

Robusta tidtabeller för järnvägstrafik

Emma Andersson och Anders Peterson
Institutionen för teknik och naturvetenskap
Linköpings universitet, Norrköping

*KAJT Temadag om tidtabellsläggning för järnvägen
Stockholm den 5 december 2013*

Agenda

- Bakgrund och motivering
- En djupstudie hösten 2011
- Rättidighet
 - Ankomst till slutstation
 - Längs vägen
- Förbättrad tidtabell
 - Samhällsekonomisk kundtidtabell
 - Större förändringar av tidtabellen
- Kritiska punkter
 - Robusthet i kritiska punkter
 - Exempel från Södra Stambanan
- Slutsatser

Bakgrund

- Resandet på järnväg i Sverige har fördubblats sedan början av 1990-talet; även på godssidan finns en uppåtgående trend.
- Kapacitetsbrister på flera håll, särskilt kring storstäderna.
- Godstrafik, lokaltåg, regionaltåg och fjärrtåg delar samma spårresurs.
- Järnvägsnätet är känsligt även för små störningar, som ofta är svåra att hämta in.
- Förseningar fortplantas ofta till andra tåg.
- Större förseningar påverkar fordonsomlopp och personalbehov.
- Varje försening förorsakar stora samhällsekonomiska kostnader.
- Avregleringen av järnvägstrafiken ger tydliga intressekonflikter.

Robusthet

- Att *“hantera relativt små störningar så bra som möjligt i operativt läge”* (Kroon m.fl., 2008, översatt):
 - Initiala störningar kan absorberas inom rimliga gränser, så att de inte leder till förseningar.
 - Få förseningar fortplantas från ett tåg till ett annat.
 - Förseningar försvinner fort, eventuellt genom enklare förändringar i tågklareringen.
- Att mäta robusthet
 - Punktlighet mäter den verkliga robustheten:
 - ”Andel avgångar som når sin slutstation med en högsta tolererad försening.”
 - Otillräcklig information för att skapa nya tidtabeller.

Djupstudie hösten 2011

- Södra stambanan, Malmö–Stockholm.
 - Dubbelspårig.
 - Godstrafik huvudsakligen Malmö–Mjölby.
- Två norrgående tåg, nr 500 och nr 530.
 - 500: 253 min, endast 2 mellanstopp.
 - 530: 269 min, 8 mellanstopp.
- Vardagar i 17 veckor, from 15 aug.
- 78 kontrollpunkter (trafikplatser) längs linjen, rapportering med minutprecision.
- Störningsfri period, inga inställda eller omledda tåg.
- Banarbete vid Nässjö, enkelspårsdrift.

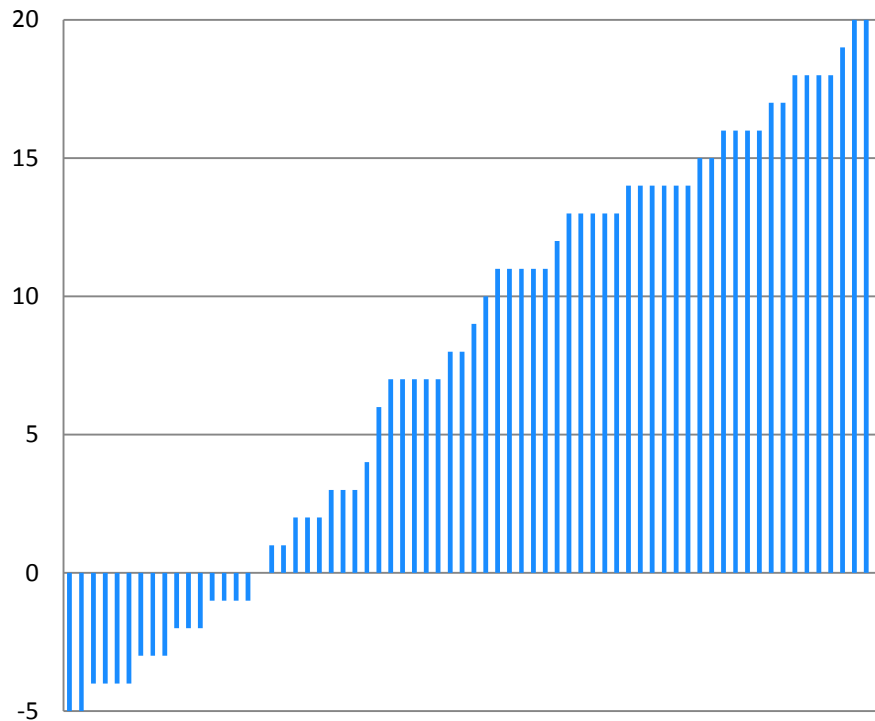




Foto: SJ AB.

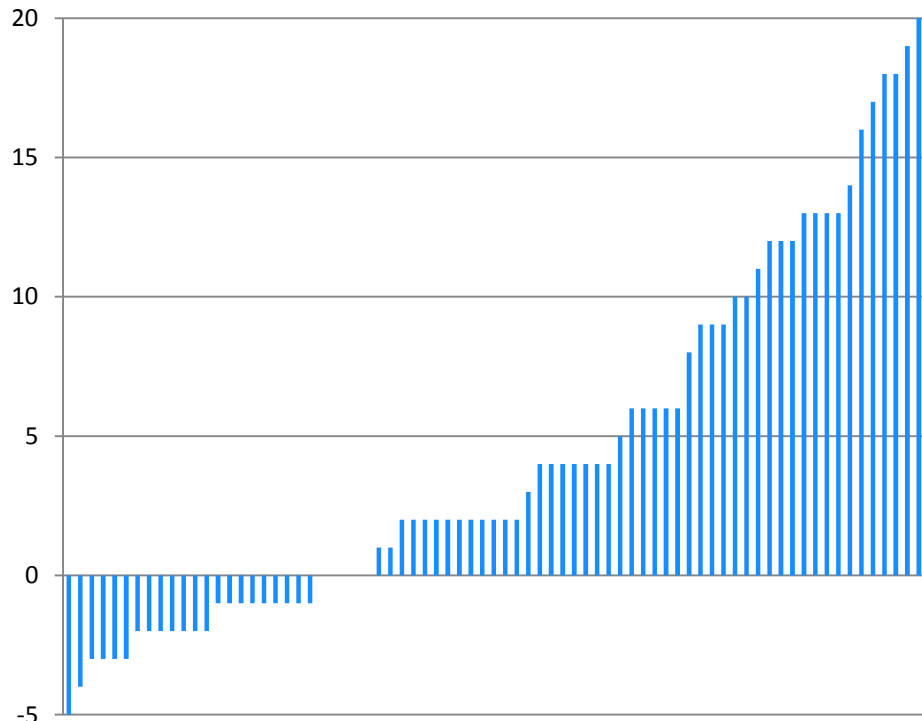
Rättidighet vid ankomst till slutstation (Stockholm)

Tåg nr 500



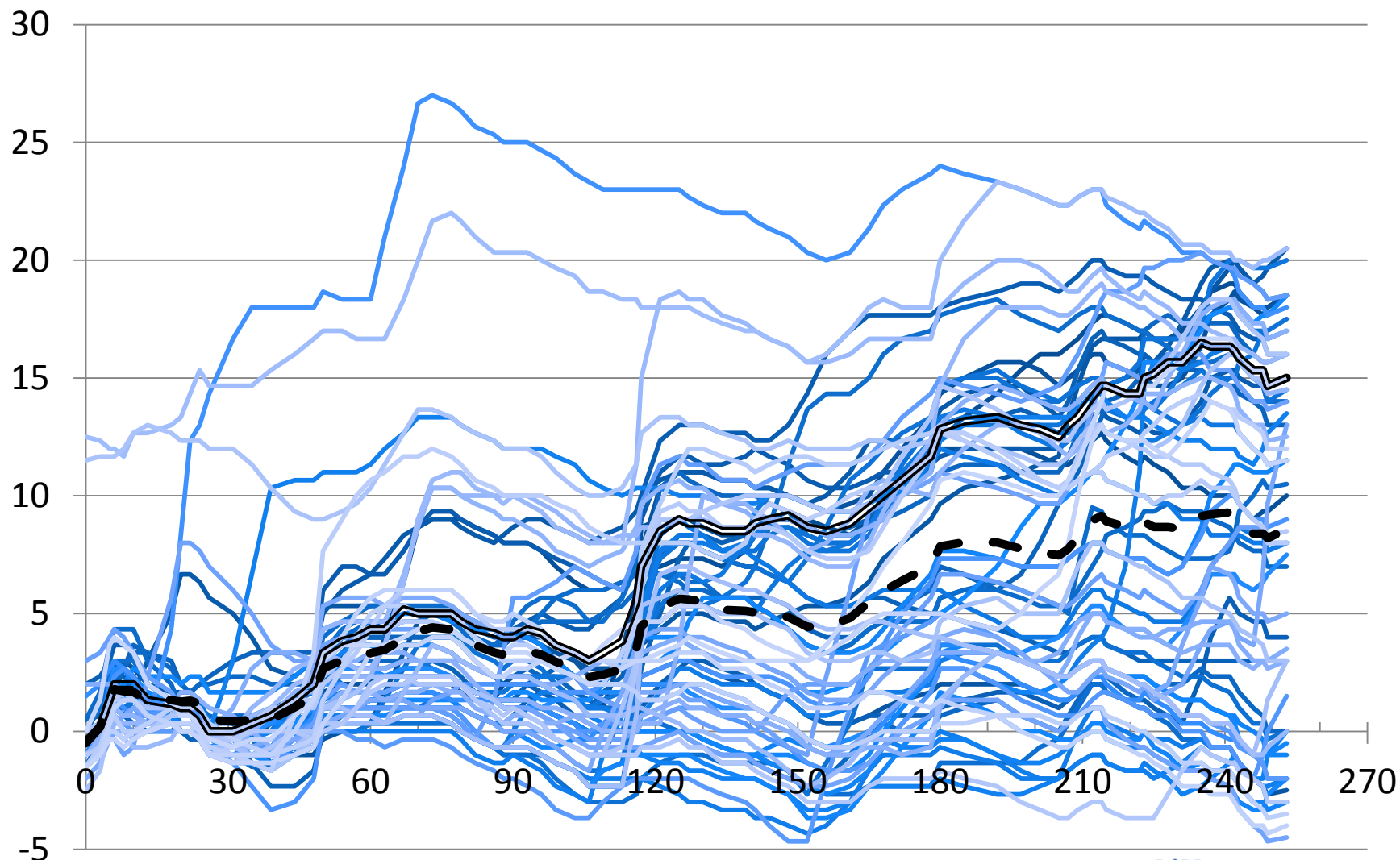
+ 15 gånger >20 min försening, i medeltal 56 min. Dessa avgångar är borttagna från all fortsatt analys.

Tåg nr 530



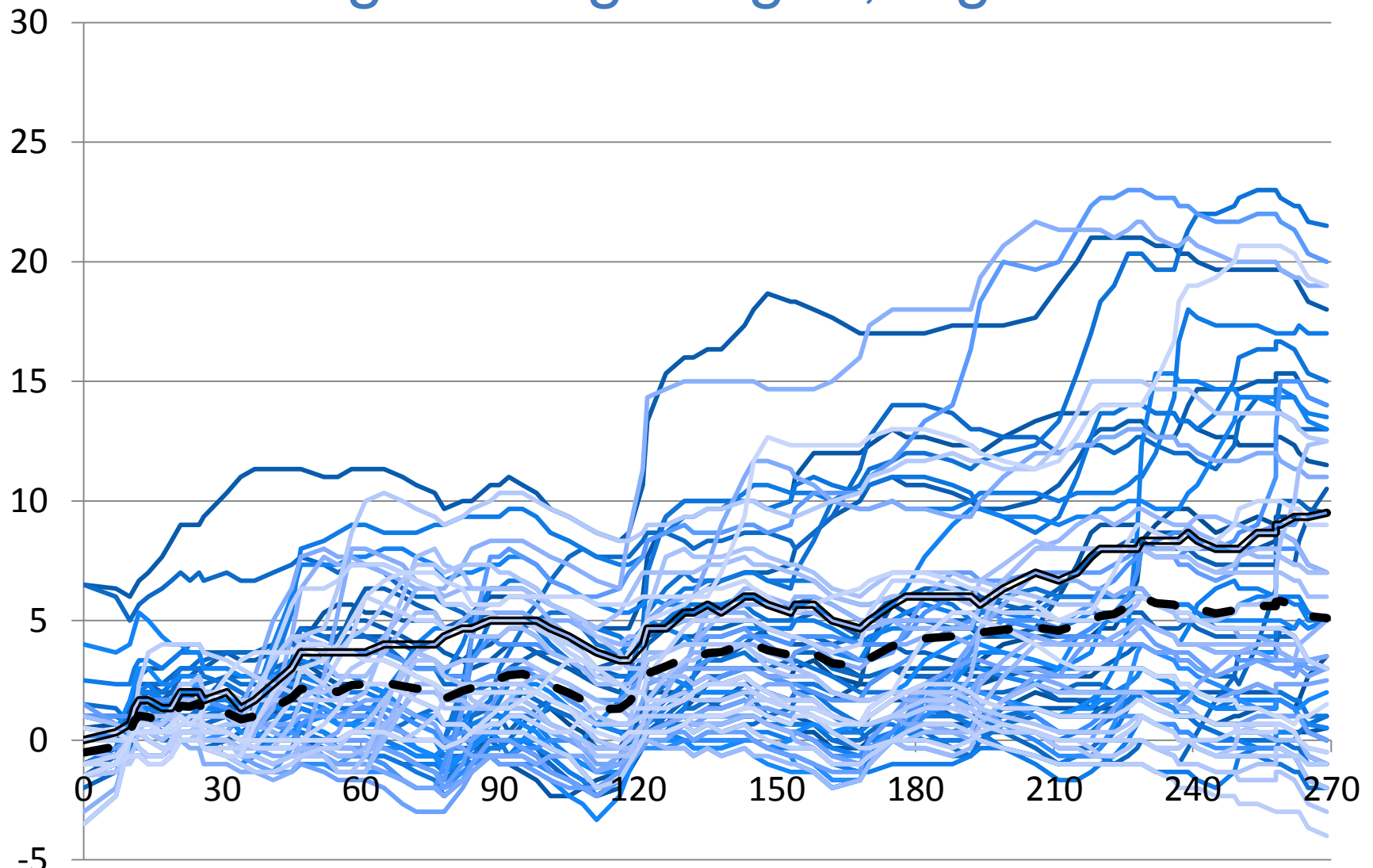
+ 10 gånger >20 min försening, i medeltal 37 min. Dessa avgångar är borttagna från all fortsatt analys.

Rättidighet längs vägen, tåg nr 500



Streckad linje: Genomsnittlig rättidighet
Dubbellinje = 75-percentil

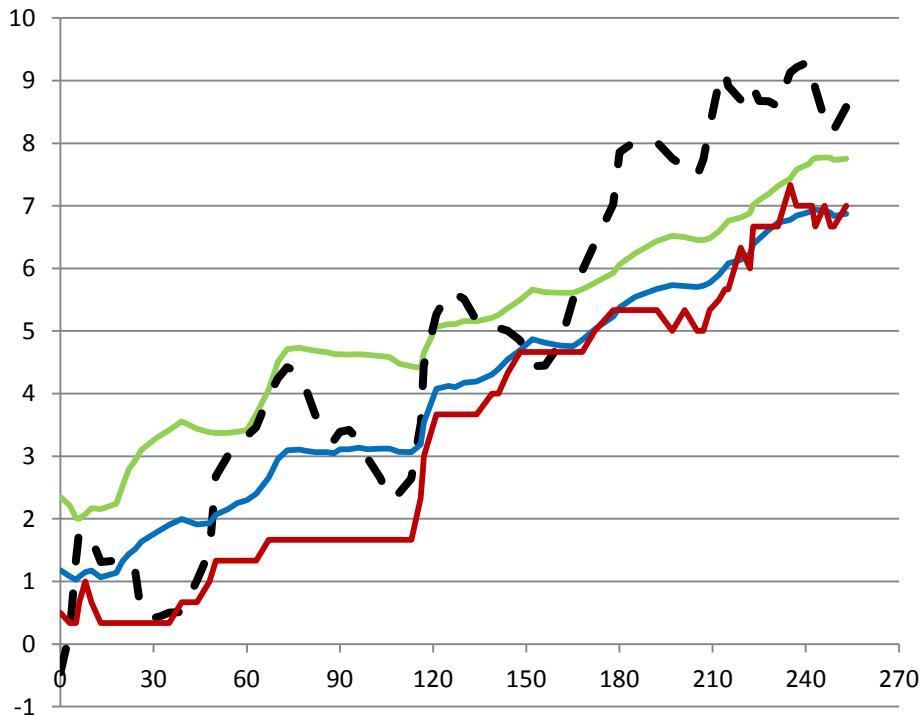
Rättidighet längs vägen, tåg nr 530



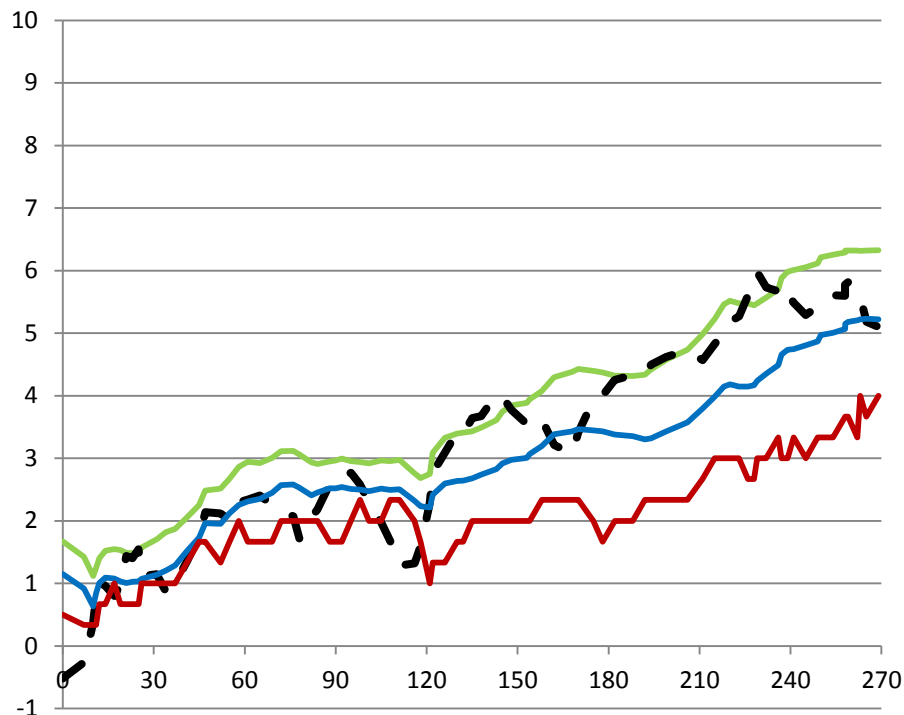
Streckad linje: Genomsnittlig rättidighet
Dubbellinje = 75-percentil

Avvikelse vid trafikplatserna längs vägen

Tåg nr 500



Tåg nr 530



Streckad linje = genomsnittlig rättidighet

Heldragen blå linje = Genomsnittlig absolutavvikelse från medel, Average Absolute Deviation (AAD)

Heldragen röd linje = Absolut medianavvikelse från medianen, Median Absolute Deviation (MAD)

Heldragen grön linje = Standardavvikelse (SD)

Rättidighet längs vägen

- Rättidigheten längs vägen är typiskt sågtandsformad.
 - Förseningar uppstår vid stationerna och återhämtas längs linjen.
 - Ger upphov till ett sicksackmönster runt den planerade tidtabellskurvan.
- Avvikelserna i rättidighetsmaterialet
 - uttrycker kvantitativt den operativa precisionen, dvs den verkliga robustheten.
 - tycks kunna approximeras väl med en linjär funktion.
 - visar att ett tåg tappar en dryg minuts precision per timmes gångtid.

- *För att öka precisionen måste rättidiga tåg vänta, vilket förlänger restiden.*
- *Idag beräknas tidsavstånd till annan trafik utan hänsyn till tågens gångtider.*
- *Det är mer sannolikt att pricka en tidslucka längs linjen ju kortare restiden fram till denna tidslucka är.*
- *Att operativt prioritera rättidiga tåg innebär att prioritera kortväga tåg.*



Foto: SJ AB/Stefan Nilsson.

Hur kan tidtabellen förbättras?

- Studien handlar om enstaka tåg.
- Alla förändringar i tidtabellen har också påverkan på annan trafik.

- Idé 1: En samhällsekonomisk kundtidtabell
 - Produktionstidtabellen bibehålls.
 - Kundtidtabellen förändras.
 - En enkel avvägning mellan kort restid och hög rättidighet.
 - Påverkar inte annan trafik.

- Idé 2: Större förändringar (pågående forskning)
 - Produktionstidtabell (och kundtidtabell) förändras.
 - Komplex avvägning mellan olika mål.
 - Annan trafik påverkas.

Samhällsekonomisk kundtidtabell

En enkel illustration som bygger på att en minuts väntetid är värd 1,87 gånger värdet av en minuts restid.

Tåg nr 500

		Nuläge	Ny
Avg.	Malmö	05:51:00	(05:50:40)
Ank.	Lund	06:01:00	06:01:40
Avg.	Lund	06:06:00	(06:06:40)
Avg.	Hässleholm	06:36:00	06:36:20
Avg.	Hässleholm	06:38:00	(06:39:40)
Ank.	Stockholm	10:01:00	10:09:30

Tåg nr 530

		Nuläge	Ny
Avg.	Malmö	09:17:00	(09:16:20)
Ank.	Lund	09:27:00	09:27:40
Avg.	Lund	09:29:00	(09:29:40)
Ank.	Hässleholm	09:55:00	09:56:20
Avg.	Hässleholm	09:57:00	(09:58:20)
Ank.	Alvesta	10:32:00	10:32:40
Avg.	Alvesta	10:34:00	(10:35:00)
Ank.	Nässjö	11:06:00	11:06:20
Avg.	Nässjö	11:08:00	(11:08:20)
Ank.	Mjölby	11:43:00	11:45:20
Avg.	Mjölby	11:44:00	(11:46:00)
Ank.	Linköping	11:58:00	11:59:40
Avg.	Linköping	12:00:00	(12:01:40)
Ank.	Norrköping	12:22:00	12:24:40
Avg.	Norrköping	12:24:00	(12:27:00)
Ank.	Södertälje	13:19:00	13:22:00
Avg.	Södertälje	13:20:00	(13:23:00)
Ank.	Stockholm	13:39:00	13:42:00

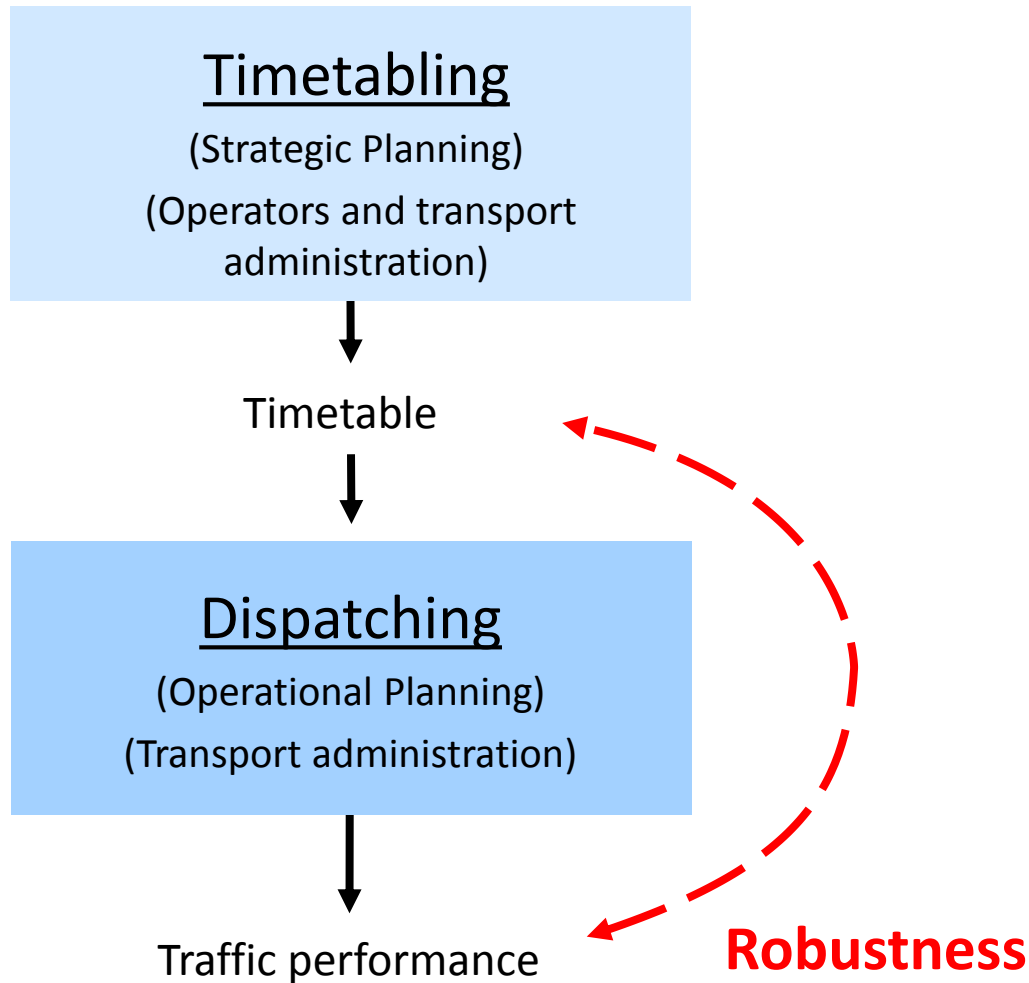
Slutsatser

- Samhällsekonomisk tidtabell = kundtidtabell
 - Första åtgärd: Sätt ankomsttid = avgångtid för mellanstationer, och lägg till några minuter för ankomst till slutstation.
 - Bättre förståelse för balansen mellan rättidighet och kort restid behövs.
 - Hur ska man värdesätta tidig ankomst?
- Avvikelsemåttan skulle kunna användas för att beräkna minsta tidsavstånd
 - Absolut medianvärde, absolut medelvärde och standardavvikelse är tre goda mått på robustheten
 - Vi tappar en dryg minuts precision per timmes gångtid.
 - Hur kan man lägga om tidtabellen så att man får en dryg minut extra tidsavstånd per timmes gångtid?



Foto: SJ AB/Stefan Nilsson.

Timetable robustness



Timetable robustness



Timetable



Traffic performance

Which characteristics in a timetable affect the robustness and how can they be measured?

→ Identify weaknesses in the timetable before it is actually used



Robustness



Observations of the train traffic at the Swedish Southern mainline

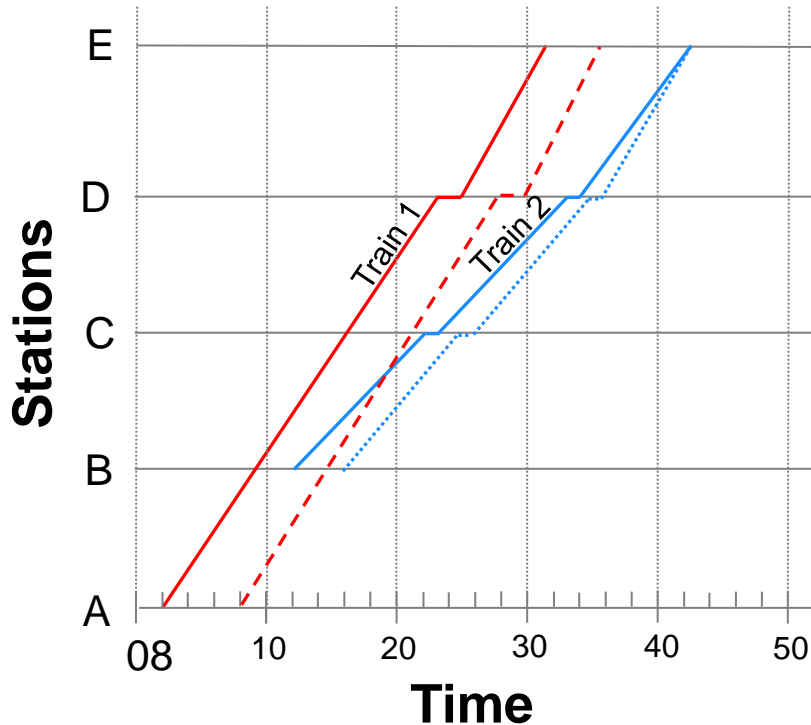
- There are points in the timetable where an already delayed train becomes even more delayed due to short headways and traffic heterogeneity
- Trains that end up delayed in these points have trouble to recover from their own delay and will also delay other trains further on
- We refer to these points in the timetable as “Critical points”

A typical critical point timetable for train 530 (2011)

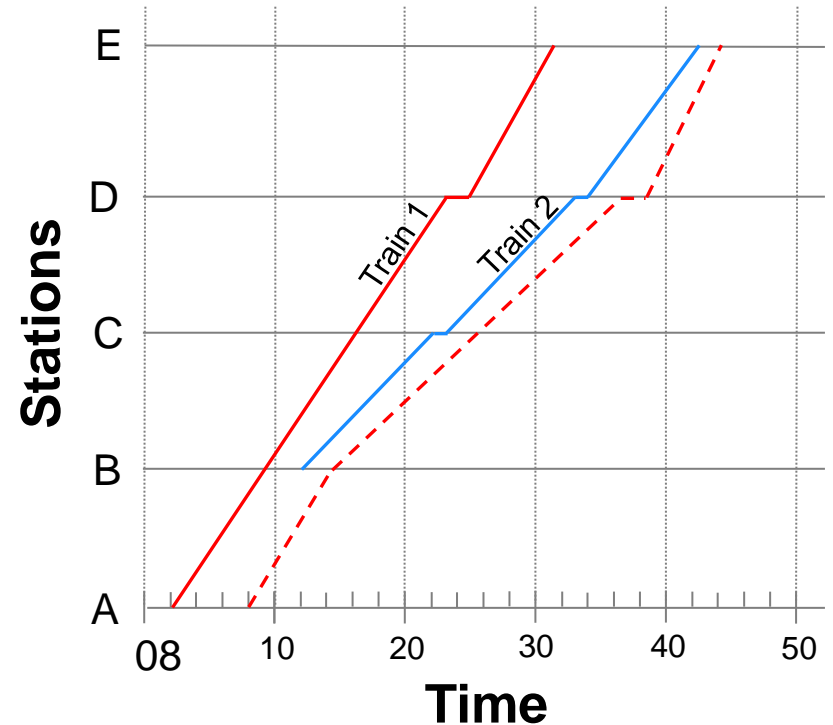


Two types of scenarios in a critical point

Train 1 is prioritized before train 2



Train 2 is prioritized before train 1



Definition of a critical point

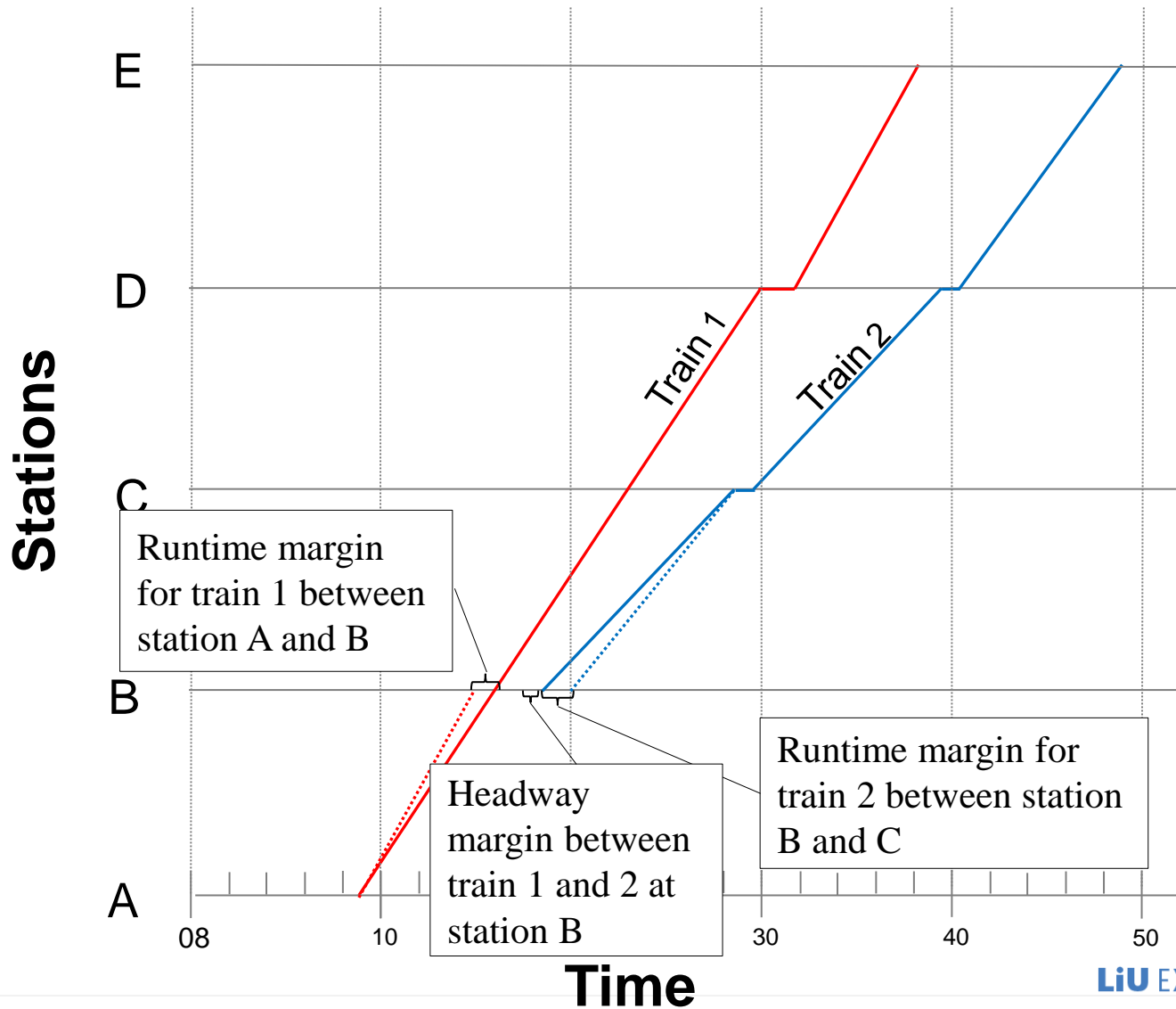
- A specific location in the time-space graph
- A station where a train enters the network after another already operating train
- A station where a train overtakes another train
 - The two trains run in the same direction after each other using the same track

The amount of critical points in a timetable can indicate how robust a timetable is but we also need to know how robust a single point is

Robustness in critical points (RCP)

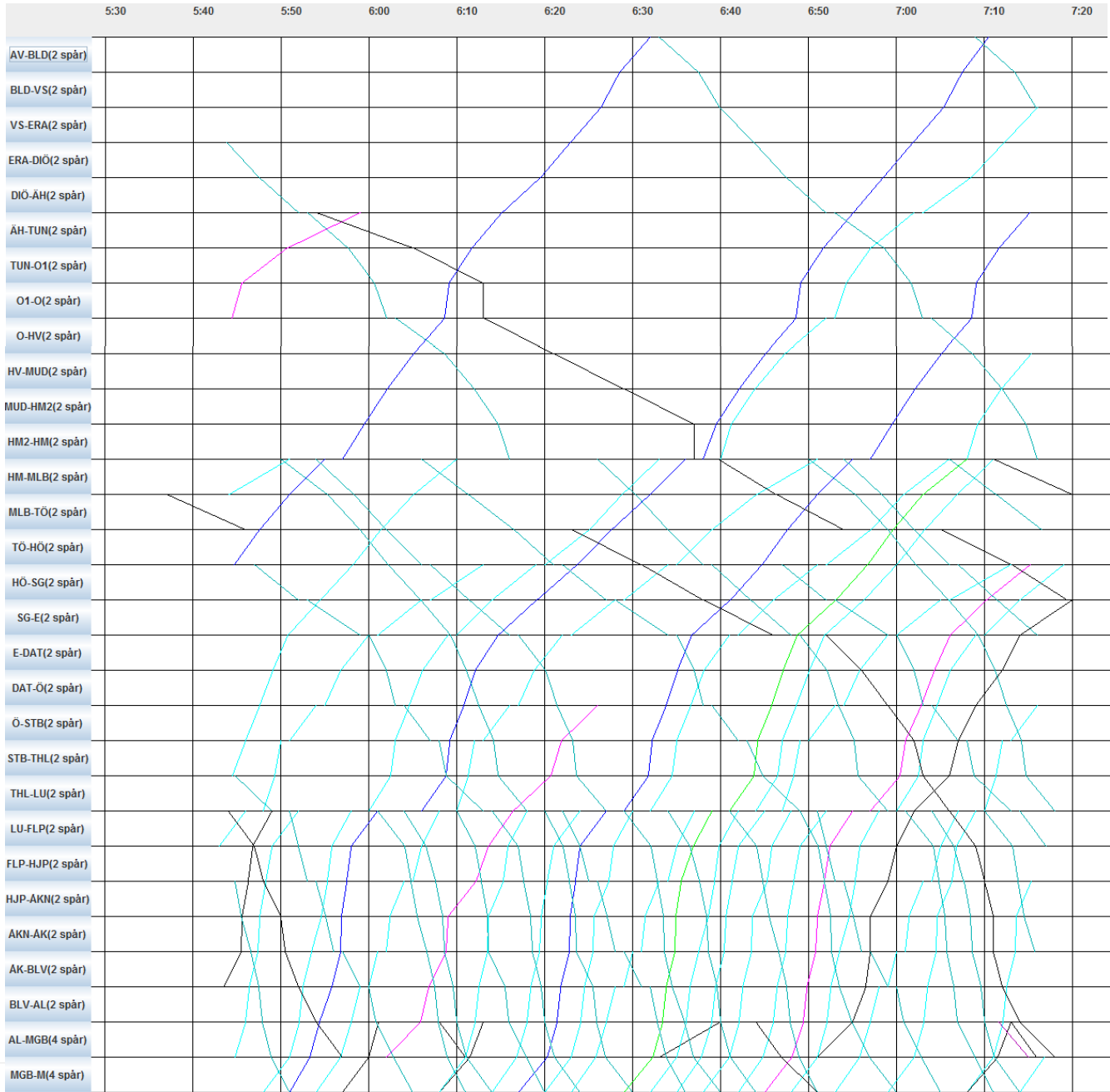
- We introduce Robustness in Critical Points (RCP), a measure that consists of three parts that indicate how robust a critical point are:
 - The available runtime margins for the operating/overtaking train before the critical point
 - The available runtime margins for the entering/overtaken train after the critical point.
 - The headway margin between the trains in the critical point

The three parts of RCP





Example from the Swedish Southern mainline



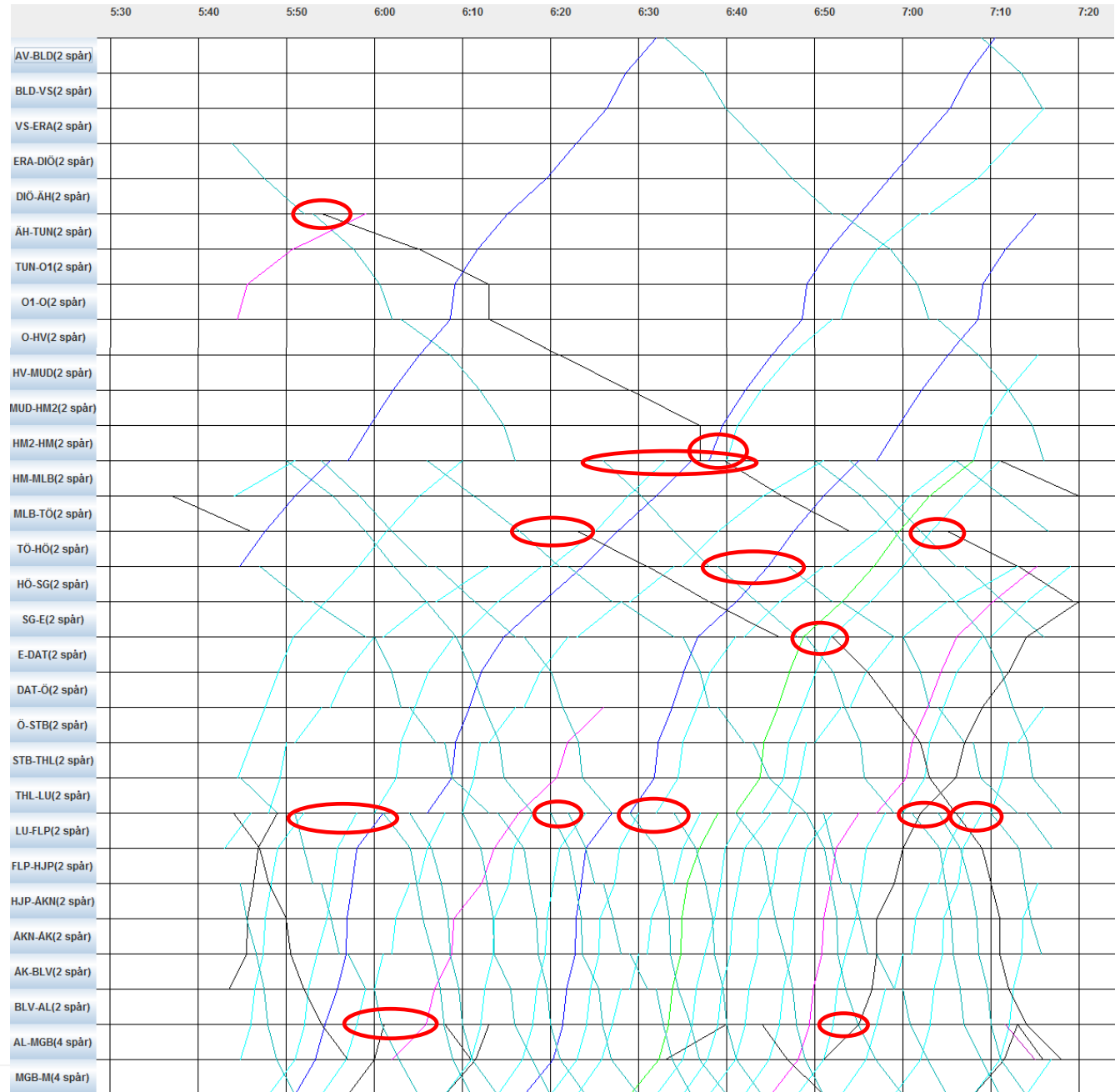
Malmö – Alvesta

8th of September
2011

05:45 – 07:15

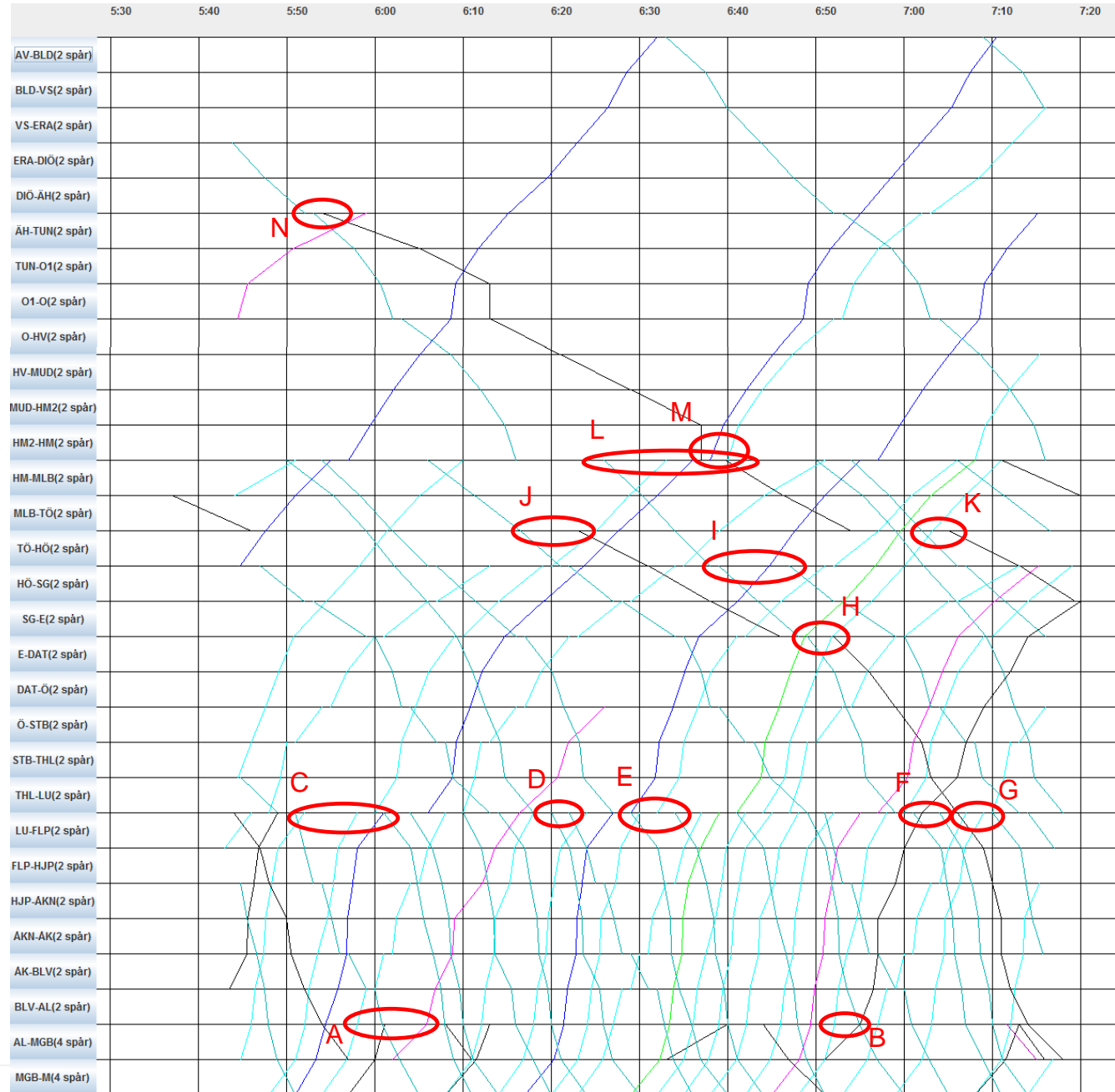
Critical points

14 critical points
between Malmö and
Alvesta



Critical points

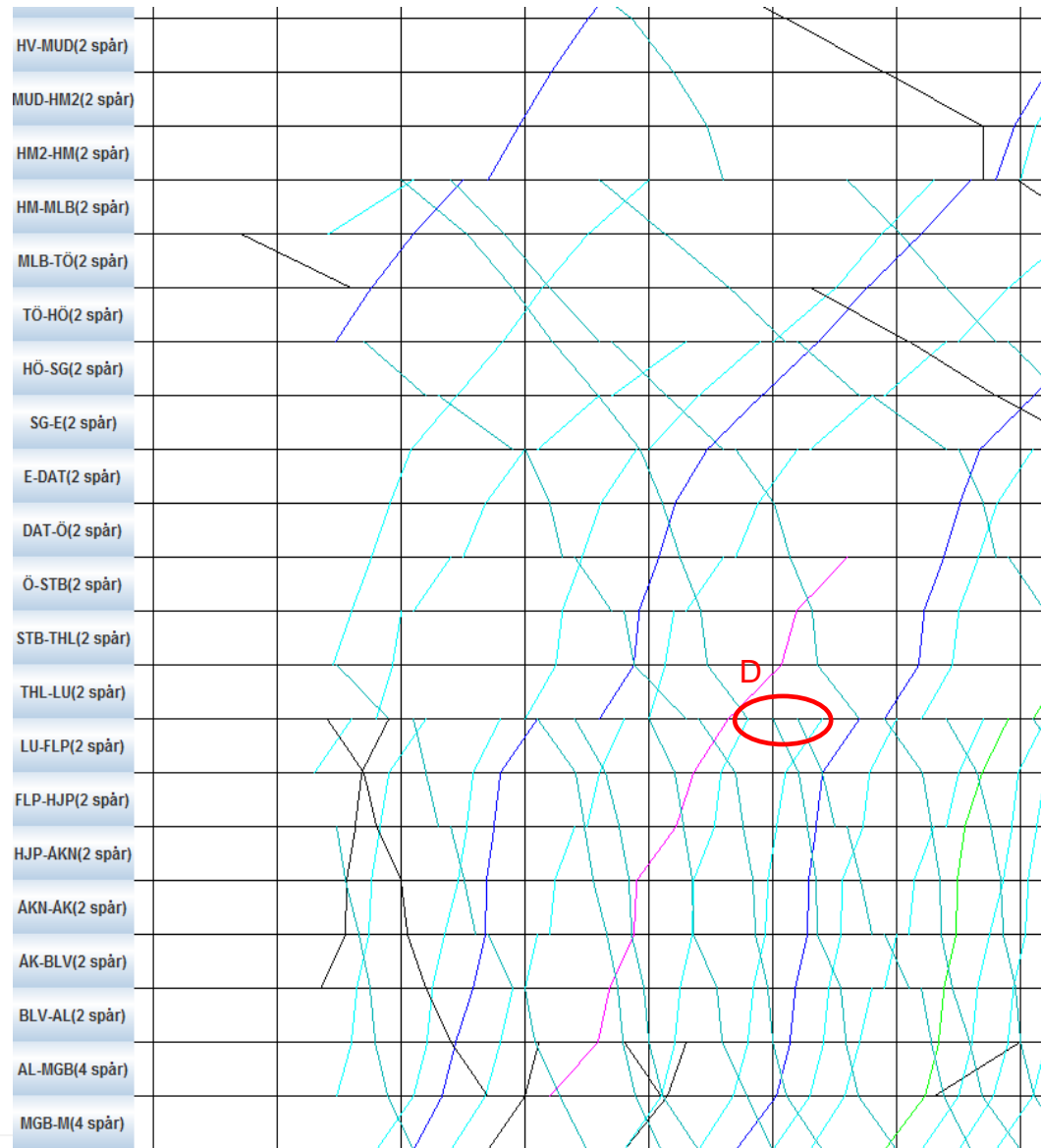
ID	RCP (seconds)
A	581
B	171
C	503
D	22
E	433
F	113
G	210
H	61
I	325
J	274
K	-8
L	724
M	140
N	-103



Critical points

- How to increase RCP in a critical point?

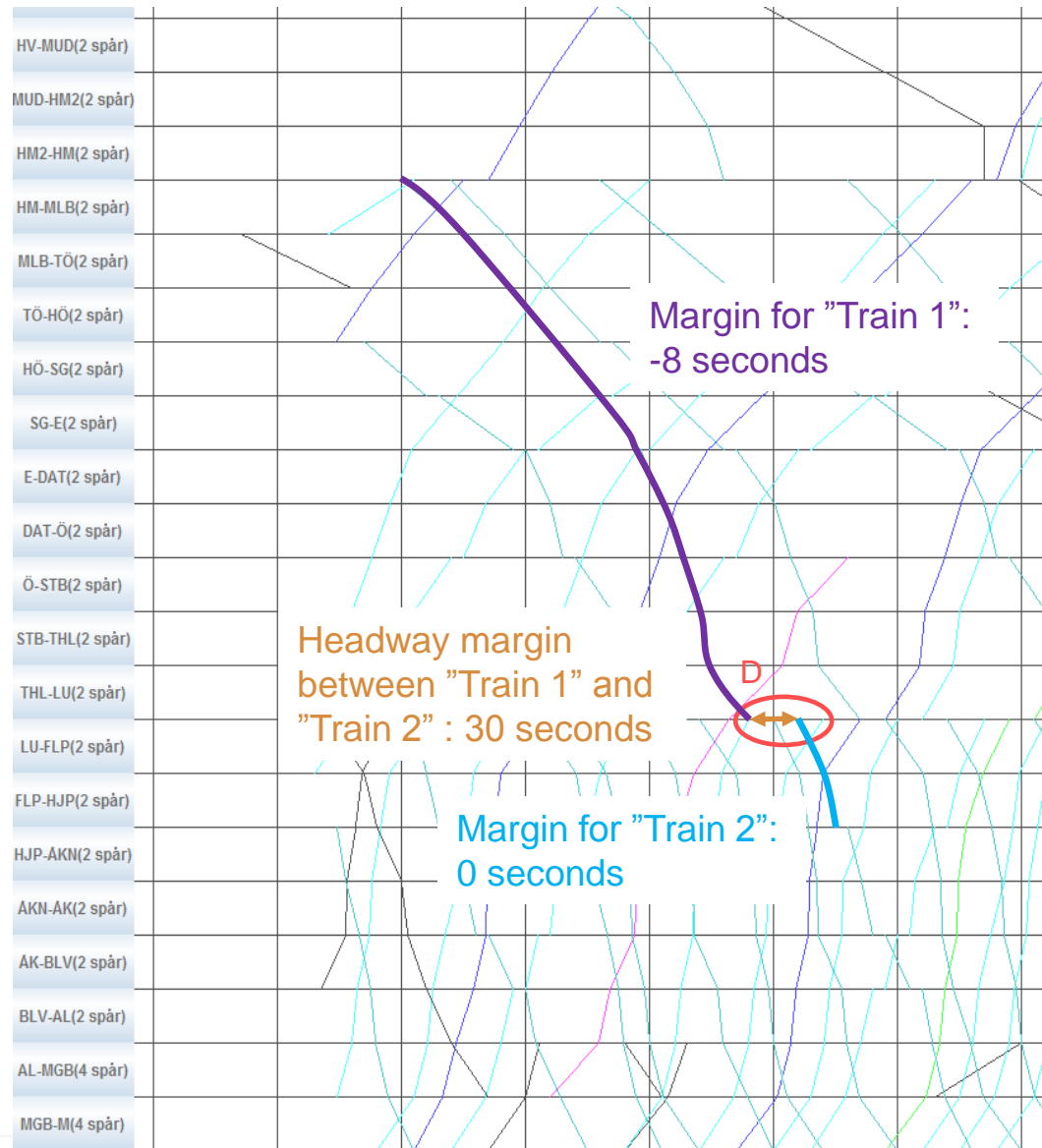
RCP (D) = 22 seconds



Critical points

- How to increase RCP in a critical point?

$$\text{RCP (D)} = 22 \text{ seconds} = 30 + -8 + 0$$

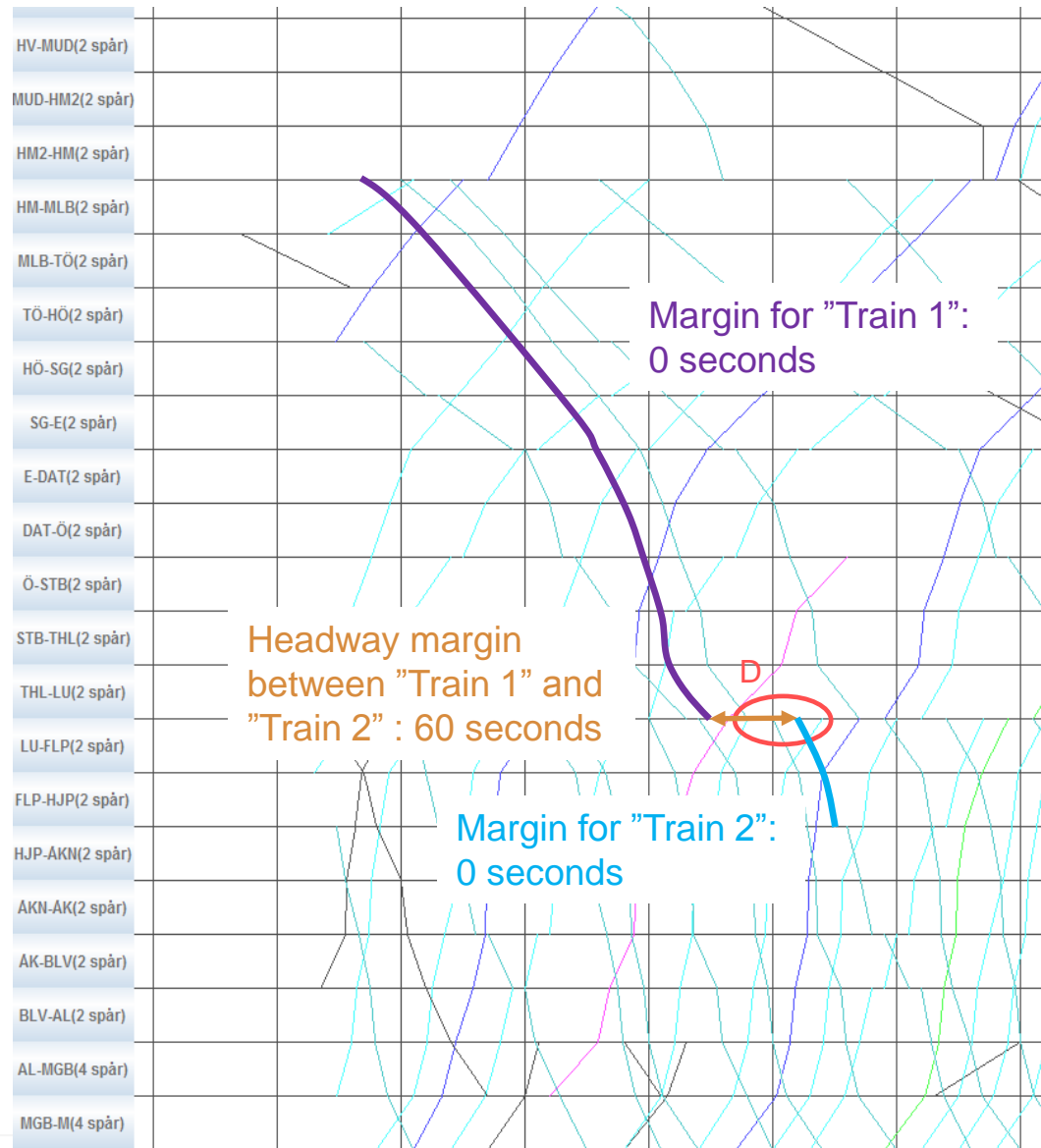


Critical points

- How to increase RCP in a critical point?

1) Increase the headway margin:

$$\text{RCP (D)} = 60 \text{ seconds} = 60 + 0 + 0$$

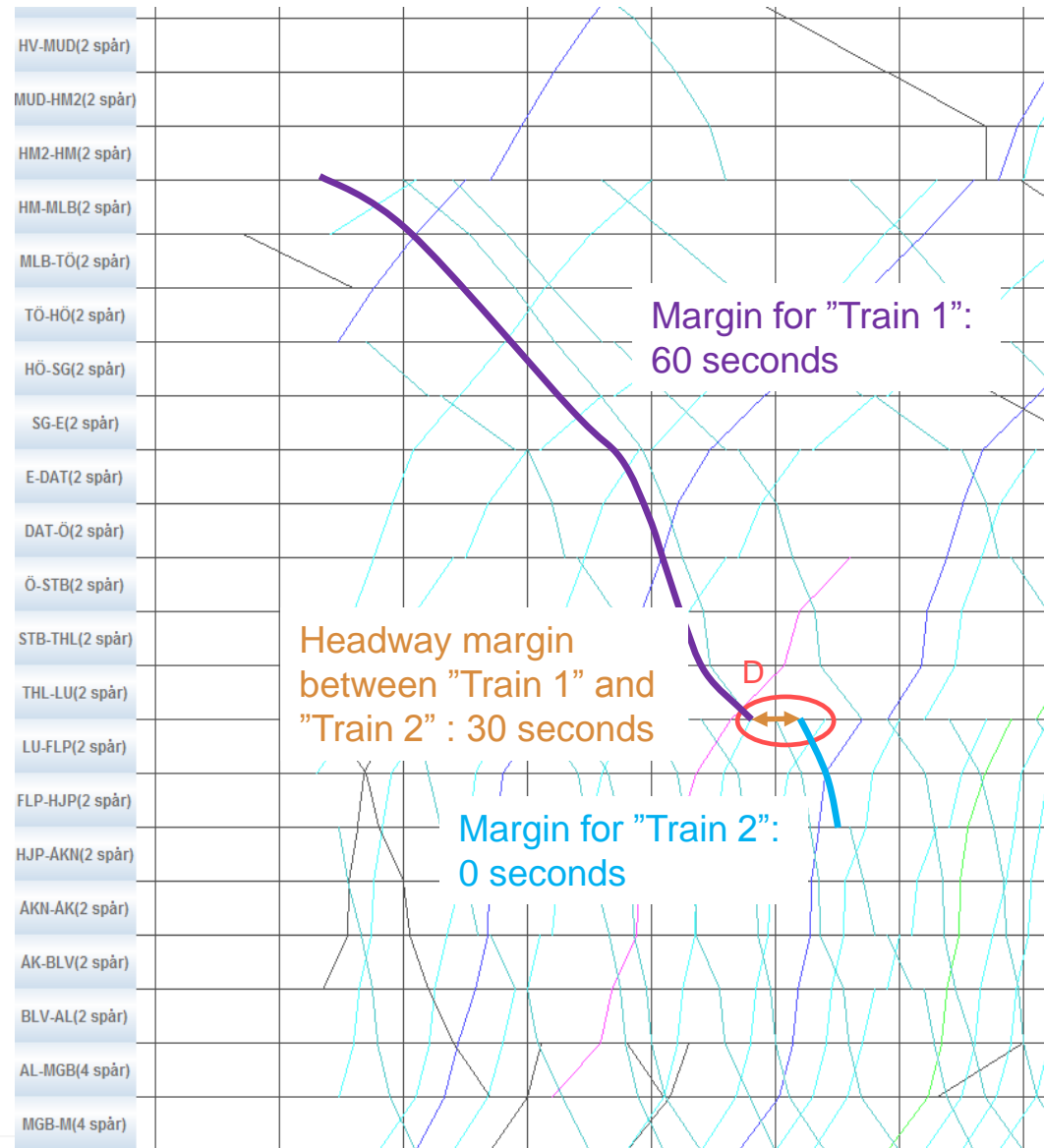


Critical points

- How to increase RCP in a critical point?

2) Increase the runtime margin for "Train 1":

$$\text{RCP (D)} = 90 \text{ seconds} = 60 + 30 + 0$$

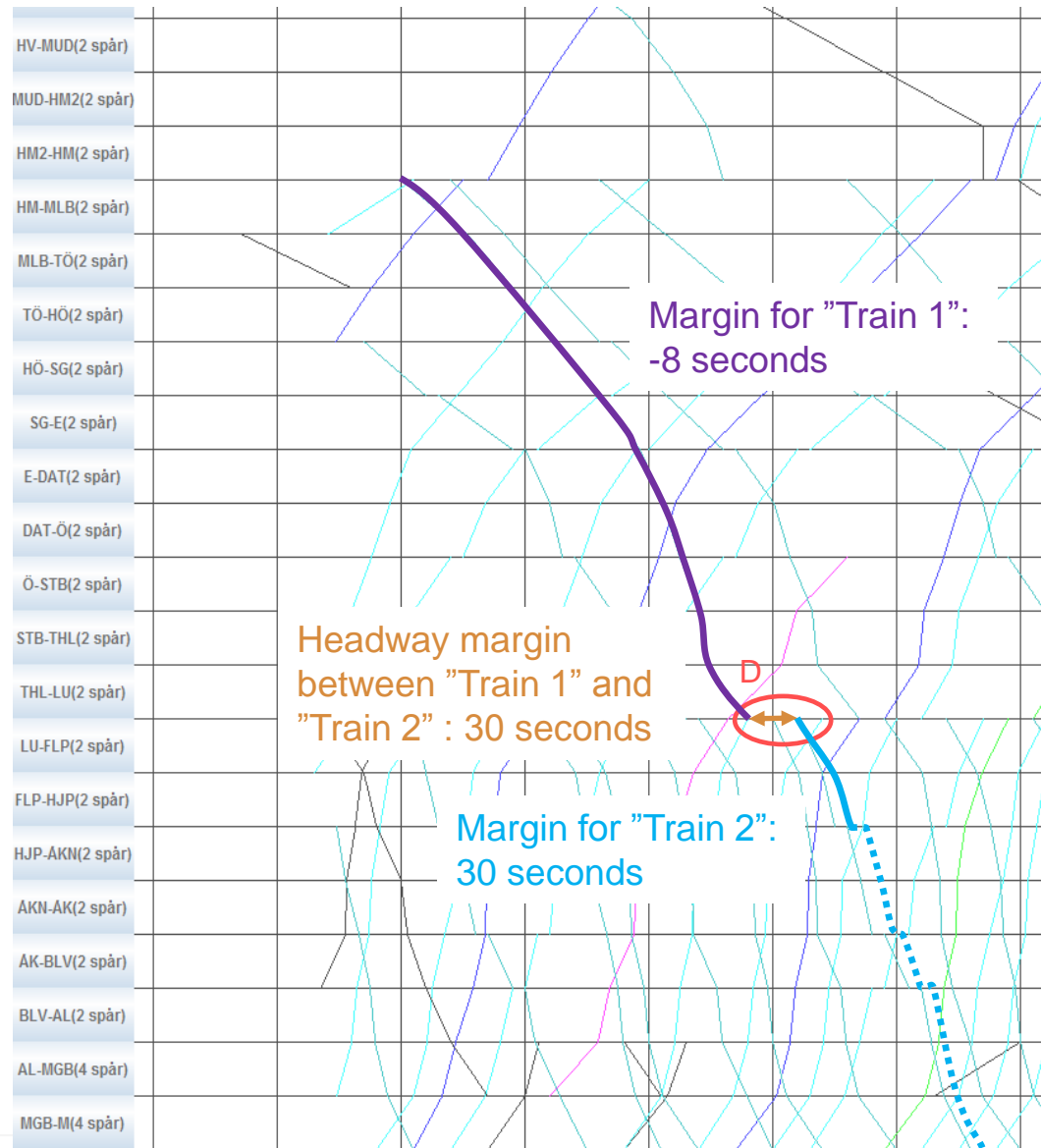


Critical points

- How to increase RCP in a critical point?

3) Increase the runtime margin for "Trains 2":

$$\text{RCP (D)} = 52 \text{ seconds} = 30 + -8 + 30$$

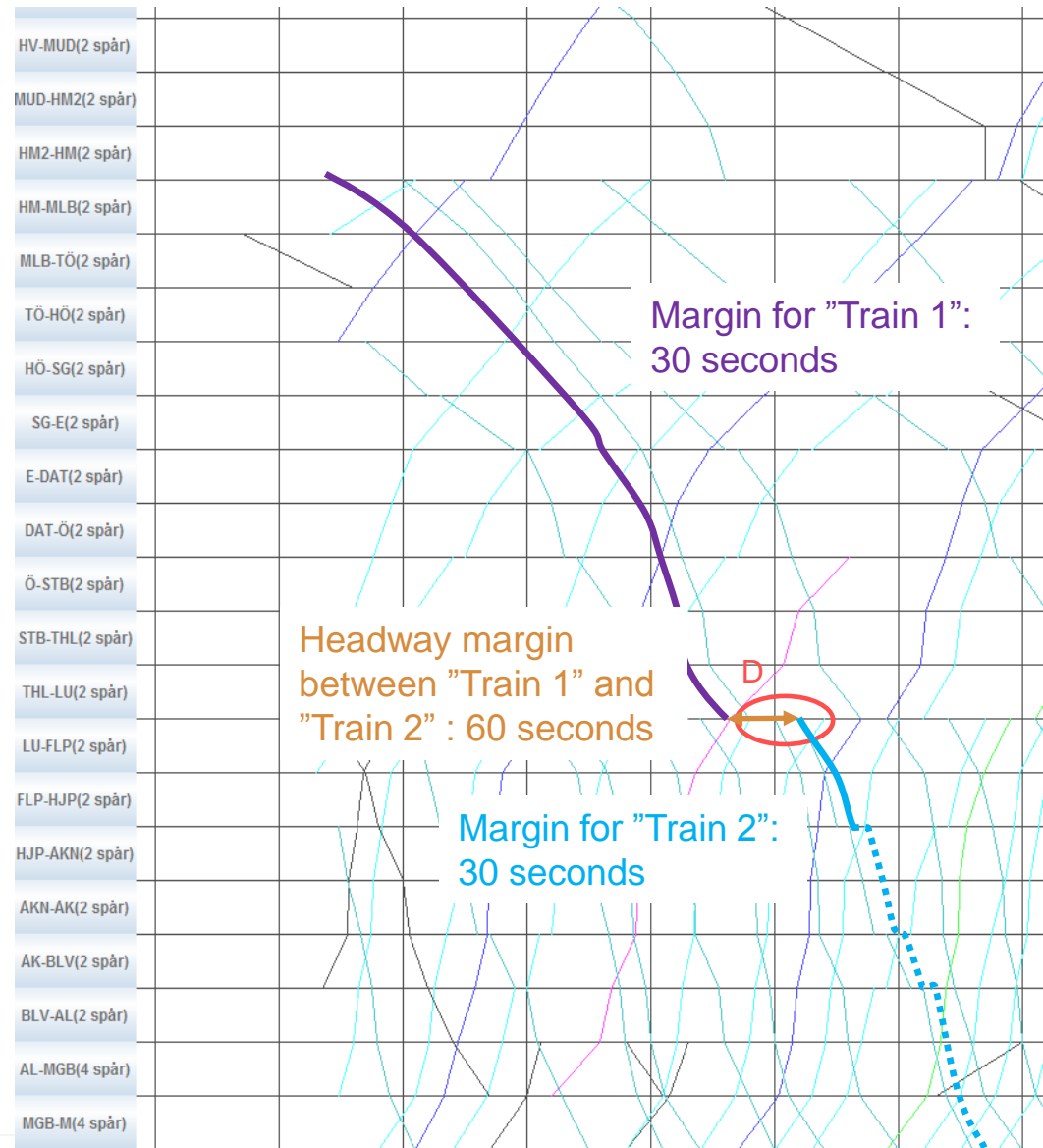


Critical points

- How to increase RCP in a critical point?

- 1) Increase the headway margin
- 2) Increase the runtime margin for "Train 1"
- 3) Increase the runtime margin for "Trains 2"

$$\text{RCP (D)} = 120 \text{ seconds} = 60 + 30 + 30$$





Slutsatser

- Snabbtågen har många kritiska punkter under resans gång där de lätt kan råka ut för störningar och merförseeningar
- Tidigare robusthetsmått är bra för att jämföra olika tidtabellers robusthet men de säger inte exakt var och hur robustheten borde ökas
- Kritiska punkter ger oss en specifik plats, tid och specifika tåg där tidtabellen är störningskänslig
- RCP är ett mått som indikerar var man borde placera ut mer marginaler för att uppnå högre robusthet



Linköpings universitet

expanding reality



www.liu.se