

Blandad trafik på dubbelspåriga järnvägar

10:20-10:40

Johanna Törnquist Krasemann, LiTH/BTH

Kapacitetens effekt på den operativa tågdriften vid störningar, kvantitativa beräkningsmetoder och svensk forskning.

10:40-11:20

Roger Nordefors, Banverket

Blandad trafik på dubbelspår: Sträckor med tät pendeltågstrafik nära storstäder resp. längre sträckor på landsbygden med större hastighetsskillnader.

11:20-12:00

Bertil Hellgren, SJAB

SJAB's erfarenheter av blandad trafik

12.00-13.00 Lunch

Ett urval av svensk forskning

- i samarbete med Banverket mfl

Strategiskt

Dimensionering, anpassning och underhåll av infrastrukturen

KTH (Olov Lindfeldt mfl)

LTU (Birre Nyström mfl)

VTI (Mats Wiklund mfl)

Taktiskt

Tidtabellsplanering

SICS (Martin Aronsson mfl) i projektet **DDTP**

VTI (Jan-Eric Nilsson mfl)

Operativt

Trafikstyrning och störningshantering

KTH (Lars-Göran Mattson mfl)

UU (Bengt Sandblad mfl) i projekten **FTTS/STEG**

BTH (Johanna Törnquist mfl) i projektet **OAT(+)**

SICS (Jan Ekman mfl) i projektet **BOO**

Omplanering Av Tåglägen - OAT



Ett FUD-projekt på BTH finansierat av Banverket.

Syfte: Att utveckla beslutstöd som operativt kan hjälpa tågtrafikledarna att revidera tidtabellen vid störningar.

Tidsram: 2005-2007-2009

Projektgrupp: Dr. Johanna Törnquist Krasemann (projektledare)

Dr. Jan A. Persson

Prof. Paul Davidsson

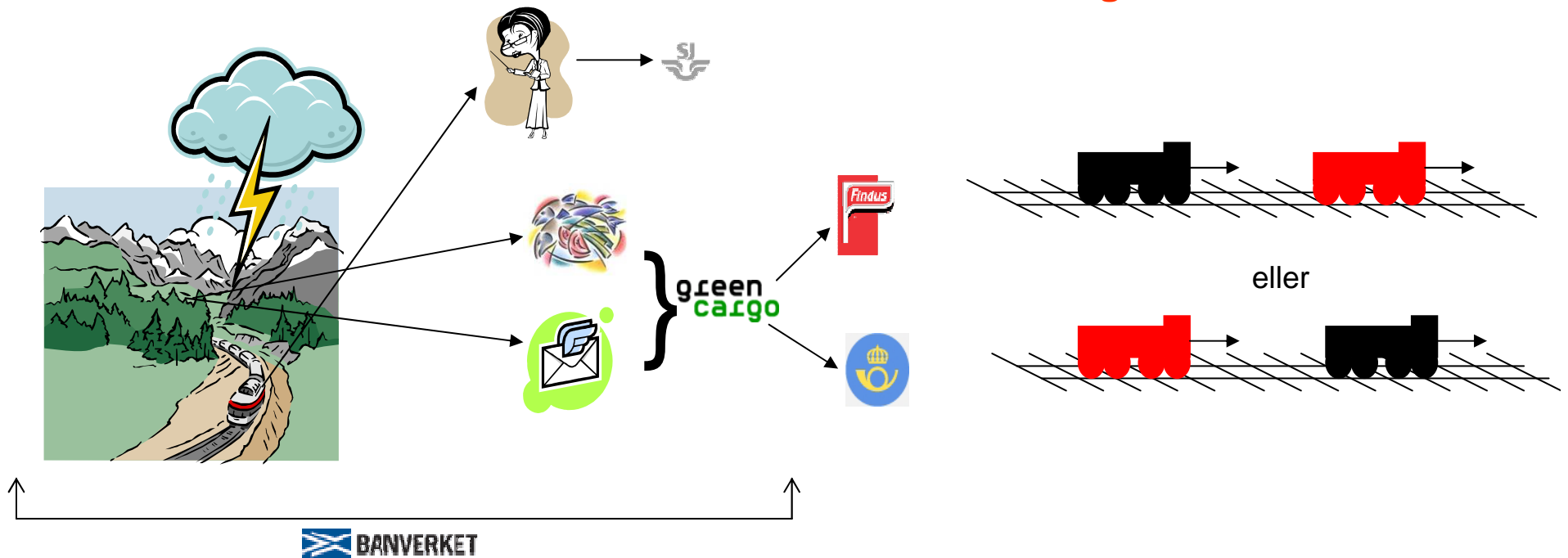
Kontaktperson: Thomas Franzén, Banverket

Samarbeten: SICS, Uppsala Universitet

UTMANINGEN

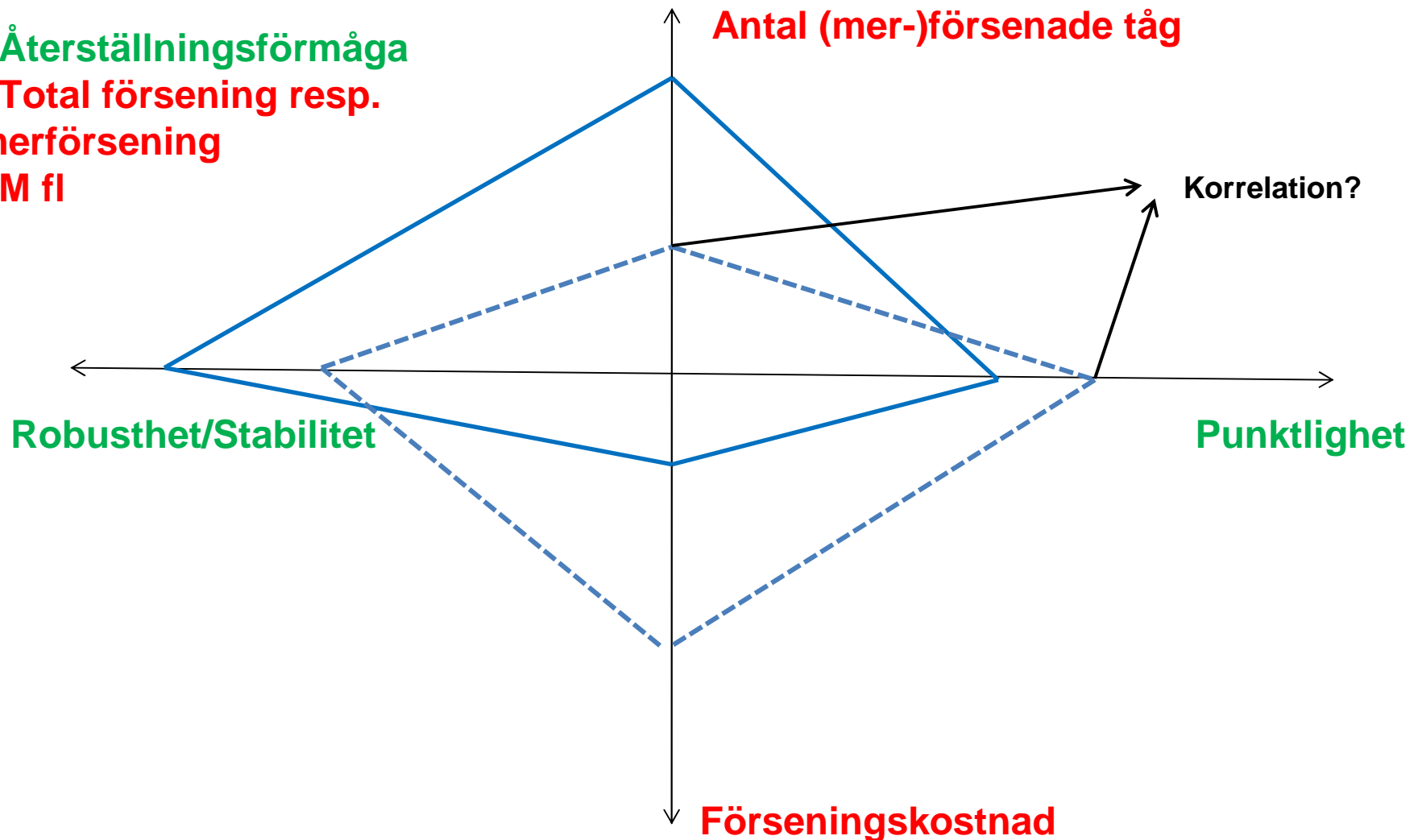
Problem: En störning har inträffat och tidtabellen måste revideras för att minimera konsekvenserna. Dvs. tågen måste ev. **sekvenseras om** på de olika spårsektionerna.

Problembeskrivning: En matematisk modell med **kontinuerliga variabler** som anger när resp. tåg inkommer på en spårsektion resp. när det lämnar den samt **binära variabler** som anger huruvida ett tåg får använda en spårsektion före ett annat tåg eller vice versa. Målet är att **minimera kostnaden för störningen**.



Olika mål & Prioriteringar - 1

- Återställningsförmåga
- Total försening resp. merförsening
- M fl



Olika mål & Prioriteringar - 2

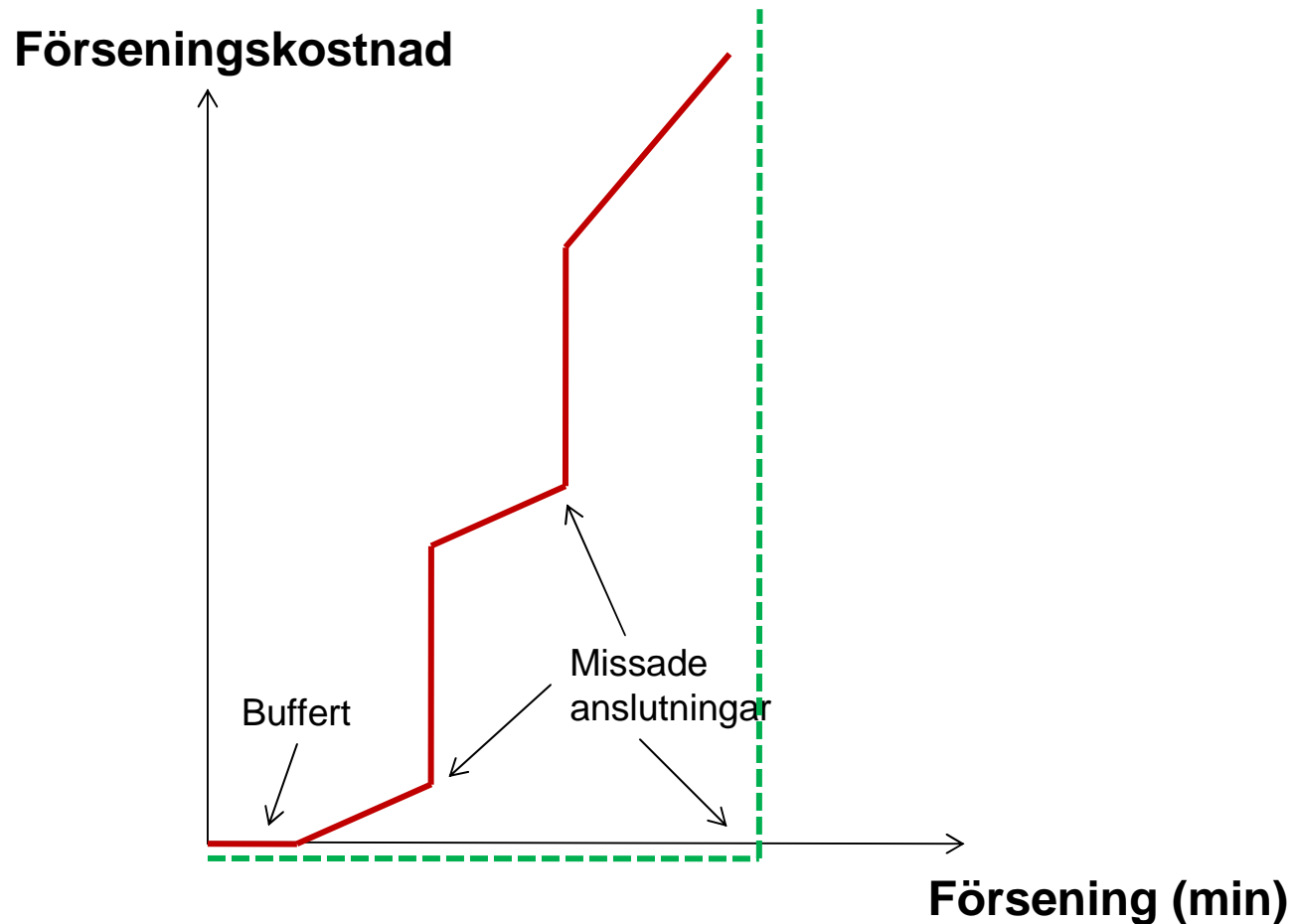
Om samhällsekonomiska kostnader tillämpas vid prioritering...

Tågkategori	Förseningskostnad kr/ minut
Shabbtåg max antal pax (650, alla tjänsteresor)	3089
Shabbresandetåg min antal pax (240) varav 1/2 privat 156 kr/h och rest. i tjänst 277 kr/h; 89,1 kr/min tågdrift	955
Kombitransport (brutto 959 ton) av 506 ton färdigvaror (11, 24 kr/tonh); tågdrift 2143kr/tågh samt 4,235 kr/tonh	198
Systemtåg; 614 ton stål (2,68 kr/tonh, bruttovikt 1050 ton), 2090 kr/tågh eldrift; 3,406 kr/tonh gods	122

Källa: SIKA PM 2005:16 (2001 prisnivå, inkl. SP1 samt exkl. banavgifter)

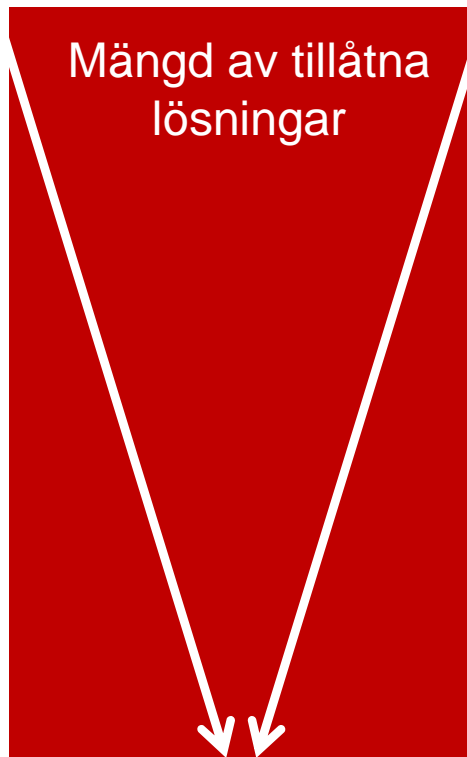
Olika mål & Prioriteringar - 3

.... men kostnadsbilden är i praktiken en helt annan och svår att generalisera:



Olika angreppssätt

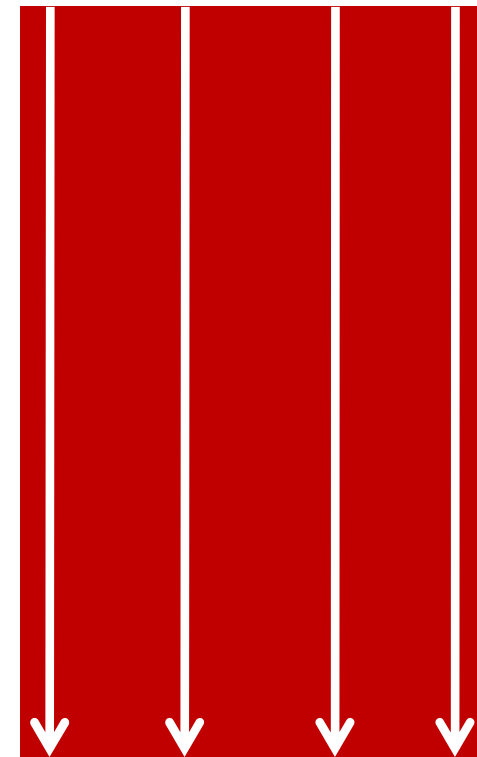
OPTIMERING



En "optimal" lösning

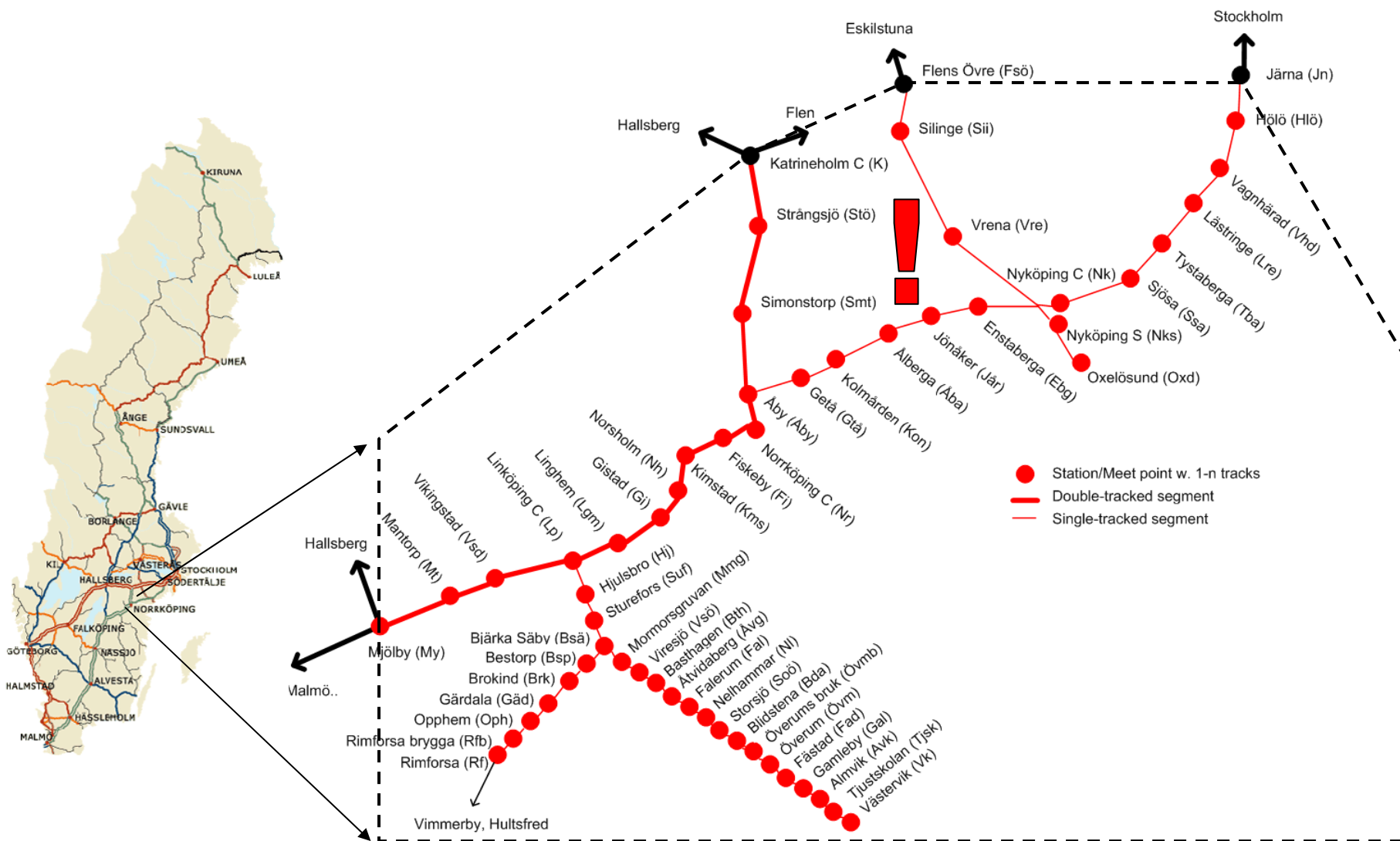
➔ **OAT+** ➔

SIMULERING



Utvärderade förslag på lösningar

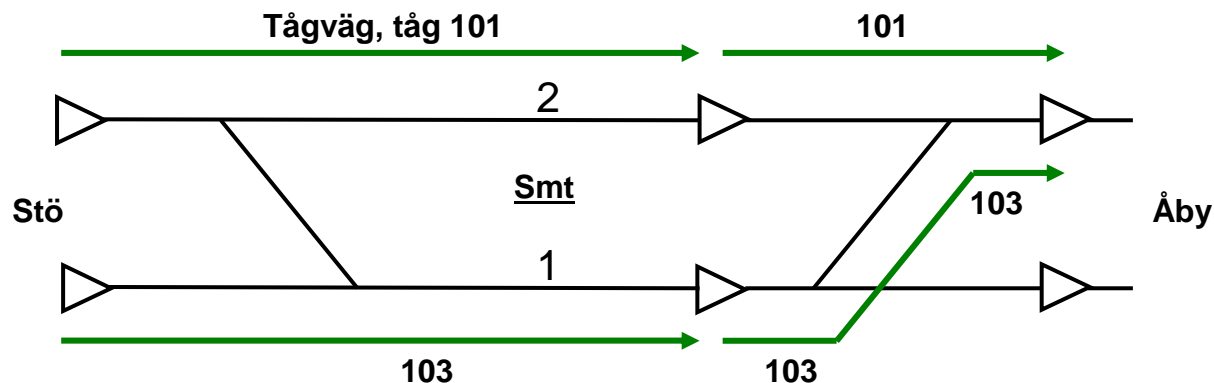
Infrastrukturen



Dubbelriktade dubbelspår

- En välsignelse och förbannelse

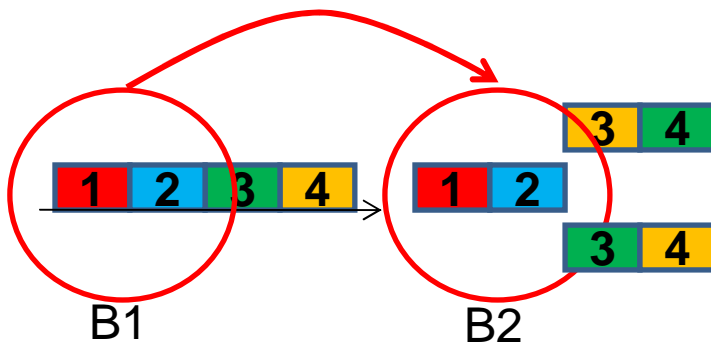
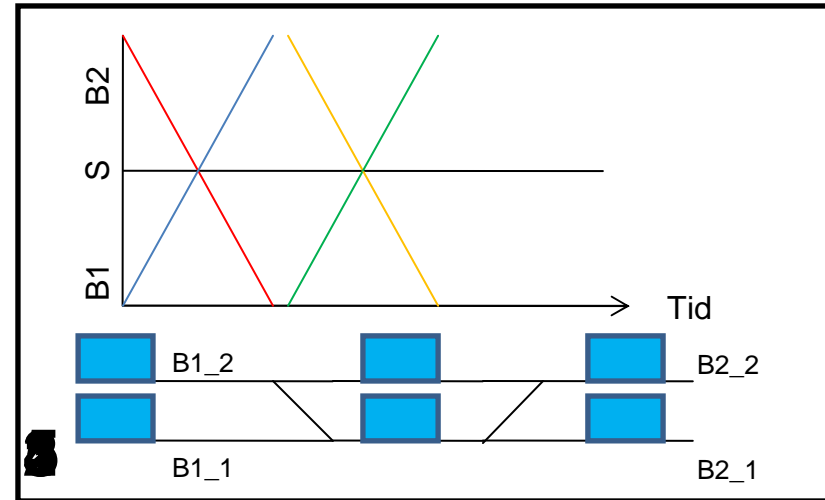
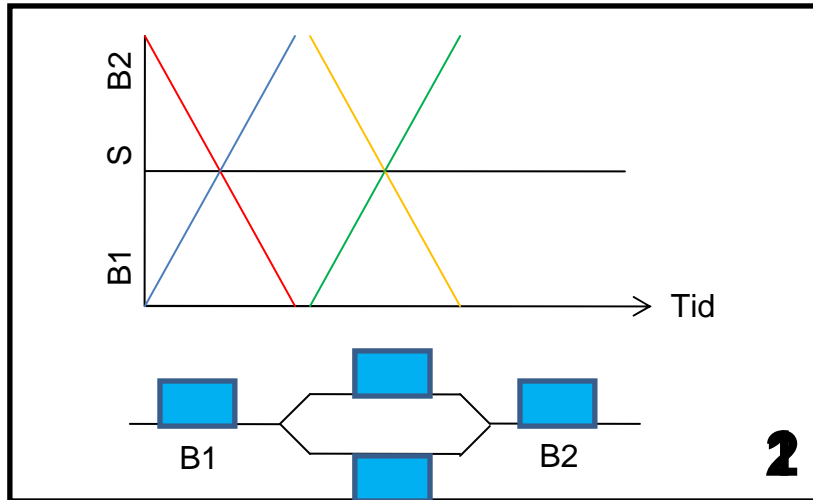
En **välsignelse** som **medför nödvändig flexibilitet** vid tät och blandad trafik och som möjliggör en mängd alternativa lösningar med oplanerade förbigångar, möten och spårbyten.



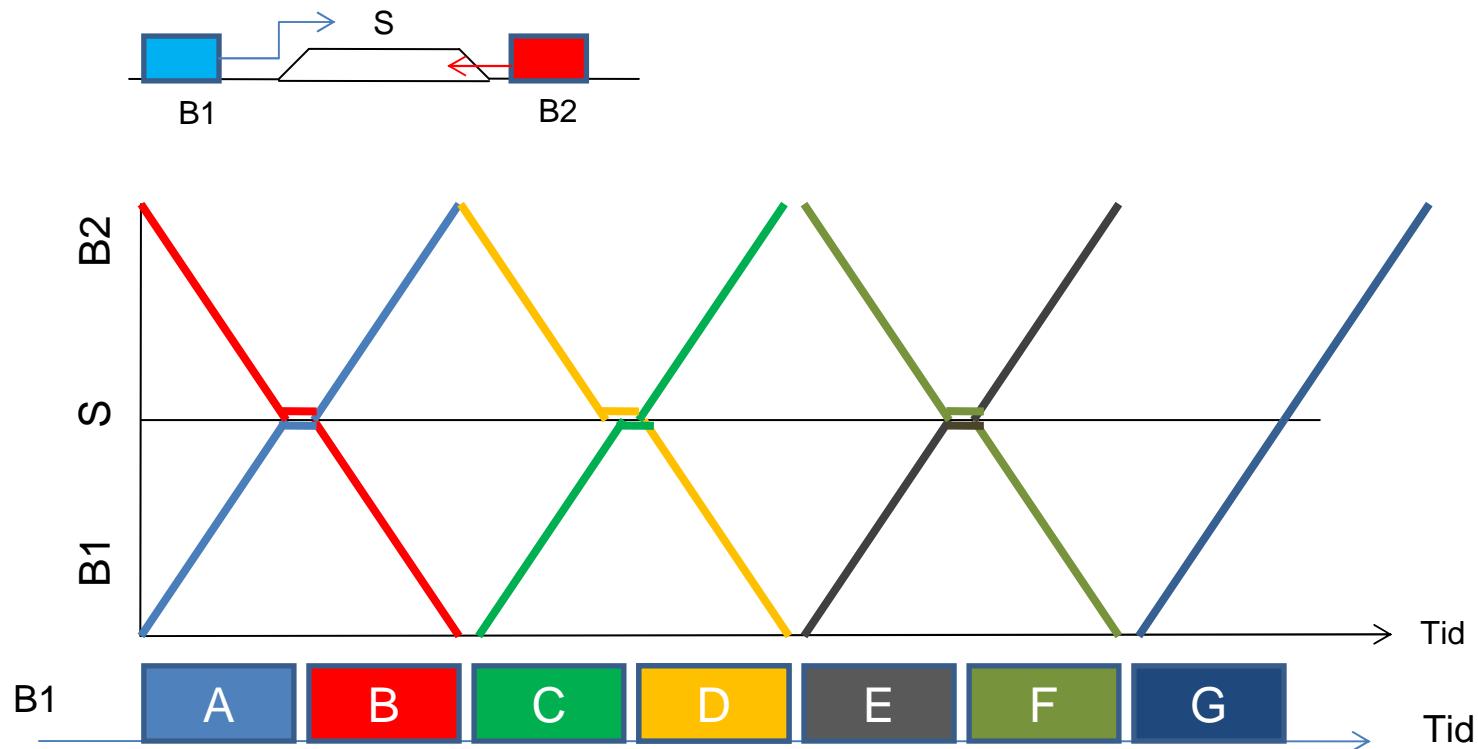
Källa: Figur 27 i Appendix 1 från Förstudierapporten för STEG, Jörgen Hwargård, version 2005-11-15.

En **beräkningsmässig förbannelse** eftersom mängden kombinationer av alternativa tågvägar och variabler kan bli mycket stor.

Enkel- vs. Dubbelspår



Metoden HOAT (Heuristik för OAT)



Metoden HOAT (Heuristik för OAT)

Ett MILP formulerat som ett Job Shop Scheduling problem som vi begränsar beroende på störningens karaktär och det begränsade problemet löser vi sedan med Cplex.

För segment med fler än 1 spår (enkelspår har en enklare formulering) gäller:

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

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

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

Tåget måste använda exakt ett spår

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

Om två tåg använder samma spår måste de separeras i tid

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

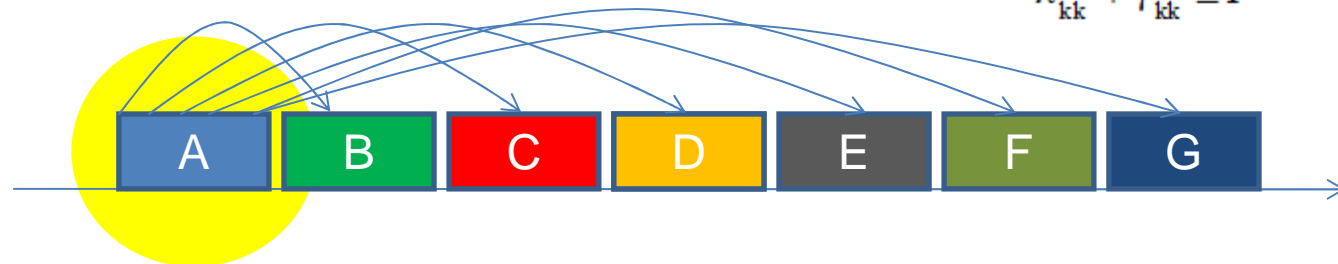
$$x_{\hat{k}}^{\text{begin}} - x_k^{\text{end}} \geq \Delta_j^M \gamma_{k\hat{k}} - M(1 - \gamma_{k\hat{k}})$$

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

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

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

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



$$7 \cdot (7-1) / 2 = 21$$

Tid $5 \cdot 2 + 1 = 11$

Metoden HOAT (Heuristik för OAT)

Ett MILP formulerat som ett Job Shop Scheduling problem som vi begränsar beroende på störningens karaktär och det begränsade problemet löser vi sedan med Cplex.

För segment med fler än 1 spår (enkelspår har en enklare formulering) gäller:

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

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

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

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

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

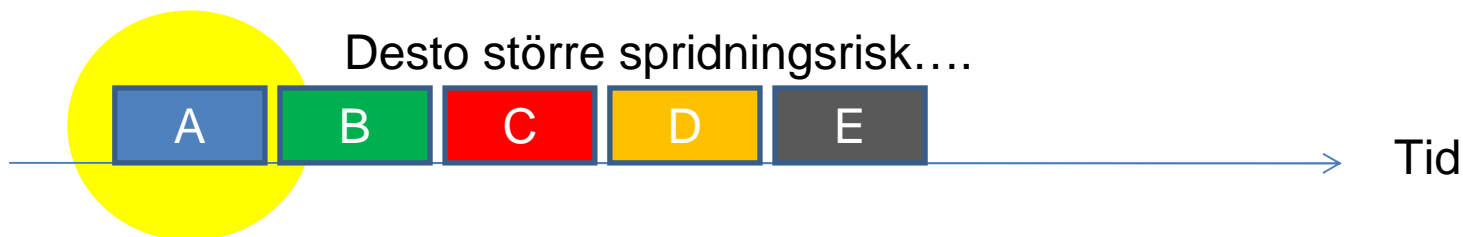
$$x_{\hat{k}}^{\text{begin}} - x_k^{\text{end}} \geq \Delta_j^M \gamma_{k\hat{k}} - M(1 - \gamma_{k\hat{k}})$$

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

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

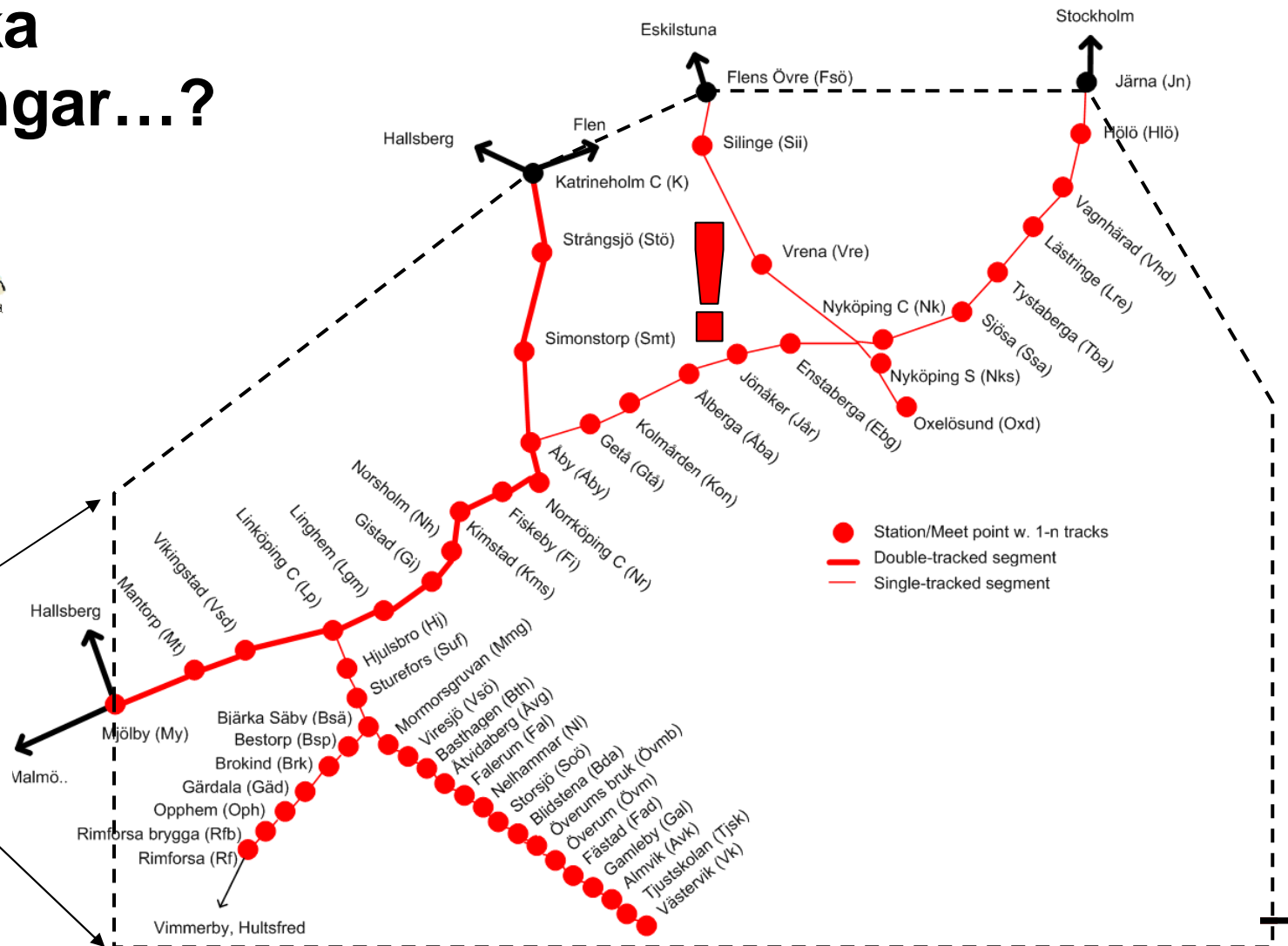
$$x_k^{\text{begin}} - x_{\hat{k}}^{\text{end}} \geq \Delta_j^F \lambda_{k\hat{k}} - M(1 - \lambda_{k\hat{k}})$$

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



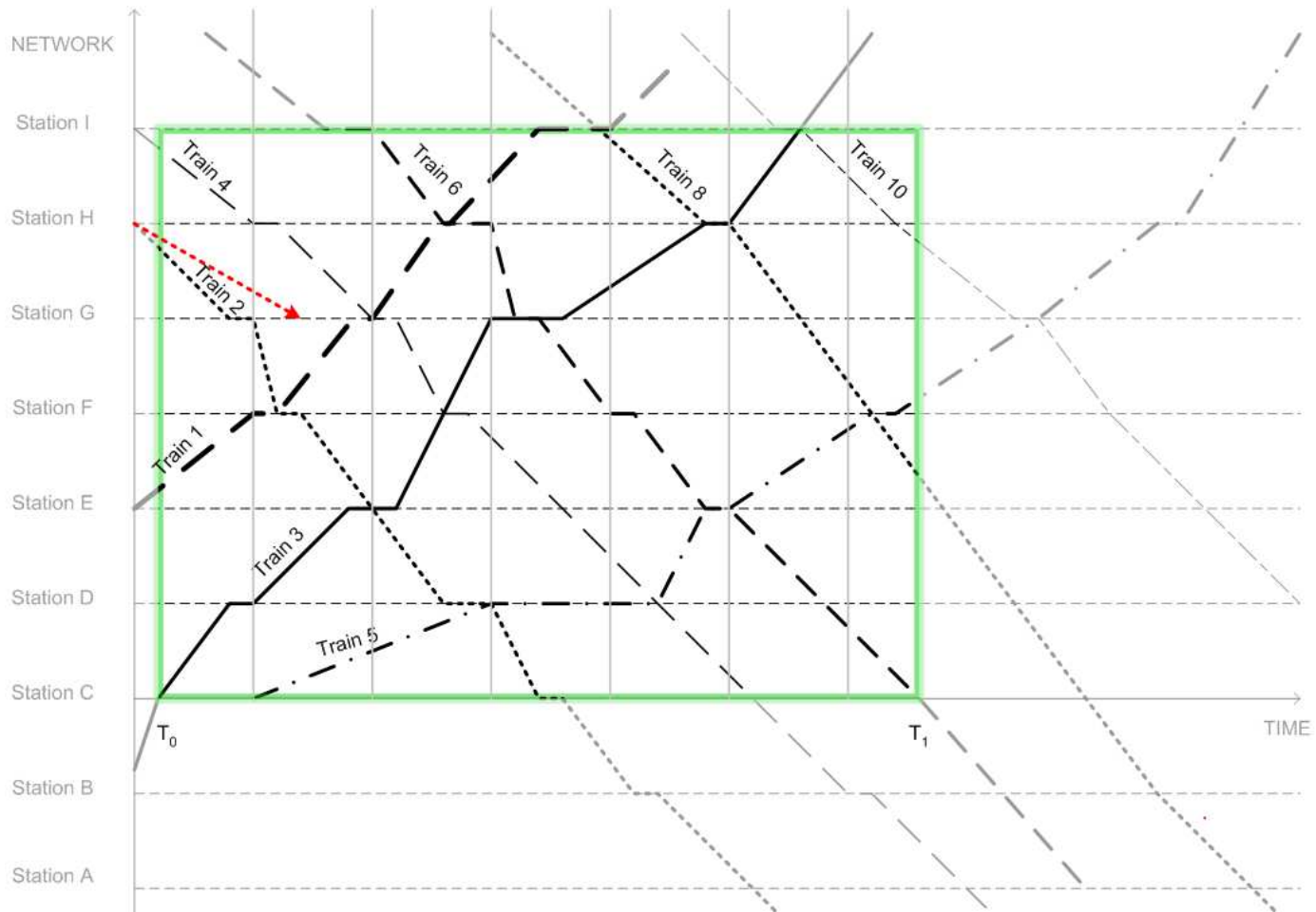
Avgränsningar- 1

Geografiska avgränsningar...?

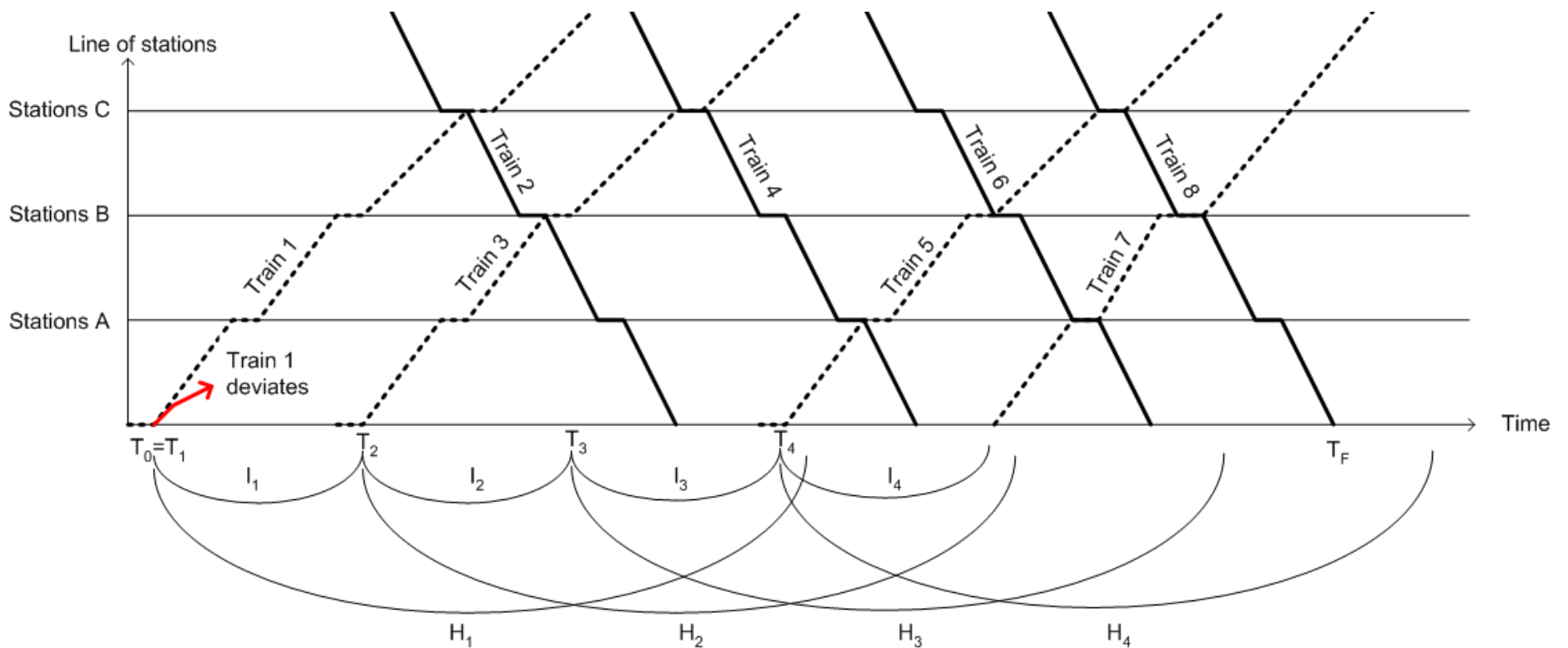


Avgränsningar- 2

Avgränsningar i tid...?



Rullande tidshorisont



Urval av experimentella resultat

SCENARIO	<u>MTFD</u>	<u>MFTD*</u>	<u>FCFS</u>	<u>OTTP</u>	<u>OTS</u>
3	77.27	83.57	99.22	99.22	77.27
10	51.67	51.67	51.67	51.67	175.67 (74.1%)
14	41.23	52.87	41.23	51.63	41.23
19	48.17 (7.89%)	73.20	50.07	64.05	43.10 (23.9%)
28	47.10	47.10	47.60	47.60	47.00
36	57.33 (31.22%)	67.60	251.53	251.53	38.20 (2.4%)

- FCFS – First Come, First Served
- OTTP – On-Time Trains Prioritised (dvs. principen om att rättidiga tåg har företräde)
- MTFD - Minimise Total Final Delay (med HOAT)
- MFTD* med time limit 30 s istället för 2.5 h som ovan.
- OTS – Optimal Train Sequence (i.e. fullständig formulering)

40 olika scenarier och i sex fall varierade resultatet mellan de olika strategierna. Värden anger *total final delay* i minuter.

Preliminära slutsatser

Många faktorer har betydelse för hur svårt det är att lösa en störning och hur den sprider sig.

Vilken typ av **tåg som orsakar** störningen samt **var störningen uppstår** verkar ha större effekt på lösbarheten än storleken på störningen.

Nyckelåtgärderna verkar ofta tas i ett tidigt skede.

Tack....

....för visat intresse....frågor?