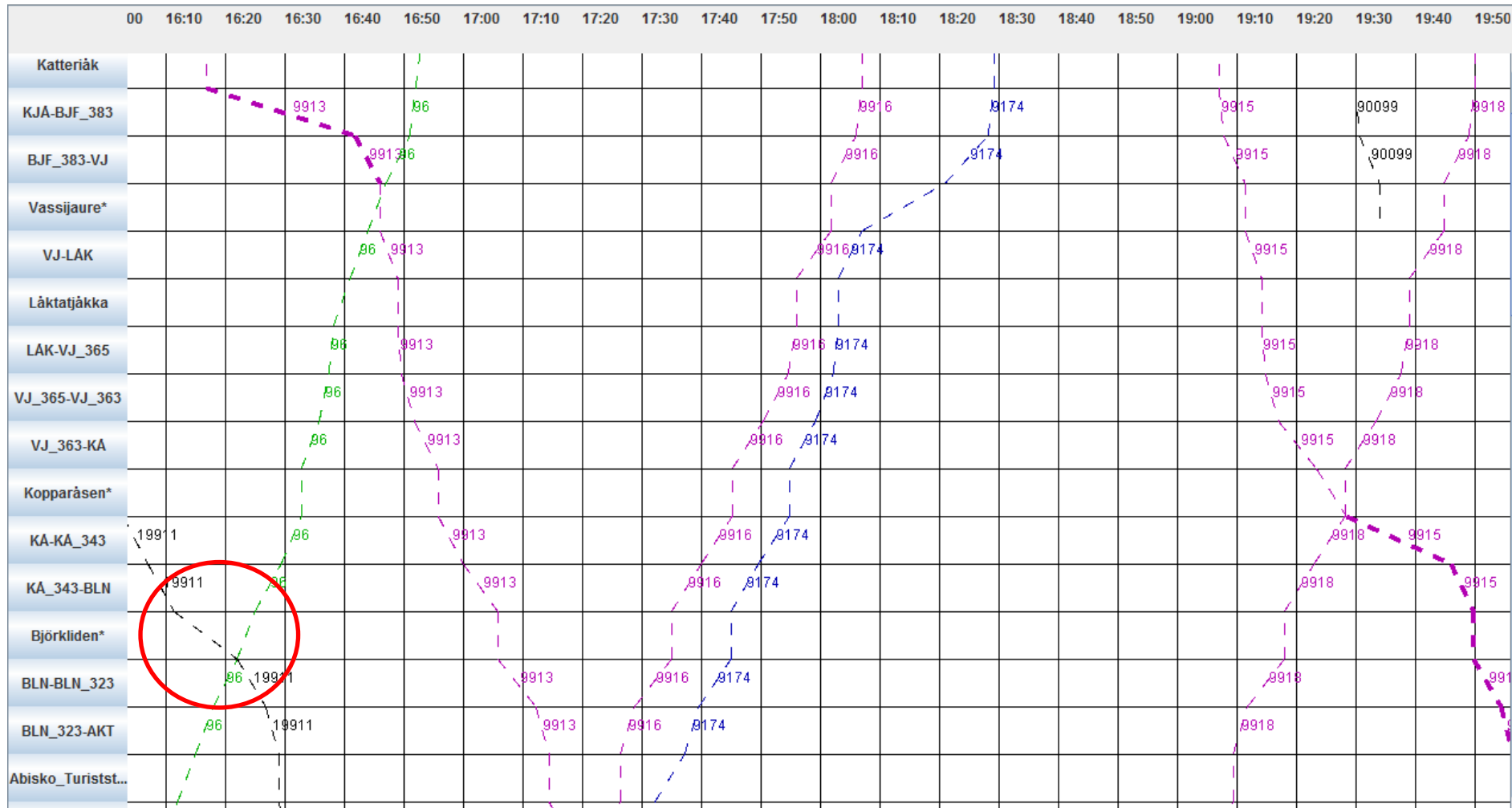
# Malmbanan: Några resultat - 3

Scenario 15: Paxtåg 93 får stopp (minimum 45 min) mellan Riksgränsen och Katterjåk. Hur bör vi planera 4h framåt? **FÖRSLAG 2 nedan**



# Malmbanan: Några resultat - 4

Ett snitt från en omplaneringslösning i scenario 3 där planen för det olastade malmtåget 19911 genom stationen Björkliden inte är optimal sett utifrån ett eco-driving perspektiv.



# Malmbanan: Några resultat - 5

Omplaneringsproblemet är nu istället matematiskt formulerat direkt implementerad java och löst med Gurobi 6.5.1 (fullvärdig akademisk licens) installerad på en HP Zbook 15 G2 med en 4-kärnig Intel Core i7 som möjliggör 8 trådar.

Jämför beräkningstiden för de alternativa lösarna i de rödmarkerade kolumnerna.

De löses samma problem, därav samma optimalvärde i kolumn 2.

Scenario	Minimering av försening > 3 minuter, dvs. målfunktion $\Sigma TFD+3$				
	Optimalvärde $\Sigma TFD+3$ (s)	Lösningstid (s) med CPLEX	Värde på $\Sigma TDC+3$ (s) med CPLEX	Lösningstid (s) med Gurobi	Värde på $\Sigma TDC+3$ (s) med Gurobi
1	1545	45,86	4449	9,52	6414
2	1245	34,42	5220	3,87	4259
3	0	37,54	880	5,46	1745
4	0	33,72	4065	5,09	2610
5	192	29,78	3486	3,81	3885
6	0	17,35	2808	3,97	3049
7	150	2,69	4775	4,17	4724
8	450	27,3	4277	6,39	5363
9	0	21,56	6084	3,59	8100
10	0	22,3	11375	6,07	8002
11	0	1,6	656	1,61	1442
12	0	2,06	645	1,78	1064
13	0	1,21	220	1,46	1781
14	0	14,55	1773	2,6	1530
15	1593	60,5	16006	4,92	14606
16	363	11,34	2257	3,12	5703
17	3225	15,75	16634	5,78	16558
18	363	24,63	7207	2,68	4734
19	2301	2,74	11774	2,76	14114
20	1918	21,79	2697	3,49	9485

# Slutsatser och fortsatt arbete - 1

Med hjälp av kommersiella lösare såsom såsom Cplex eller Gurobi och en matematisk modell så går det att relativt snabbt (2-10 s) att omplanera trafiken på banan Riksgränsen-Kiruna-Boden-Luleå fyra timmar framåt. Resultaten från experimenten visar dock att lösningstiden varierar betydligt beroende på scenariernas egenskaper, vilket skapar en viss osäkerhet.

# Slutsatser och fortsatt arbete - 2

Med hjälp av kommersiella lösare såsom såsom Cplex eller Gurobi och en matematisk modell så går det att relativt snabbt (2-10 s) att omplanera trafiken på banan Riksgränsen-Kiruna-Boden-Luleå fyra timmar framåt. Resultaten från experimenten visar dock att lösningstiden varierar betydligt beroende på scenariernas egenskaper, vilket skapar en viss osäkerhet.

Vilken målfunktion som används har stor betydelse för framför allt de tåg som avgår före sin tidtabell på denna bana. Traditionellt sett så "straffar" man bara förseningar i denna typ av metoder medan det alltså kan finnas behov av att "fösa fram" tåget så länge det inte är i konflikt med annan trafik och orsakar förseningar.

# Slutsatser och fortsatt arbete - 3

Med hjälp av kommersiella lösare såsom såsom Cplex eller Gurobi och en matematisk modell så går det att relativt snabbt (2-10 s) att omplanera trafiken på banan Riksgränsen-Kiruna-Boden-Luleå fyra timmar framåt. Resultaten från experimenten visar dock att lösningstiden varierar betydligt beroende på scenariernas egenskaper, vilket skapar en viss osäkerhet.

Vilken målfunktion som används har stor betydelse för framför allt de tåg som avgår före sin tidtabell på denna bana. Traditionellt sett så "straffar" man bara förseningar i denna typ av metoder medan det alltså kan finnas behov av att "fösa fram" tåget så länge det inte är i konflikt med annan trafik och orsakar förseningar.

Det är sannolikt svårt/omöjligt att definiera en målfunktion och lösningsmetod som fungerar för alla tillfällen utan ett antal parallella processer kan krävas med olika målfunktioner för att på så sätt få ett stabilare system som också kan ta hänsyn till flera olika perspektiv samtidigt. Varje lösnings konsekvenser och egenskaper bör också mätas baserat på ett antal relevanta nyckeltal för att enklare kunna jämföra och bedöma lösningarna.



# Slutsatser och fortsatt arbete - 5

Eftersom det är en enkelspårsträcka där tidsavstånden mellan möjliga mötes-/förbigångsstationer är ganska stora finns det mycket marginal i tågens tidtabeller, i synnerhet de olastade malmtågens. Tidtabellen är därför mycket störningstålig i det avseendet och mhja effektiv omplanering så kan tidtabellen absorbera ganska stora temporära avvikelser.

Eftersom det är en enkelspårsträcka där tidsavstånden mellan möjliga mötes-/förbigångsstationer är ganska stora finns det mycket marginal i tågens tidtabeller, i synnerhet de olastade malmtågens. Tidtabellen är därför mycket störningstålig i det avseendet och mhja effektiv omplanering så kan tidtabellen absorbera ganska stora temporära avvikelser.

Intervjuer gjordes med personalen i Boden i september 2015 där det framgick att det finns en betydande mängd (kända) tekniska och organisatoriska utmaningar (redovisas i slutrapporten).

Det som därför verkar mest relevant att arbeta vidare med i nuläget utifrån Trafikverkets behov och förutsättningar på den nämnda banan är två funktioner:

Eftersom det är en enkelspårsträcka där tidsavstånden mellan möjliga mötes-/förbigångsstationer är ganska stora finns det mycket marginal i tågens tidtabeller, i synnerhet de olastade malmtågens. Tidtabellen är därför mycket störningstålig i det avseendet och mhja effektiv omplanering så kan tidtabellen absorbera ganska stora temporära avvikelser.

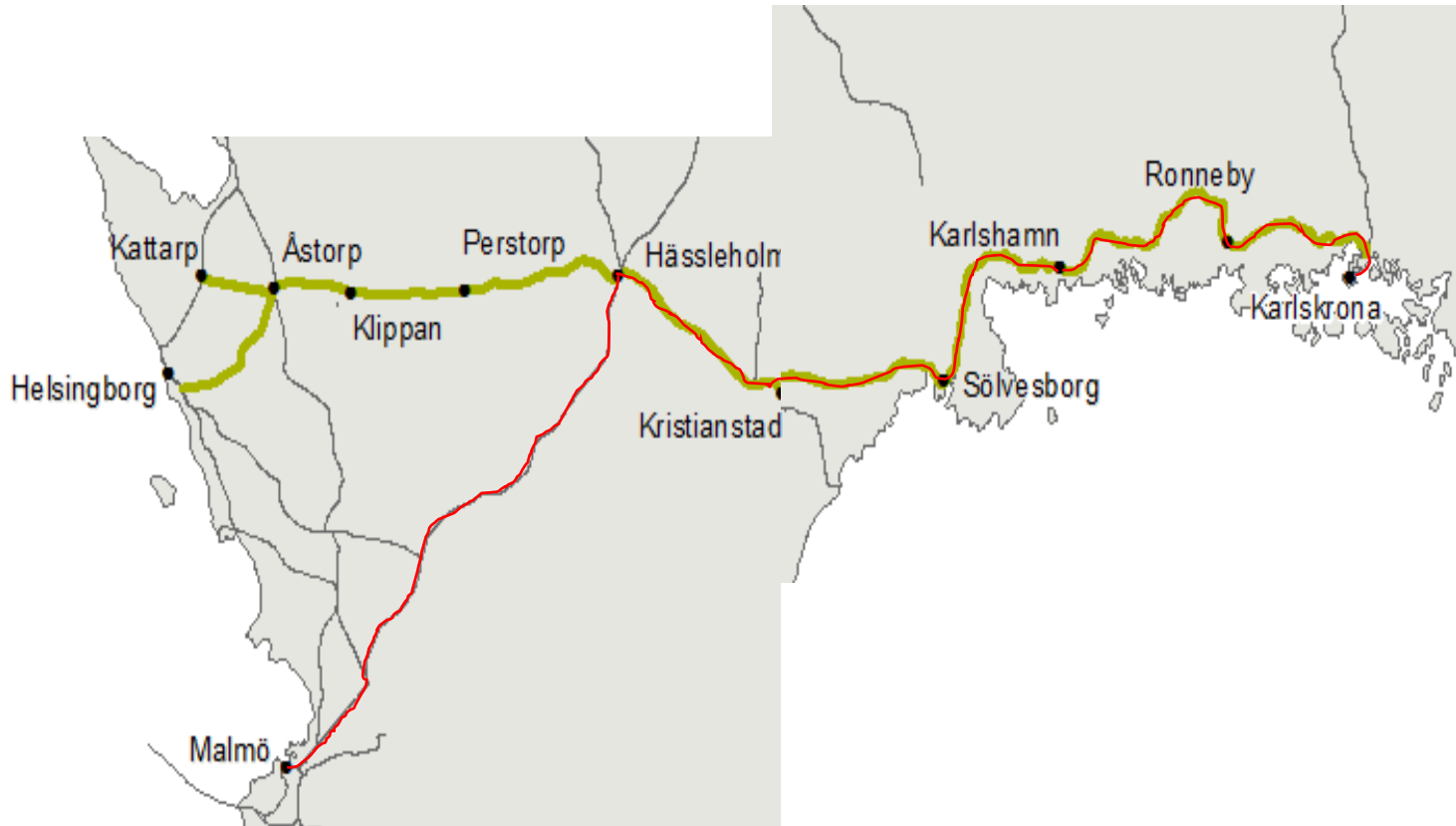
Intervjuer gjordes med personalen i Boden i september 2015 där det framgick att det finns en betydande mängd (kända) tekniska och organisatoriska utmaningar (redovisas i slutrapporten).

Det som därför verkar mest relevant att arbeta vidare med i nuläget utifrån Trafikverkets behov och förutsättningar på den nämnda banan är två funktioner:

1) En leverans kvalitetssäkrande funktion som kan putsa till och trimma planen och konfliktreglera tågplanen mm när den går över till trafikledningen från korttidsplaneringen, samt

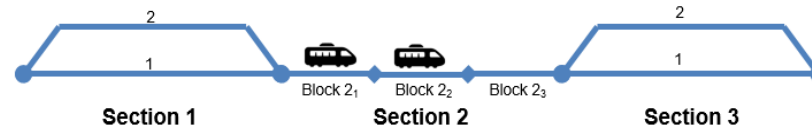
2) En konsekvensanalytisk funktion som i realtid "bedömer" aktuell plan och dess sannolika konsekvenser över tiden samt som ev. föreslår mindre justeringar av planen vid behov.

# FLOAT delstudie 2: Södra Stambanan och Blekinge Kustbana

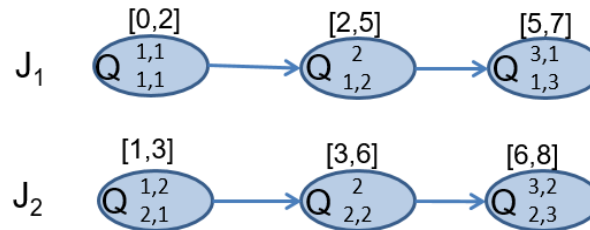


# FLOAT delstudie 2: Södra Stambanan och Blekinge Kustbana - 1

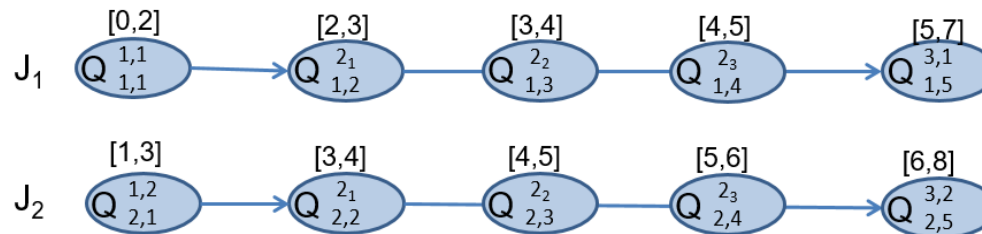
Gholami, O. (2017), "A mixed graph model based train re-scheduling algorithm", working paper to be submitted for publication.



(A) Section 2 with three blocks



(B) Normal representation of sections with a phantom conflict



(C) Resolving the phantom conflict by dividing an operation into three sub-operations

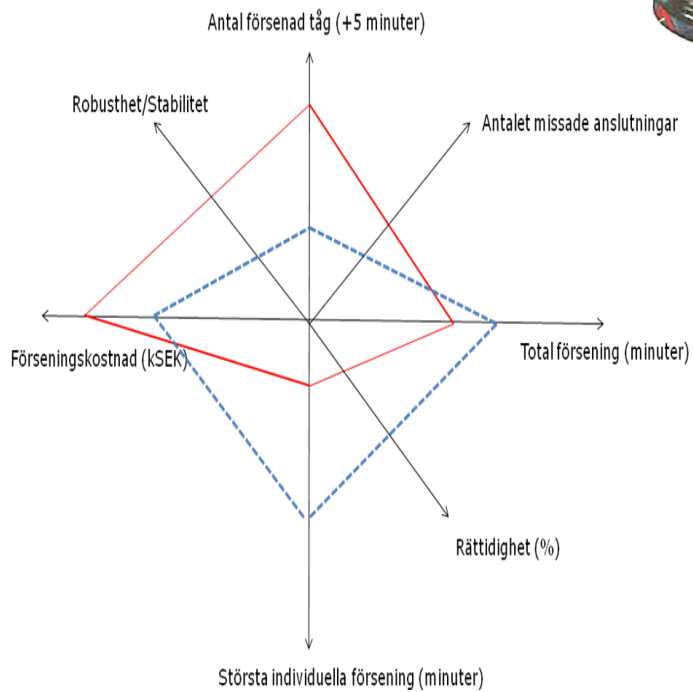
## Södra Stambanan och Blekinge Kustbana - 2

Gholami, O. (2017), "A mixed graph model based train re-scheduling algorithm", working paper to be submitted for publication.

Conflict resolution Strategy	Description
algReleaseTimePriority	This dispatching rule is based on the operation release time ( $b^{min}(Q_{i,j}^u)$ ). Any train which comes first will use the section or block first if no deadlock happens.
algTardiness	This dispatching rule is based on train tardiness. In this strategy, if there is a conflict between two trains, the one with larger tardiness (local delay) goes first ( $T_{i,j} = b^{min}(Q_{i,j}^u) - b^{initial}(Q_{i,j}^u)$ ).
algChangeRoute	This strategy is similar to the first one unless if a conflict happens instead of resolving the conflict the algorithm tries to find a new block or railroad section that is not occupied or will be unoccupied earlier. It means that a local rerouting happens, then if a conflict resolution is necessary, it will do in the second step.
algLessBufR	In this strategy, if a conflict happens the algorithm tries to find a railroad section that will be unoccupied earlier (local rerouting). If still there is a conflict between two trains, the one which has less buffer time and makes more tardiness goes first. The buffer time is defined as the subtraction of initial ending time and real ending time ( $Buf_{i,j} = e^{real}(Q_{i,j}^u) - e^{initial}(Q_{i,j}^u)$ ) for two operations on a conflict machine for train $J_i$ .
algMoreDeleyR	In the algMoreDeleyR strategy, if a conflict happens the algorithm tries to find a track from the available tracks that will be unoccupied earlier (rerouting), then a train with minimum initial ending time goes first.

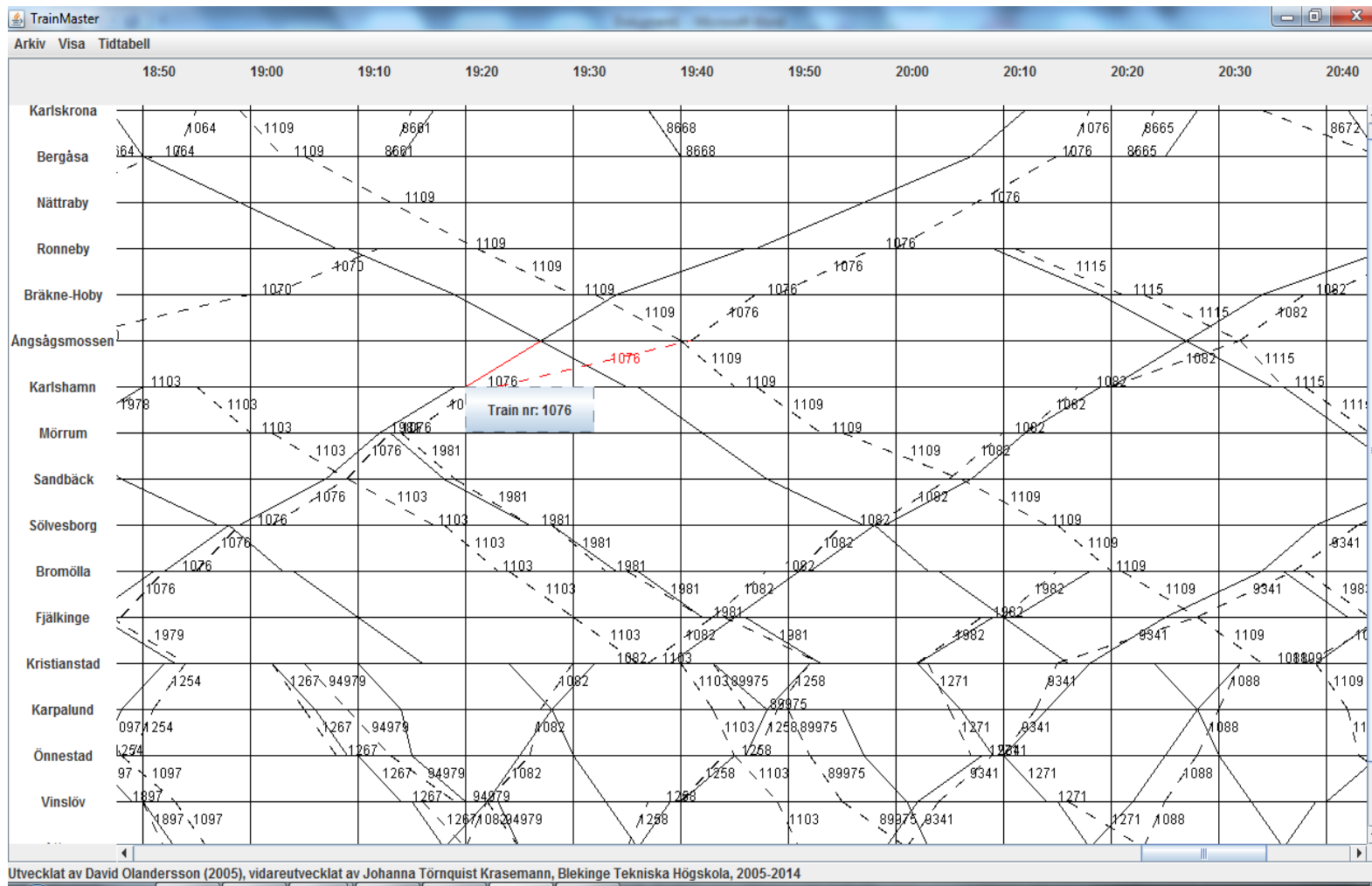
Stabil, men vissa delfunktioner är i nuvarande implementation är för tidskrävande. Att lösa definierade scenarier med ett tidsperspektiv/framförhållning på 60 min tar 1.5 – 4.5 minuter beroende på scenarier. Potentiella förbättringar är till viss del definierade redan men arbetet pågår.

# Fortsatt arbete - 1



Bildkälla: <http://www.it.uu.se/research/project/fts/>

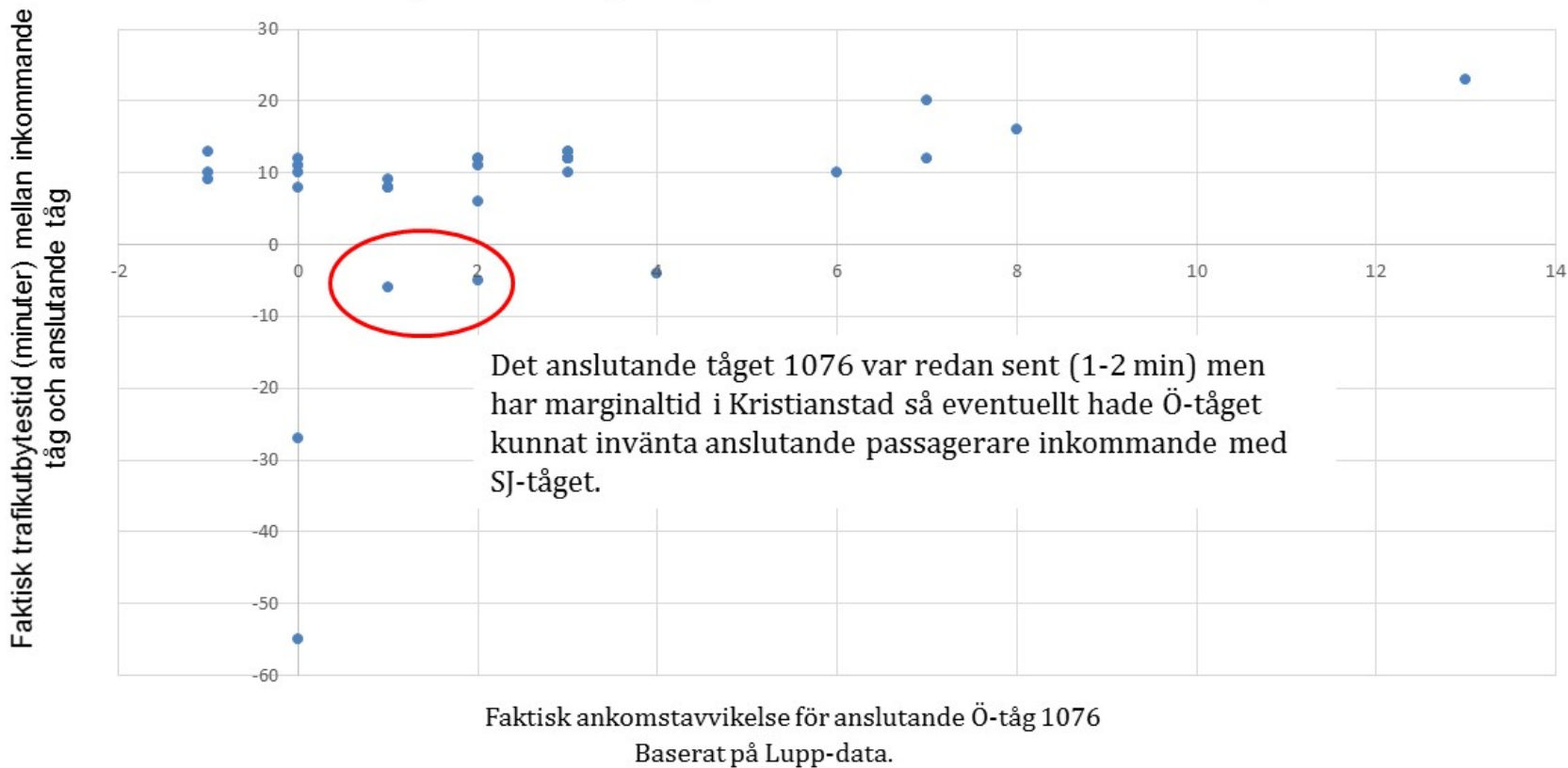
# Fortsatt arbete - 2





# Fortsatt arbete - 3

Faktisk trafikutbytestid (minuter) vs. ankomstförsening hos anslutande tåg  
 (SJ 537 => Ö-tåg 1076 på Hässleholm station under oktober 2016)



# Mer information om projektet?

Törnquist Krasemann, J. (2015), "Computational decision-support for railway traffic management and associated configuration challenges: An experimental study", Journal of Rail Transport Planning & Management, Elsevier, [Volume 5, Issue 3](#), November 2015, pp.95–109.

Anton Peterson, (2015) "Train Re-scheduling: A Massively Parallel Approach Using CUDA", Masteruppsats i Datavetenskap, Blekinge Tekniska Högskola.

*Petrit Gerdovci och Sebastian Boman*, (2015) "Re-scheduling the Railway Traffic using Parallel Simulated Annealing and Tabu Search: A comparative study", Examensarbete i Datavetenskap för civilingenjörer, Blekinge Tekniska Högskola.

Josyula, S., Törnquist Krasemann, J. (2016). "Passenger-oriented Railway Traffic Re-scheduling: A Review of Alternative Strategies utilizing Passenger Flow Data". Accepterat konferensbidrag till RailLille - the 7th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis, Lille, France, April 2017.

Gholami, O. (2017), "A mixed graph model based train re-scheduling algorithm", working paper to be submitted for publication.

Ovan är sammanfattade på svenska i följande projektrapporter:

Törnquist Krasemann, J., (2016), "Slutrapport för delstudien Malmbanan", Teknisk rapport, Juni 2016.

Törnquist Krasemann, J., (2017), "Slutrapport för projektet FLOAT", Teknisk rapport, Mars 2017.

[www.bth.se/FLOAT](http://www.bth.se/FLOAT)

Kontakt: [Johanna.Tornquist.Krasemann@bth.se](mailto:Johanna.Tornquist.Krasemann@bth.se)

# Tack för att Ni lyssnade!

## Frågor?



Håkan Grahn



Johanna Törnquist Krasemann



Sai Prashanth Josyula



Omid Gholami