

**RI
SE**



TRAFIKVERKET



Grafiska Prognostidtabeller

Sara Gestrelius, Martin Kjellin, RISE
Magnus Backman, Trafikverket

Foto: Bo Lundin



Varför startades GRAPRO?

- Tidtabellsanalys baserat på en grafisk tidtabell är en av metoderna som används för att analysera framtida investeringar.
- Kan optimering användas för att snabbare ta fram denna prognostidtabell?

$$T_{bel} = \sum_{k=1}^{k=n} (T_{tåg} + T_{konf})_k + \sum_{j=1}^{j=m} (T_{kors})$$

$$T_{bel} = \sum_{k=1}^{k=n} (T_{gång} + T_{möte} + T_{inf} + T_{fjb})_k,$$



Datorer och matematik

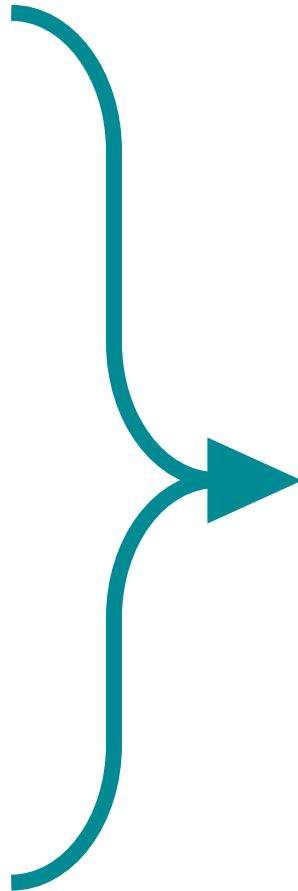
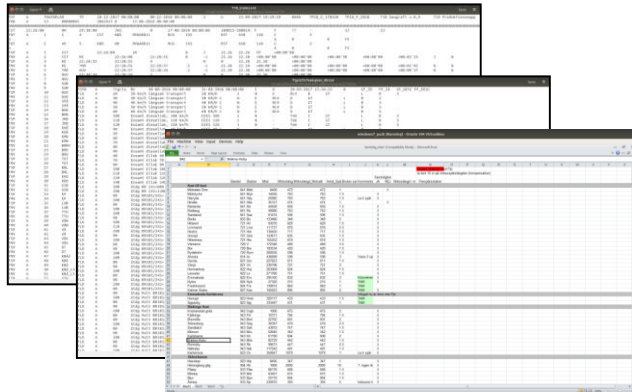
- En dator gör vad den är programmerad att göra, dvs. vad du “säger” att den ska göra.
- En dator är inte “smart”.
- Men en dator kan göra beräkningar extremt snabbt.



För att optimera fram en tidtabell behövs:

- ✓ Bivillkor (Krav)
- ✓ Målfunktion (Definition av "bäst")
- ✓ Algoritm (metod) för att komma fram till den bästa tidtabellen

Bivillkor



```
Skane_Prog_1.lp
~/Projects/Martin/FLTP/Svn/FLTP/Code/Problems

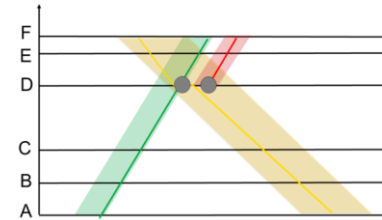
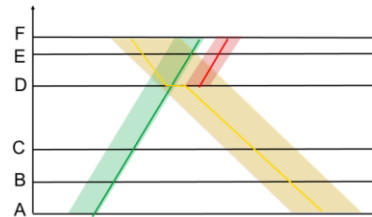
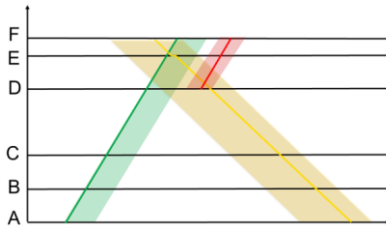
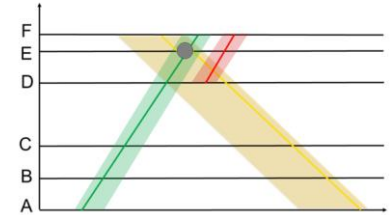
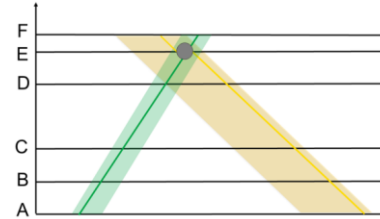
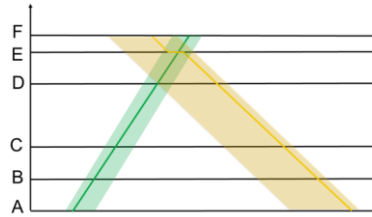
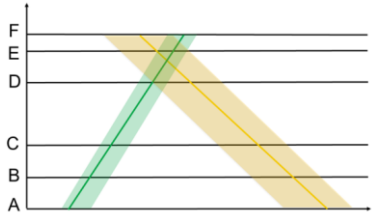
Iloc7633: w10402os2_OE_ND_O_KAP >= 116
Iloc7634: 145 g10402os2_OE_ND - w10402os2_OE_ND_O_KAP <= 0
Iloc7635: - w10402os2_OE_ND_O_KAP + 148 g10402os2_KAP <= 0
Iloc7636: - t10402os2_OE_ND_O_KAP - w10402os2_OE_ND_O_KAP + t10402os2_KAP
= 0
Iloc7637: - 999999 g10402os2_KAP + w10402os2_KAP <= 61
Iloc7638: - t10402os2_KAP - w10402os2_KAP + t10402os2_KAP_O_CR1 = 0
Iloc7639: 121 g10402os2_KAP - w10402os2_KAP_O_CR1 <= 0
Iloc7640: - 100 g10402os2_KAP - w10402os2_KAP_O_CR1 <= -100
Iloc7641: - t10402os2_KAP_O_CR1 - w10402os2_KAP_O_CR1 + t10402os2_CR1 = 0
Iloc7642: w10402os2_CR1 <= 61
Iloc7643: - t10402os2_CR1 - w10402os2_CR1 + t10402os2_CR1_O_CR = 0
Iloc7644: - t10402os2_CR1_O_CR + t10402os2_CR - w10402os2_CR1_O_CR = 0
Iloc7645: - t10402os2_CR + t10402os2_outside - w10402os2_CR = 0
Iloc7646: t10402os3_GSS_O_SI - w10402os3_SI - t10402os3_SI = 0
Iloc7647: - t10402os3_GSS_O_SI + t10402os3_GSS - w10402os3_GSS_O_SI = 0
Iloc7648: - t10402os3_GSS + t10402os3_SMP_O_GSS - w10402os3_GSS = 0
Iloc7649: - t10402os3_SMP_O_GSS + t10402os3_SMP - w10402os3_SMP_O_GSS = 0
Iloc7650: - t10402os3_SMP + t10402os3_LUP_O_SMP - w10402os3_SMP = 0
Iloc7651: - t10402os3_LUP_O_SMP + t10402os3_LUP - w10402os3_LUP_O_SMP = 0
Iloc7652: - t10402os3_LUP + t10402os3_TLI_O_LUP - w10402os3_LUP = 0
Iloc7653: - t10402os3_TLI_O_LUP + t10402os3_TLI - w10402os3_TLI_O_LUP = 0
Iloc7654: - t10402os3_TLI + t10402os3_TLI_O_K_OE_P - w10402os3_TLI = 0
Iloc7655: - t10402os3_TLI_O_K_OE_P + t10402os3_K_OE_P
- w10402os3_TLI_O_K_OE_P = 0
Iloc7656: - t10402os3_K_OE_P + t10402os3_K_OE_P_O_Y - w10402os3_K_OE_P = 0
Iloc7657: - t10402os3_K_OE_P_O_Y + t10402os3_Y - w10402os3_K_OE_P_O_Y = 0
Iloc7658: - t10402os3_Y + t10402os3_VLB_O_Y - w10402os3_Y = 0
Iloc7659: 231 g10402os3_VLB - w10402os3_VLB_O_Y <= 0
Iloc7660: - 204 g10402os3_VLB - w10402os3_VLB_O_Y <= -204
Iloc7661: - t10402os3_VLB_O_Y - w10402os3_VLB_O_Y + t10402os3_VLB = 0
Iloc7662: - 999999 g10402os3_VLB + w10402os3_VLB <= 61
Iloc7663: - t10402os3_VLB - w10402os3_VLB + t10402os3_STE_O_VLB = 0
Iloc7664: 70 g10402os3_VLB - w10402os3_STE_O_VLB <= 0
Iloc7665: - 54 g10402os3_VLB - w10402os3_STE_O_VLB <= -54
Iloc7666: - t10402os3_STE_O_VLB - w10402os3_STE_O_VLB + t10402os3_STE = 0
Iloc7667: - t10402os3_STE + t10402os3_MRH_O_STE - w10402os3_STE = 0

Plain Text Tab Width: 8 Ln 104748, Col 11 INS
```

Algoritm

- Iterativ heuristik som lägger till tåg och fixerar mötesplatser.

Gestrelius, S., Aronsson, M., & Peterson, A. "A MILP-based heuristic for a commercial train timetabling problem."
Transportation research Procedia 27 (2017): 569-576.

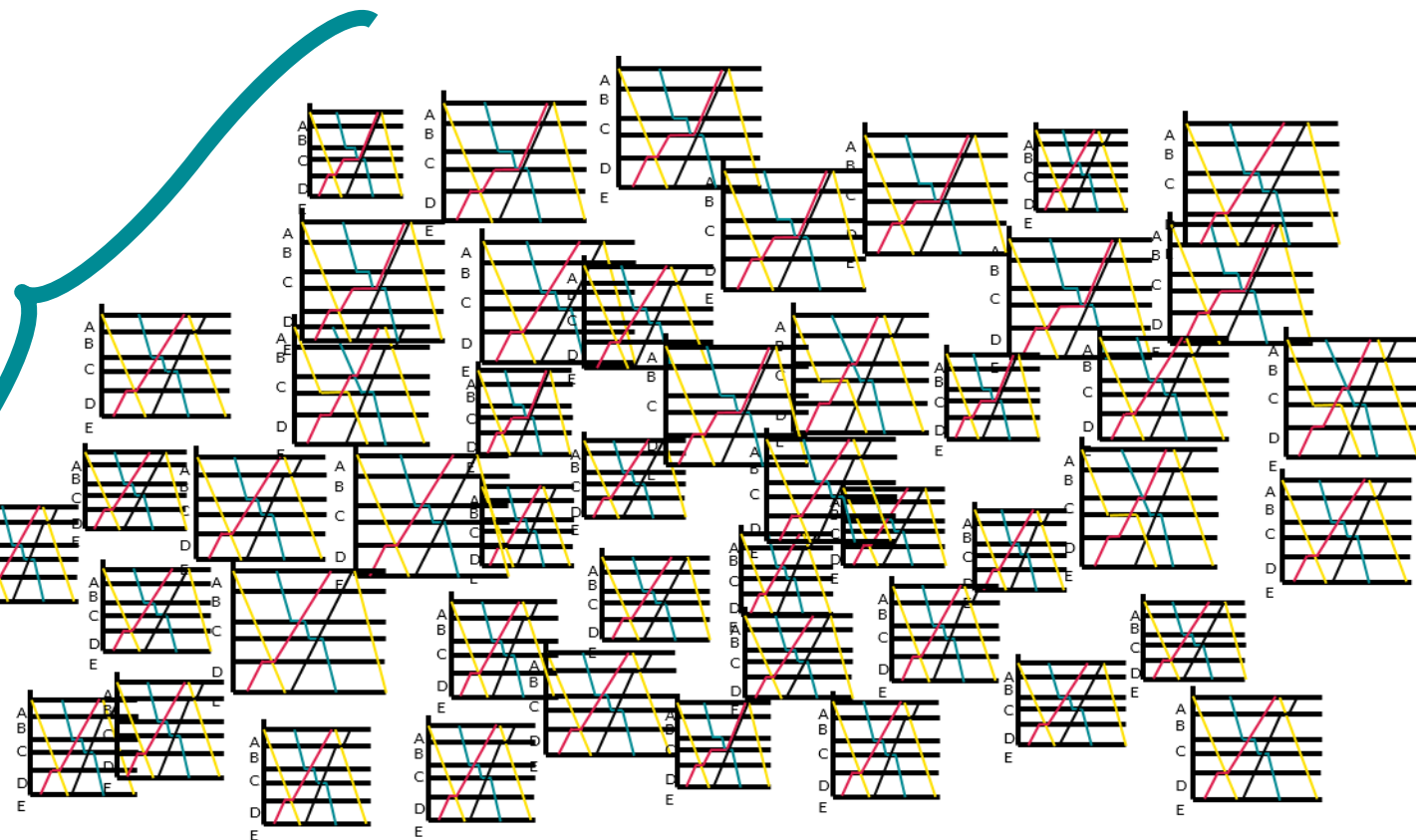


Målfunktion

-

Bivillkoren (kraven) specificerar många giltiga tidtabeller..

```
11477831 11480011_10_M0_3_ASP == 110
11477832 100 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477833 11480011_10_M0_3_ASP == 100 11480011_ASP == 0
11477834 11480011_10_M0_3_ASP == 100 11480011_ASP == 0
11477835 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP + 11480011_ASP
11477836 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_ASP
11477837 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_ASP == 0
11477838 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_ASP == 0
11477839 100 11480011_ASP == 11480011_ASP == 100
11477840 100 11480011_ASP == 11480011_ASP == 100
11477841 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477842 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477843 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477844 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477845 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477846 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477847 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477848 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477849 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477850 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477851 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477852 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477853 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477854 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477855 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 11480011_10_M0_3_ASP == 0
11477856 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477857 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477858 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477859 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477860 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477861 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477862 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477863 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477864 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477865 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477866 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
11477867 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 11480011_A_M0_P == 0
```



Målfunktion

-

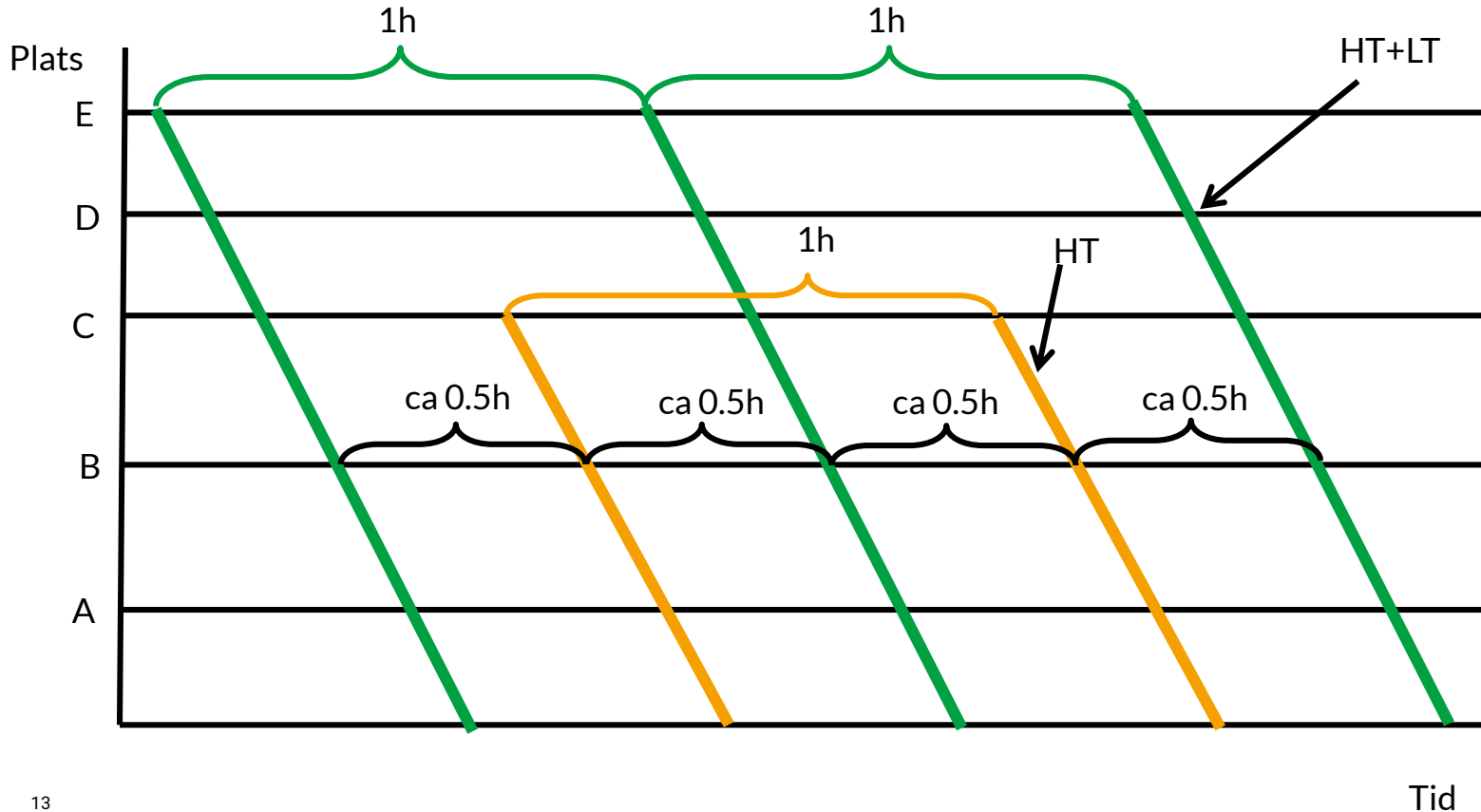
Målfunktion

- Korta restider.

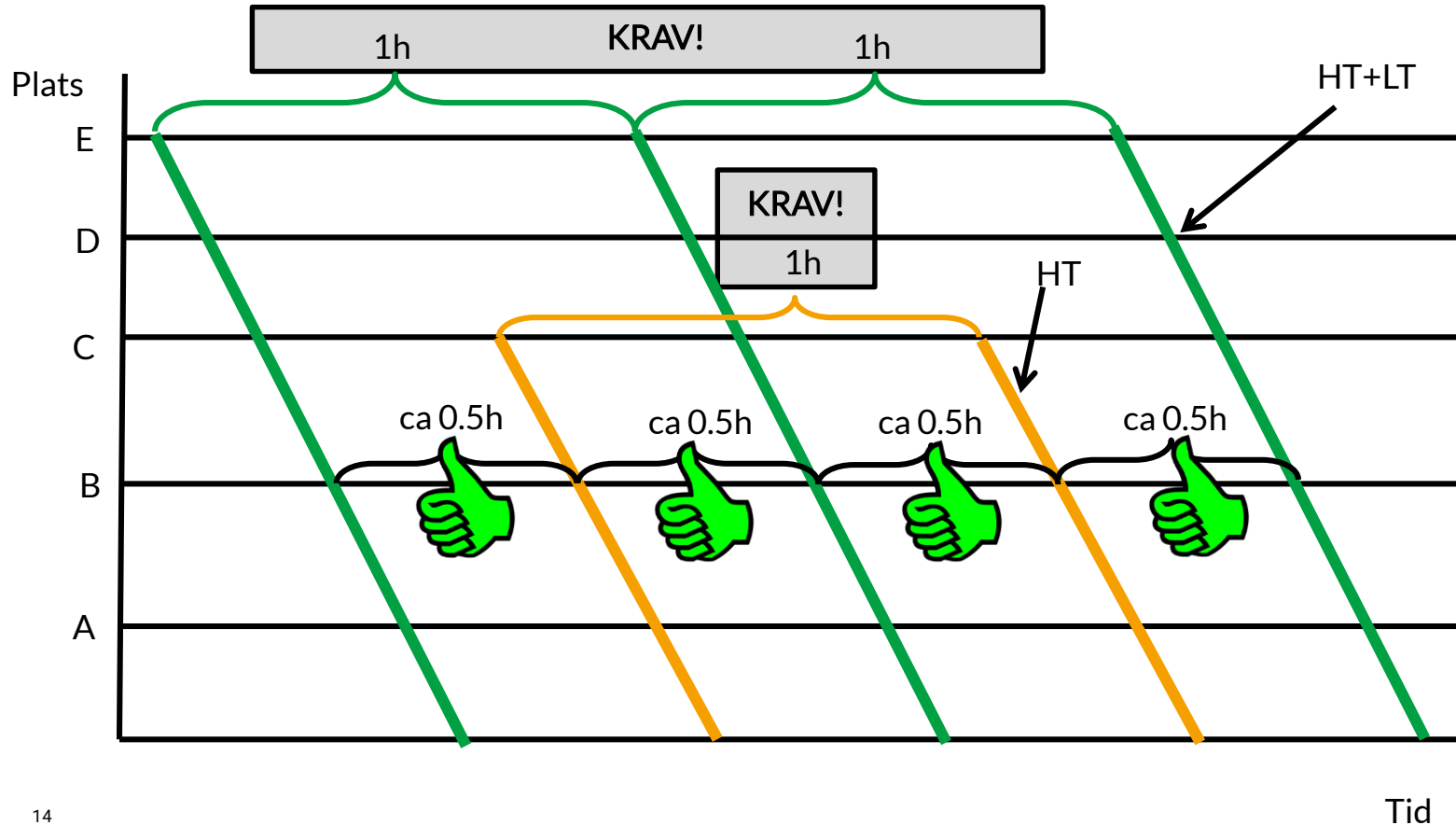
Målfunktion

- Korta restider.
- Bra beroenden.

Persontrafik baserat på prognosen






Persontrafik baserat på prognosen



Målfunktion

- Korta restider.
- Bra beroenden.

Målfunktion

- Korta restider  Minimera summan av körtider  $\min \sum_{r \in R} t_r^\infty - t_r^0$
- Bra beroenden  Minimera summan av “feltid” för linjetågslägen på stationer med passagerarutbyte


$$\min \sum_{d \in D, s \in S(d)} \Delta_d^s$$

Testfall

- Skåne ++.
- Testa olika mötesplatsutbyggnader mellan Ystad och Simrishamn.



Fall 1



Fall 2

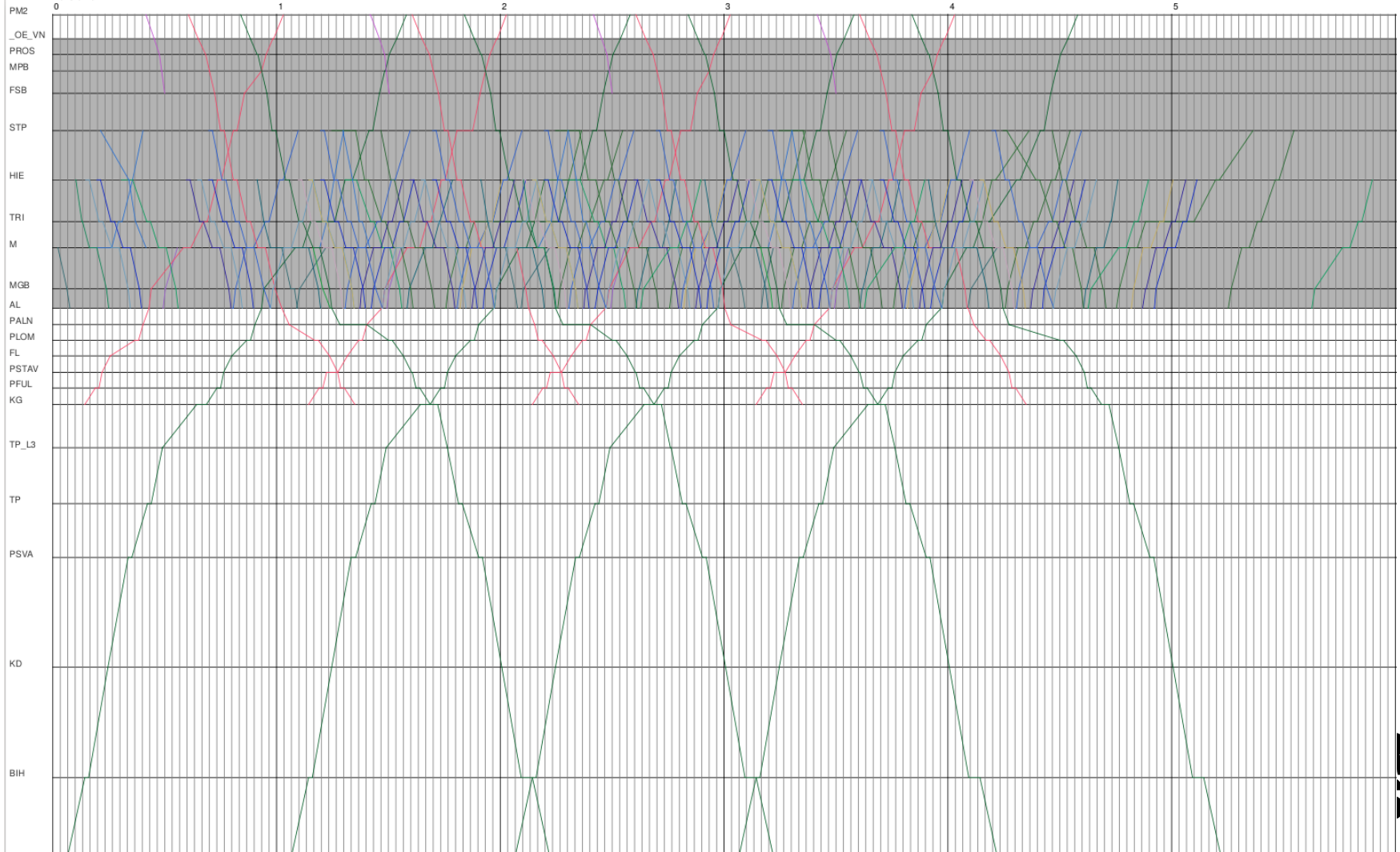


Data

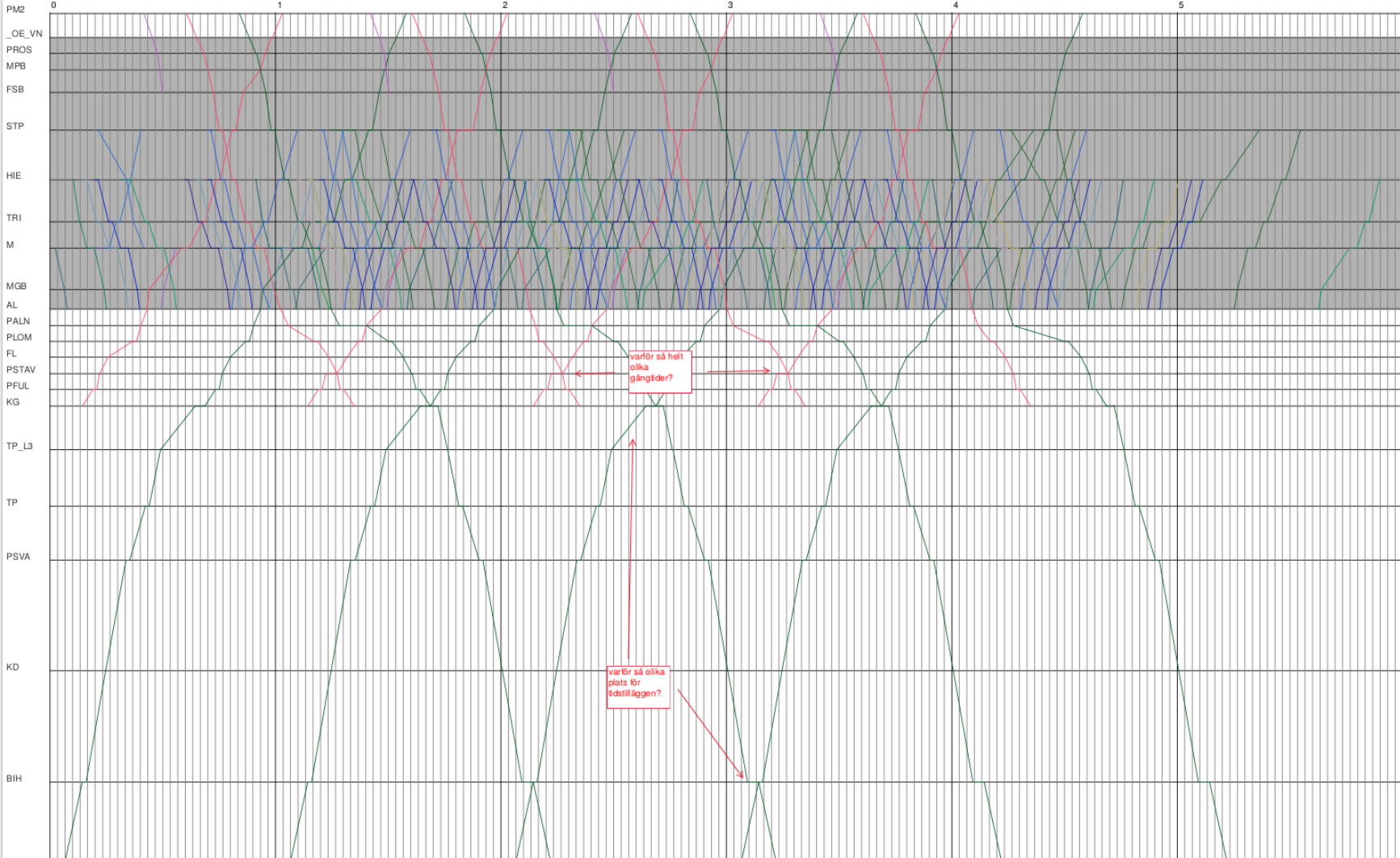
- Persontrafik baserat på prognosen.
- Geografin baseras på T18s geografi, men med nya geografi där denna sak byggs.
- Magnus tog fram nya driftsplatser och gångtidsmallar för hand.

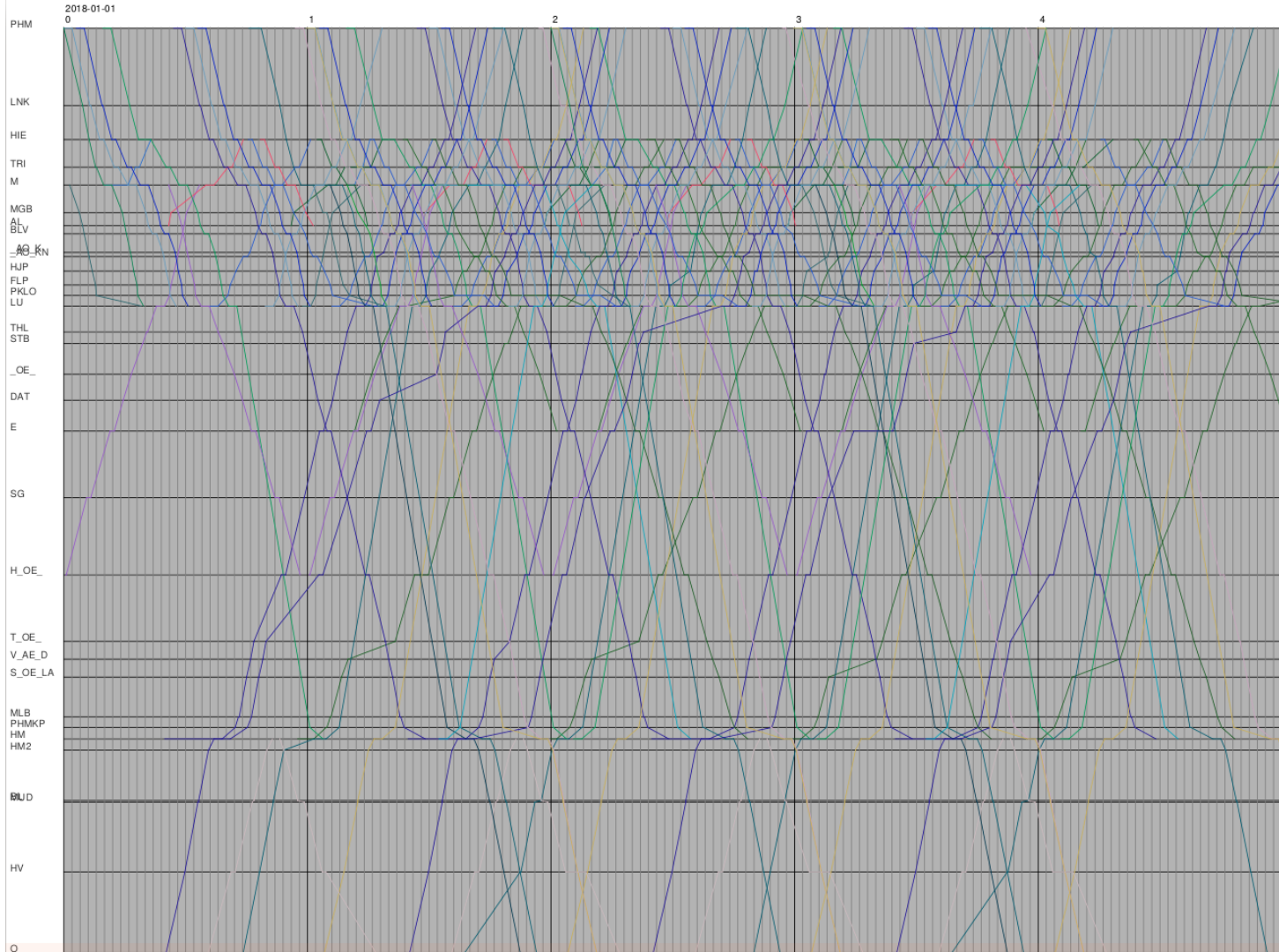


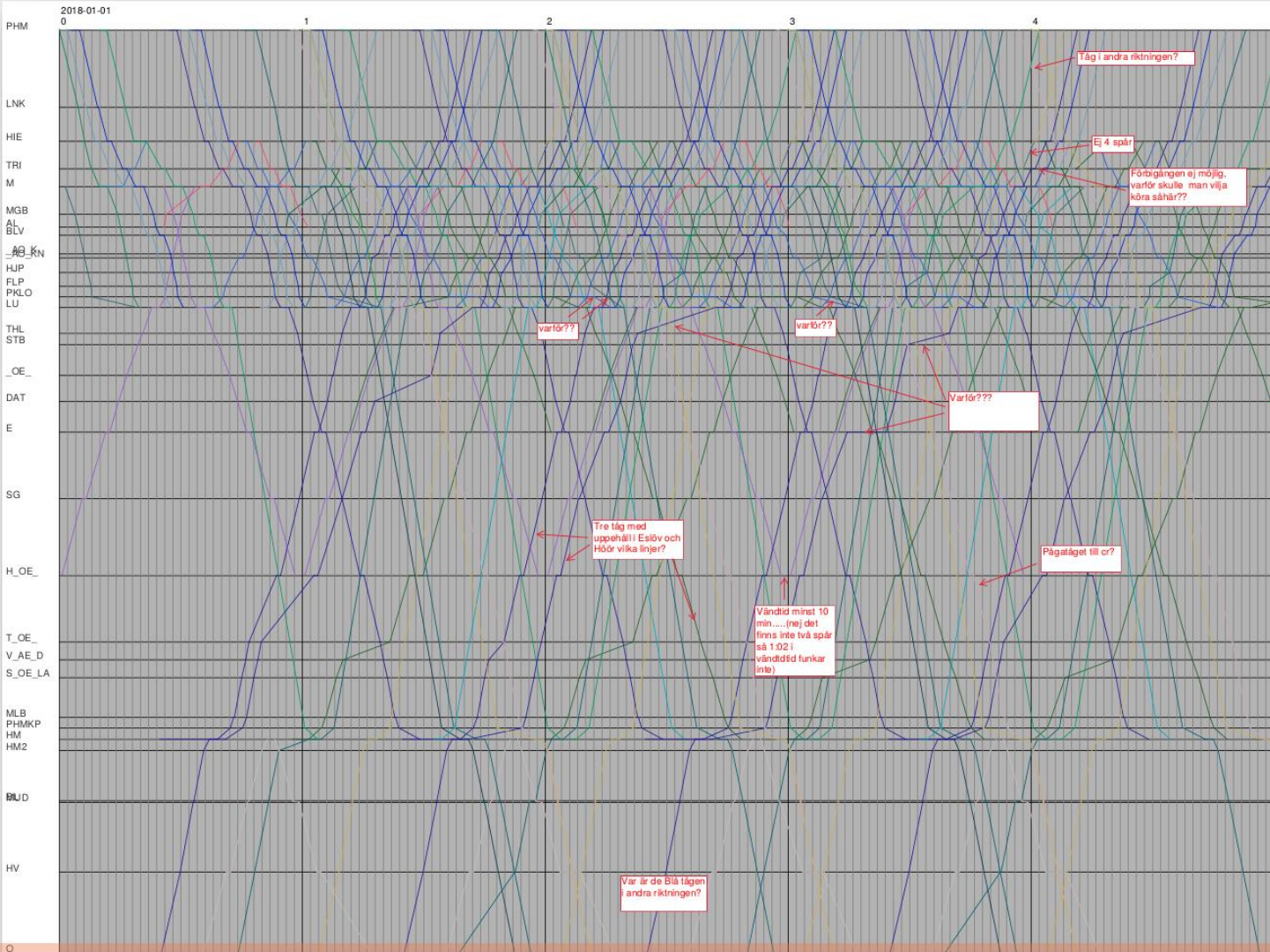
2018-01-01



2018-01-01







Utvecklingar

Utvecklingar

- Linjekörtider är viktigare än enskilda tågs körtider...
- ...och en linje ska helst ha samma körtid i båda riktningarna.

Utvecklingar

- Linjekörtider är viktigare än enskilda tågs körtider...
- ...och en linje ska helst ha samma körtid i båda riktningarna.
- Stanna inte i onödan...
- ...och bromsa och accelerarera inte i onödan.

Utvecklingar

- Linjekörtider är viktigare än enskilda tågs körtider...
- ...och en linje ska helst ha samma körtid i båda riktningarna.
- Stanna inte i onödan...
- ...och bromsa och accelerarera inte i onödan.
- Det är lättare att analysera tidtabellen om linjetåglägena är ungefär likadana.

Utvecklingar

- Linjekörtider är viktigare än enskilda tågs körtider...
- ...och en linje ska helst ha samma körtid i båda riktningarna.
- Stanna inte i onödan...
- ...och bromsa och accelerarera inte i onödan.
- Det är lättare att analysera tidtabellen om linjetåglägena är ungefär likadana.

Ny målfunktion







Ny målfunktion

Ny målfunktion

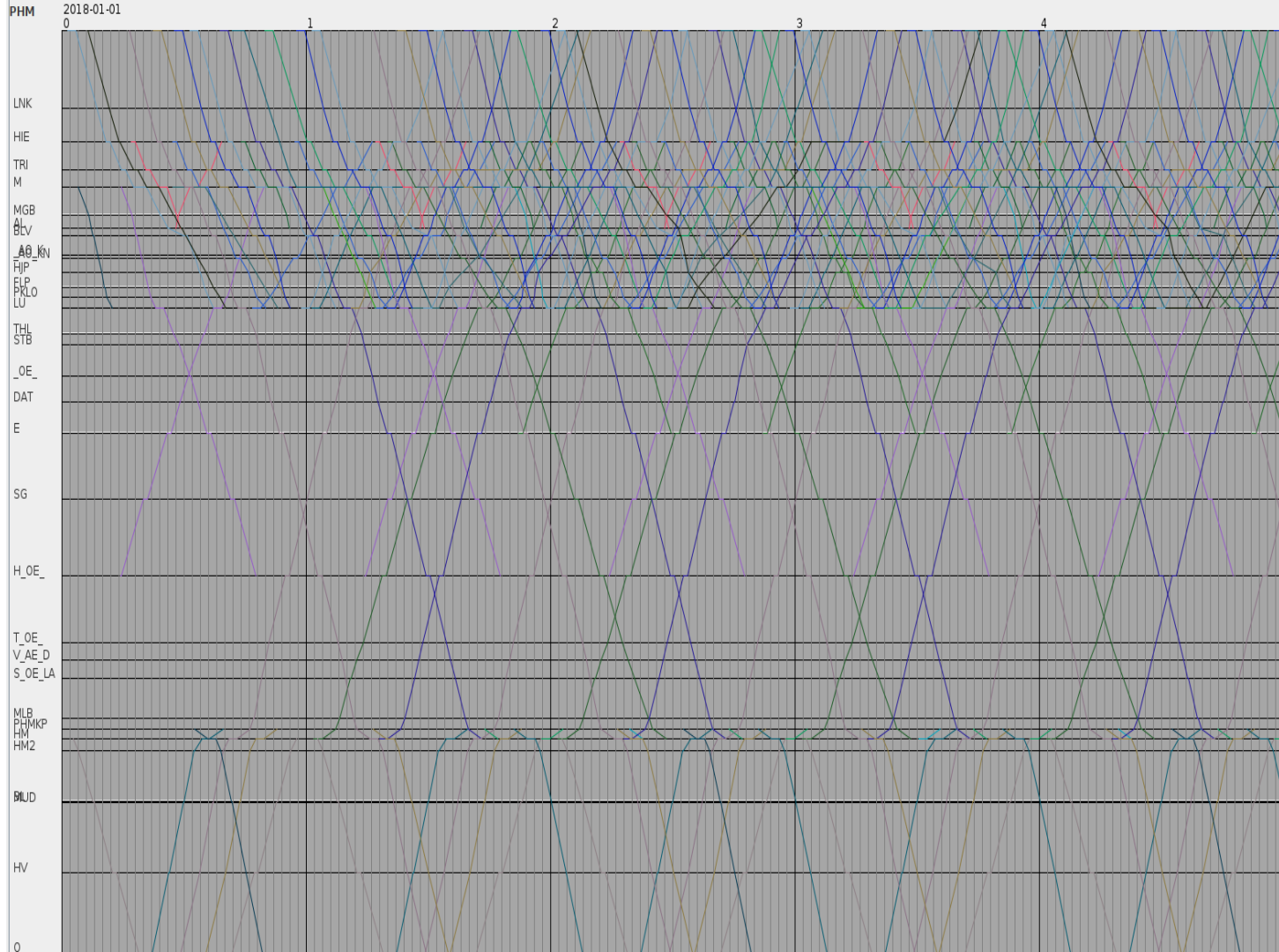
Ny målfunktion

Ny målfunktion (och nya variabler)

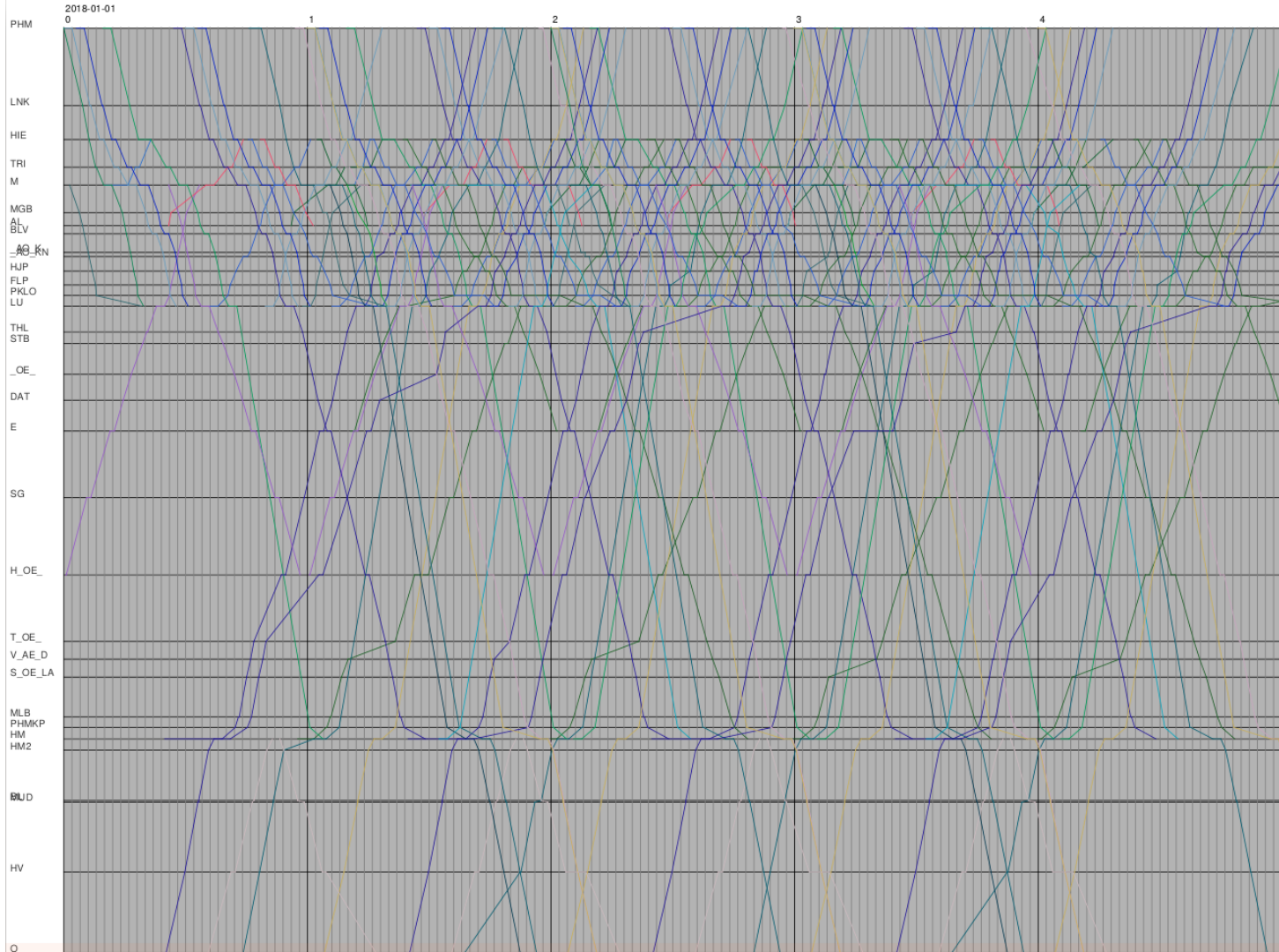
Sex olika målfunktioner användes i optimeringen:

-  1. Minimering av summan av körtider.
-  2. Minimering av värdet av beroendebrott och linjekörtid, där beroendebrott har en viktning på 10000 och linjekörtiden har viktning i enlighet med prioriteringskriterierna.
-  3. Minimera summan av linjekörtider.
-  4. Minimera antalet stop.
-  5. Minimera skillnaden mellan olika linjetåglägen.
-  6. Minimera skillnader i tågs hastighet för på varandra följande länkar.

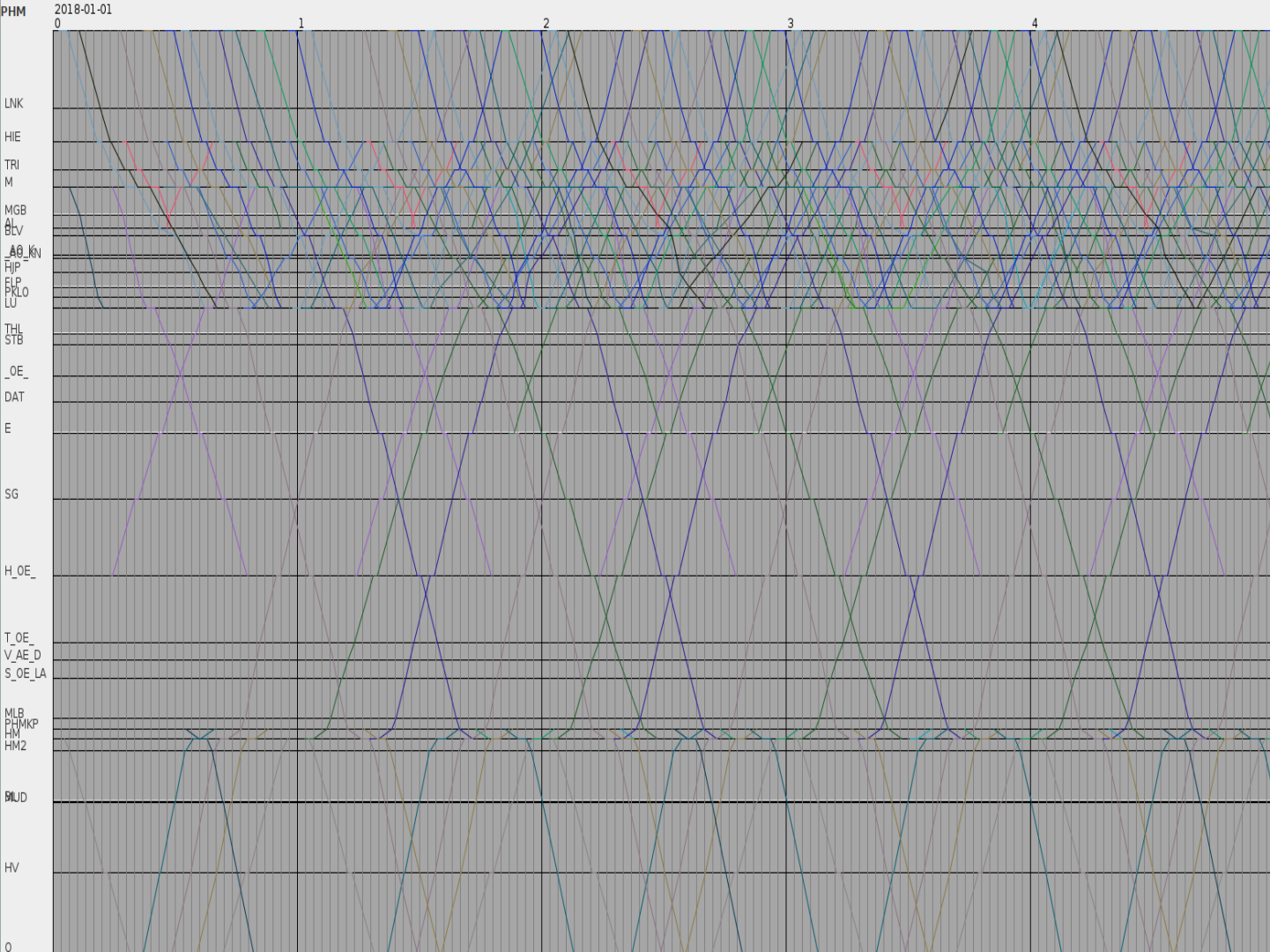
Ny tidtabell



Gamal tidtabel



Ny tidtabell



Hur gick det med testfallet?

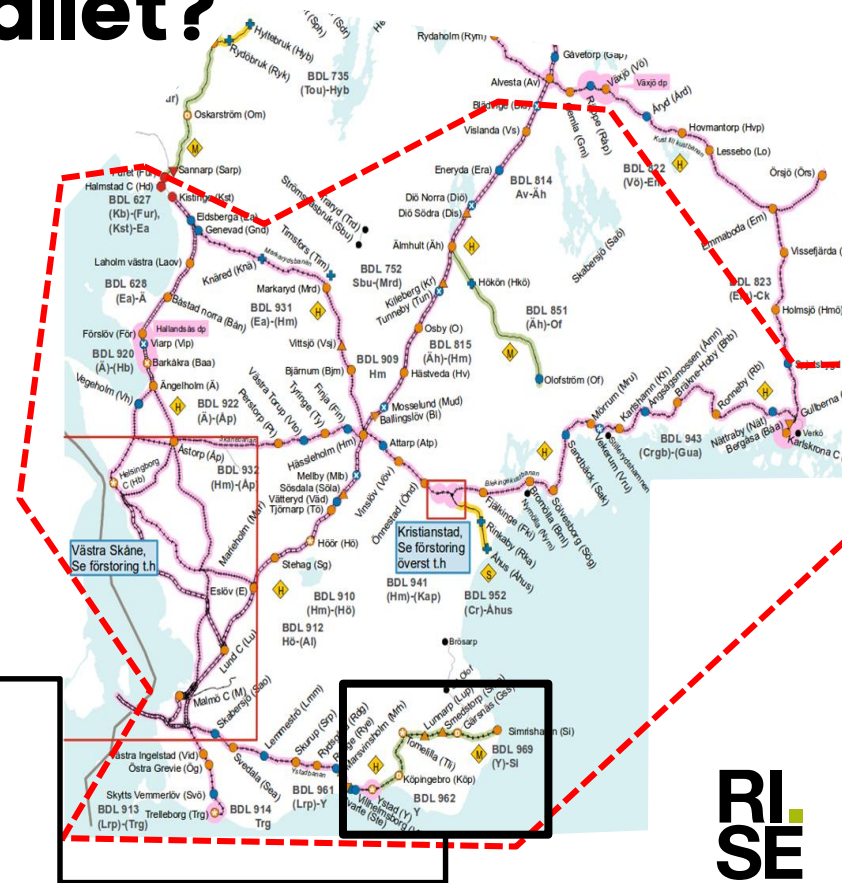
- Skåne ++.
- Testa olika mötesplatsutbyggnader mellan Ystad och Simrishamn.

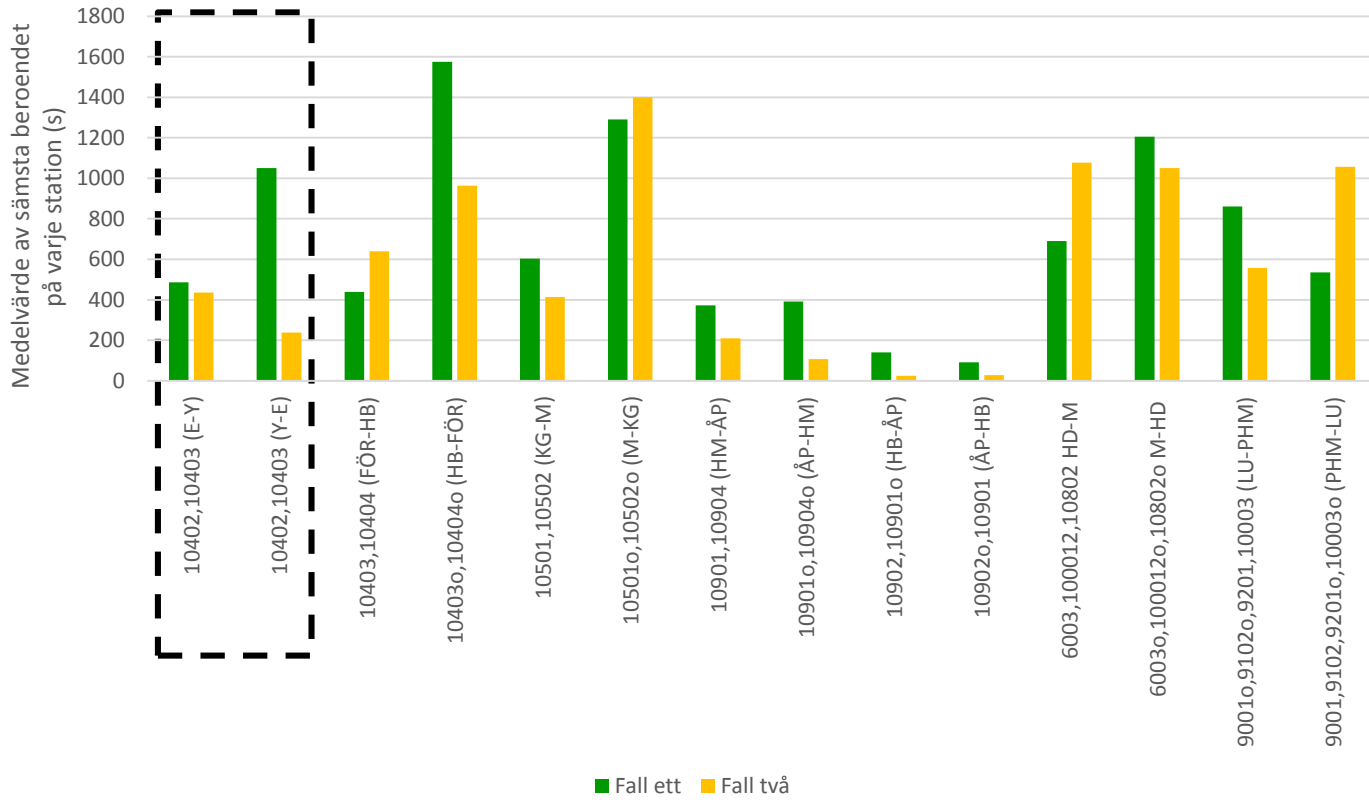


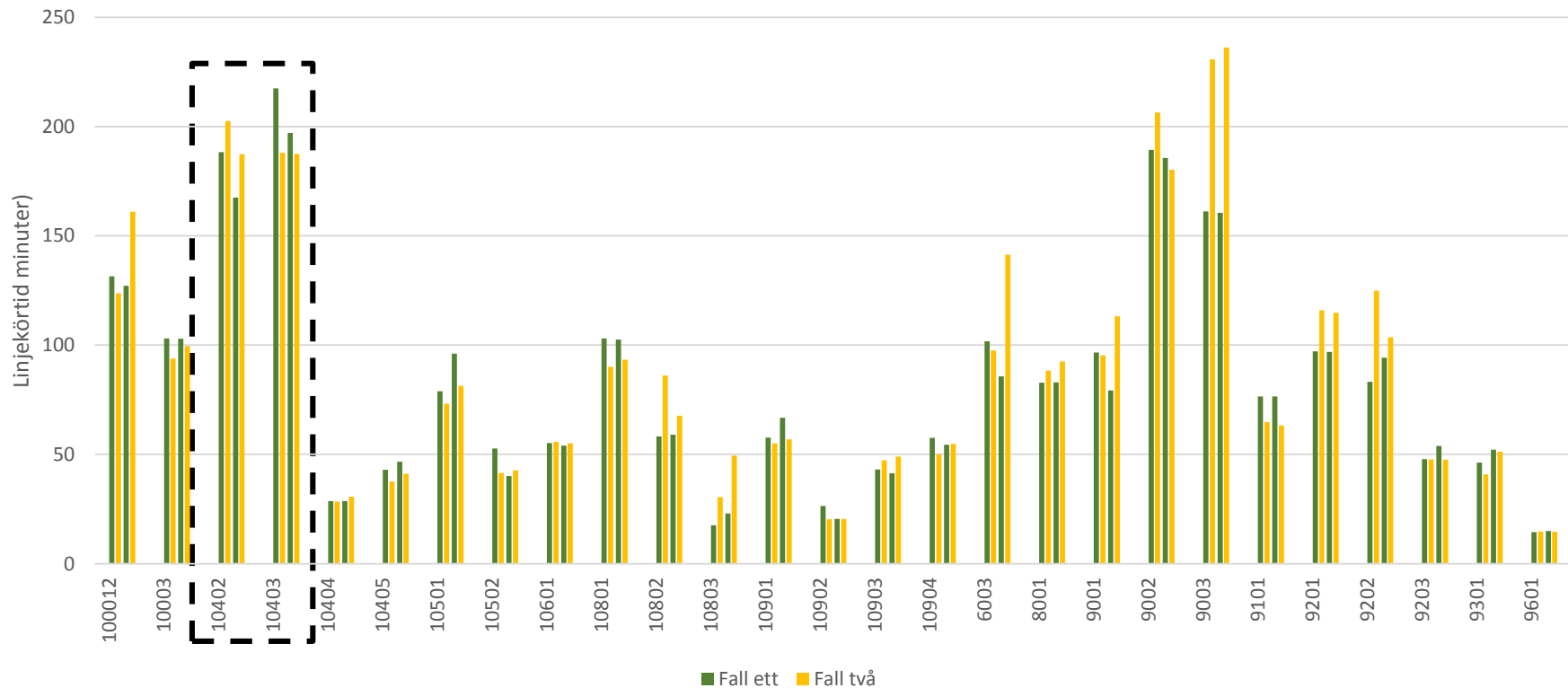
Fall 1

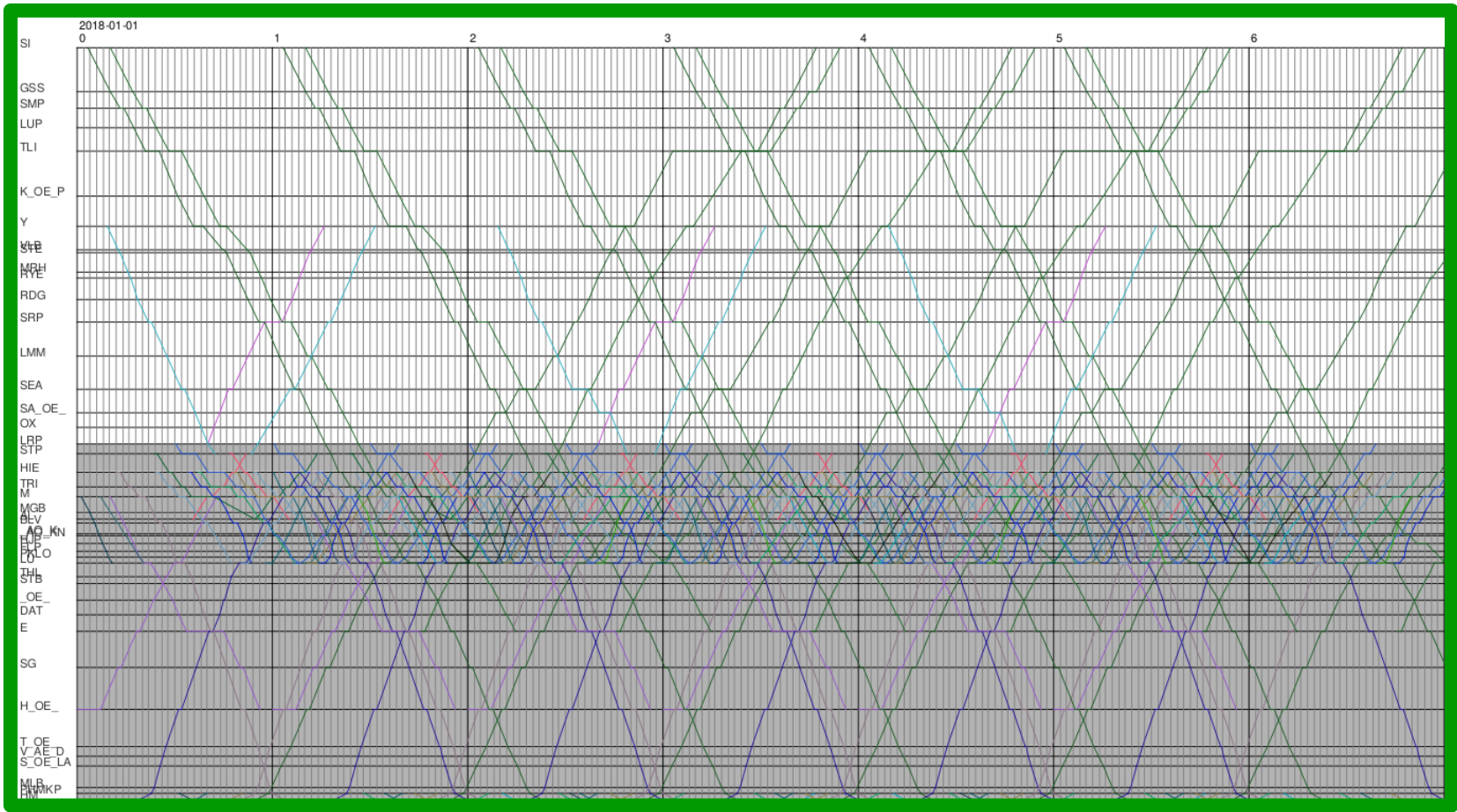


Fall 2









2018-01-01
0

1

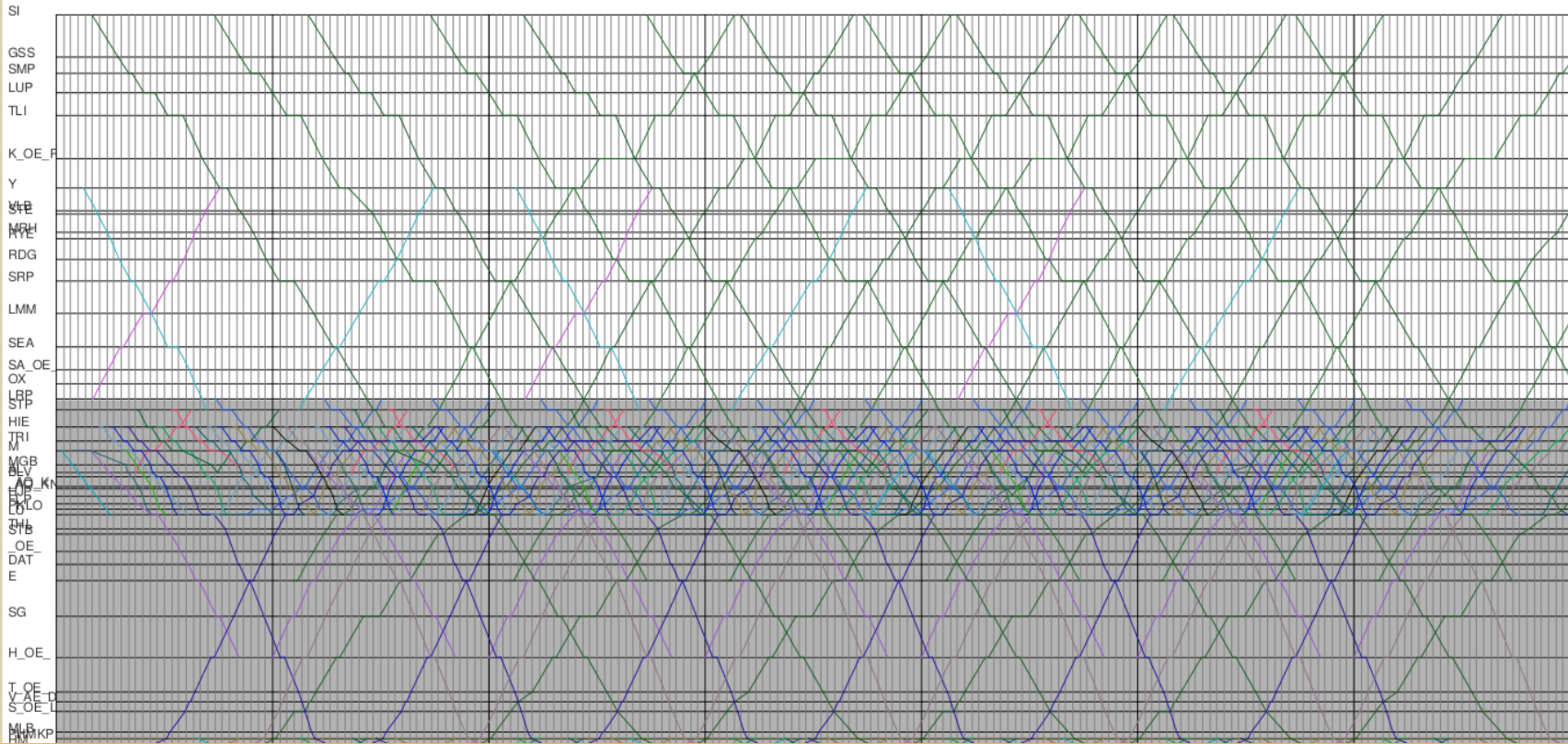
2

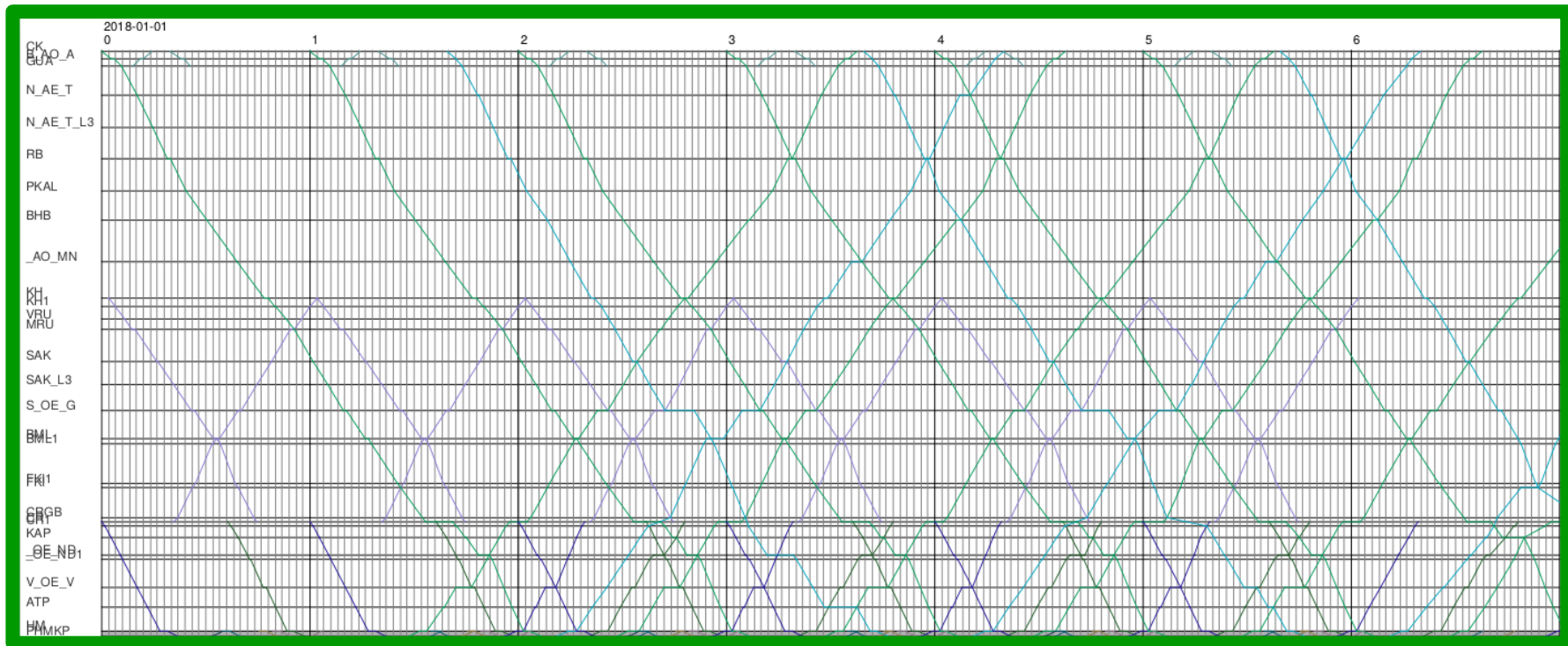
3

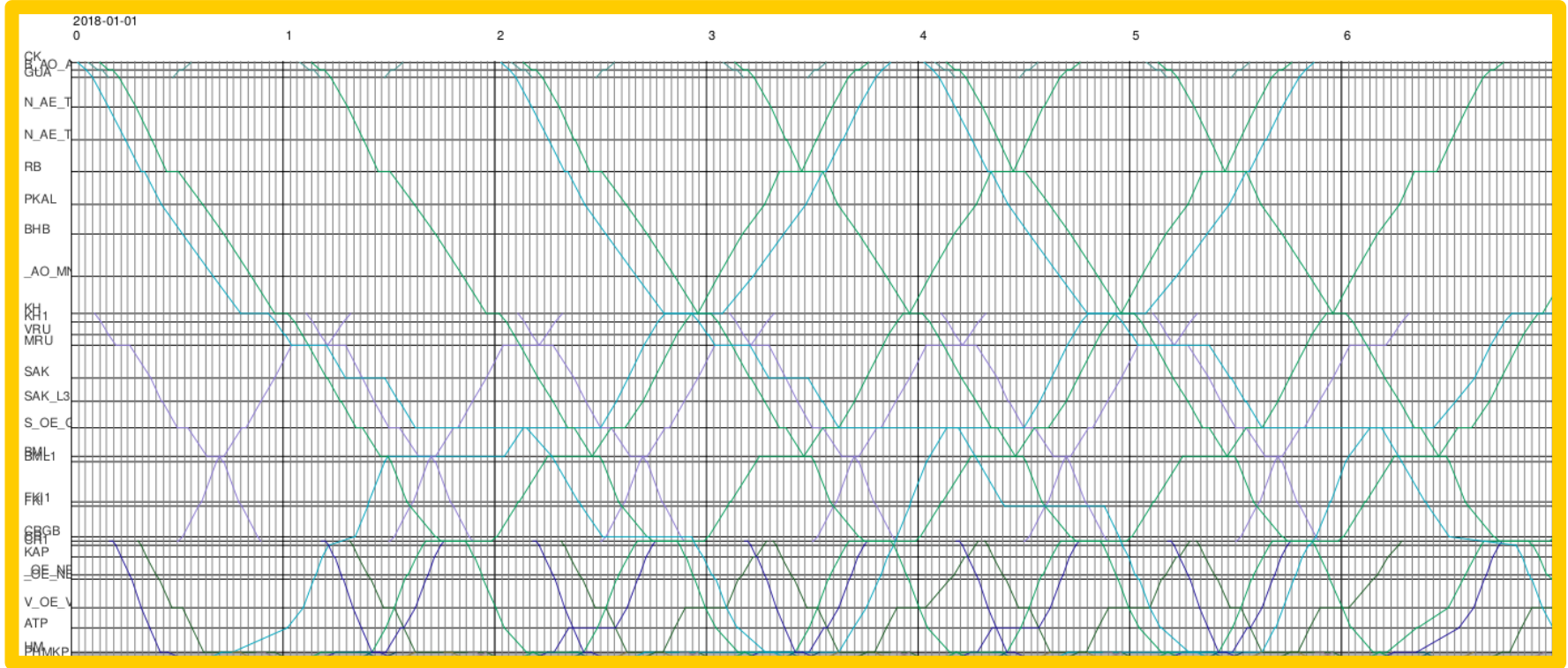
4

5

6







Slutsatser

- Det går att generera grafiska prognostidtabeller med optimering...

Slutsatser

- Det går att generera grafiska prognostidtabeller med optimering...
- ...men mer utvecklingsarbete behövs för att de ska bli användbara för en analytiker.

Slutsatser

- Det går att generera grafiska prognostidtabeller med optimering...
- ...men mer utvecklingsarbete behövs för att de ska bli användbara för en analytiker.



Stabilitet och svarstider

Slutsatser

- Det går att generera grafiska prognostidtabeller med optimering...
- ...men mer utvecklingsarbete behövs för att de ska bli användbara för en analytiker.

Stabilitet och svarstider

Funktionalitet (stationer och fordonsvändningar)

Slutsatser

- Det går att generera grafiska prognostidtabeller med optimering...
- ...men mer utvecklingsarbete behövs för att de ska bli användbara för en analytiker.

Stabilitet och svarstider

Funktionalitet (stationer och fordonsvändningar)

Interaktion mellan algoritm och analytikern

Slutsatser

- Det går att generera grafiska prognostidtabeller med optimering...
- ...men mer utvecklingsarbete behövs för att de ska bli användbara för en analytiker.



Samarbete i
forskningsprojekt!

Stabilitet och
svarstider

Funktionalitet
(stationer och
fordons-
vändningar)

Interaktion mellan
algoritm och
analytikern

Slutsatser

- Det går att generera grafiska prognostidtabeller med optimering...
- ...men mer utvecklingsarbete behövs för att de ska bli användbara för en analytiker.



Samarbete i
forskningsprojekt!

Stabilitet och
svarstider

Funktionalitet
(stationer och
fordons-
vändningar)

Interaktion mellan
algorithm och
analytikern

- Vi behöver data på TrainPlan nivå.

**RI
SE**



TRAFIKVERKET

Tack för idag!

sara.gestrelius@ri.se

Foto: Bo Lundin

