

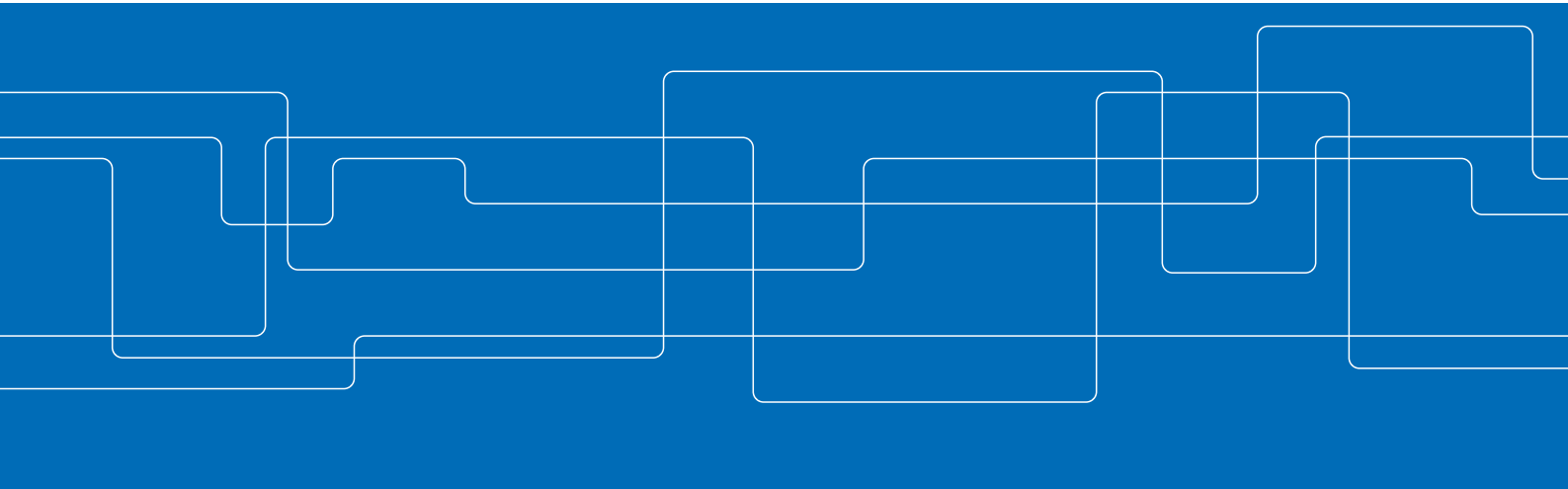


KTH ROYAL INSTITUTE
OF TECHNOLOGY

Simuleringsbaserad optimering av tidtabeller (KAJT-projekt: FlexÅter)

Johan Högdahl

KAJT-dagar 2018, 17 april 2018.





Metod: Kombinerad optimering och simulering

Olika frågeställningar

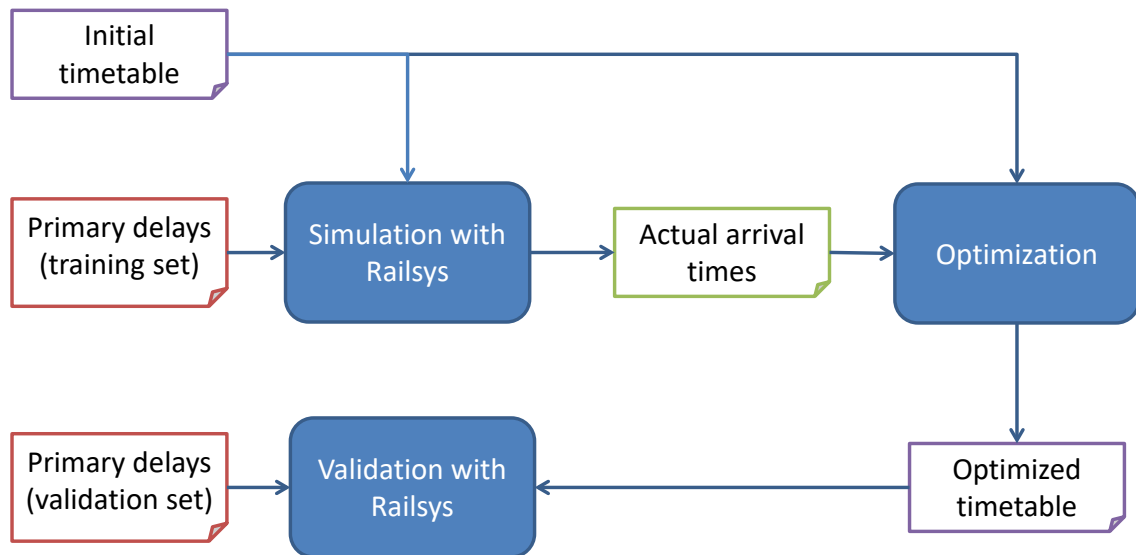
- ▶ Optimering: Vilken är den mest effektiva tidtabellen?
- ▶ Simulering: Har tidtabell A bättre punktlighet än B?

Varför kombinera dessa metoder?

- ▶ Effekten av slumpmässiga störningar eller osäkra faktorer är svårt att inkludera vid optimering.
- ▶ Hur välja tidtabeller att simulera? Hur förbättra en given tidtabell?



Simuleringsbaserad optimering





Optimeringsmodellen (sammanfattning)

- ▶ Vi söker ankomst och avgångtid till och från varje station.
- ▶ Vi låter tågordningen vara förbestämd.
- ▶ Vi vill minimera
 - ▶ $F(t)$ – den totala planerade restiden.
 - ▶ $G(t \mid y, \bar{x})$ – den totala förväntade medelförseningen.
- ▶ De två motstridiga målen viktas mot varandra med parametern $\alpha \in [0, 1]$.

$$\begin{aligned} \text{minimize} \quad & f(t) = \alpha F(t) + (1 - \alpha) G(t \mid y, \bar{x}) \\ \text{s. t.} \quad & t \in X(\bar{x}) \end{aligned}$$



Optimeringsmodellen (sammanfattning)

Den förväntade medelförseningen beräknas approximativt och bygger på följande antaganden

- (i) Längre restid leder till mindre förseningar.
- (ii) Mindre headway till framförvarande tåg leder till större förseningar (givet att de är tillräckligt nära varandra) .

Anmärkningar

- ▶ Antagande (ii) modellerar tåginteraktion och behöver kalibreras.
- ▶ Med antagande (ii) introduceras heltalsvariabler → MIP

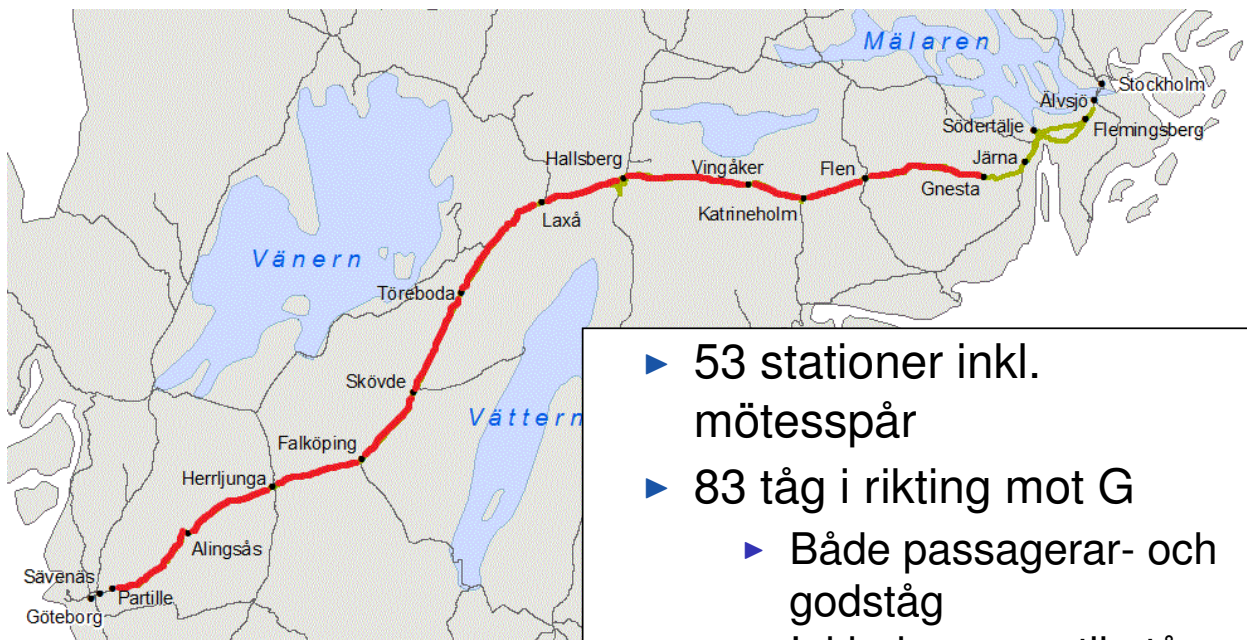


Frågeställningar

- ▶ Behöver tåginteraktionen inkluderas i skattningen av den förväntade medelförseningen?
- ▶ Är de optimerade tidtabellerna bättre än den initiala tidtabellen?
- ▶ Hur påverkas punktligheten av optimeringen?



Västra stambanan, Gn-P



(Källa: Trafikverket)

- ▶ 53 stationer inkl. mötesspår
- ▶ 83 tåg i riktning mot G
 - ▶ Både passagerar- och godståg
 - ▶ Inkluderar samtlig tåg på sträckan kl 05-12



Experiment

- ▶ Jämfört olika värderingar av medelförsening kontra planerad restid i intervallet 2.0-3.7
- ▶ Undersökt olika störningsscenarion
 - ▶ Ingångsförseningar har genererats från samma fördelning.
 - ▶ Uppehållsförseningar har genererats från samma fördelningar (olika för för olika stationer och tågtyp).
 - ▶ Gångtidförseningar exponentialfördelade, och i medel ca μ % av den minimala gångtiden för respektive tågtyp mellan varje station.
- ▶ Respektive störningsscenario använder ett värde på μ (antingen 0, 1, 5, 8, 10, 15 eller 20).

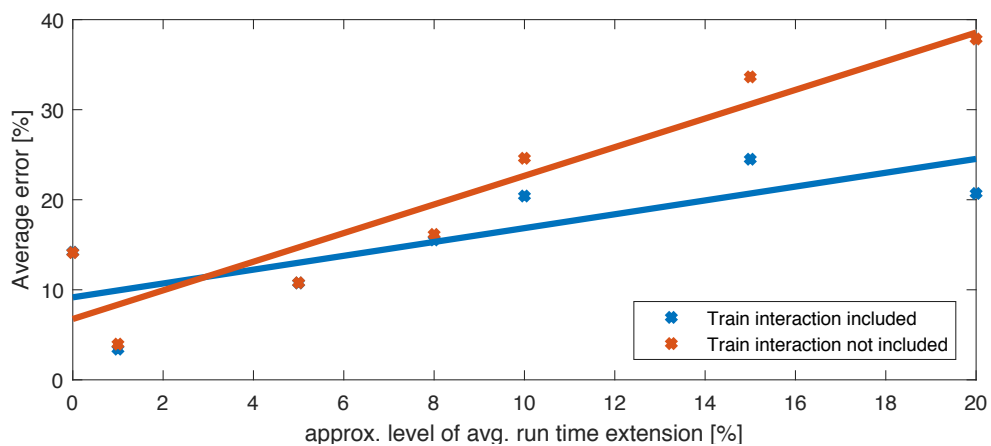


Effekt av att inkludera interaktionen mellan tåg

- ▶ Procentuellt fel för den förväntade medelförseningen jämfört med den observerade medelförseningen.

$$Error_{\alpha} = 100 \frac{G_{\alpha}(t | y, \bar{x}) - G_{\alpha}^{obs}}{G_{\alpha}^{obs}}$$

$$Avg. error = \frac{1}{|A|} \sum_{\alpha \in A} Error_{\alpha}$$



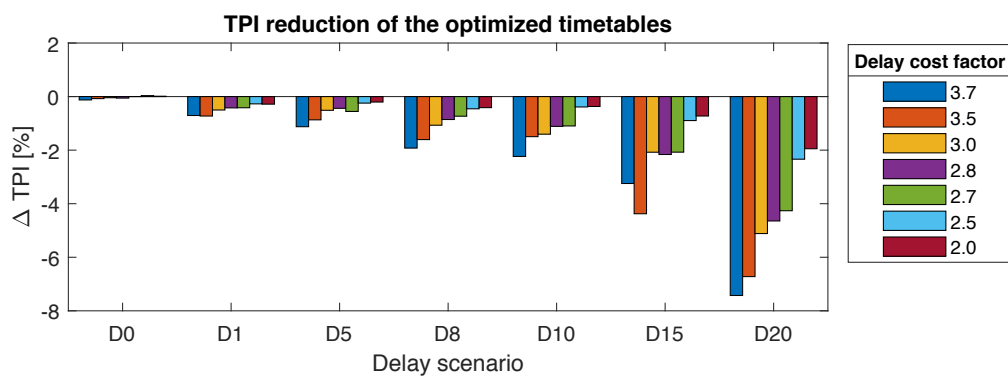


Effekt av optimeringen map. TPI

- ▶ Effekten av optimeringen utvärderas med hjälp av TPI (Warg, 2016):

$$TPI_x = TT_x + cD_x \quad (1)$$

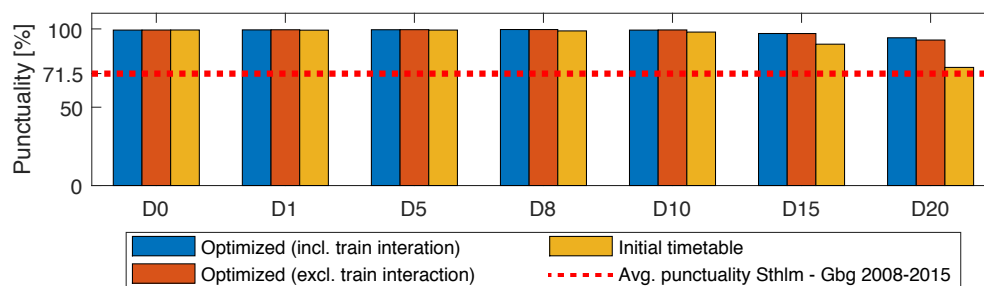
$$I_o = \frac{100}{TPI_i} (TPI_o - TPI_i) \quad (2)$$





Påverkan på punktlighet

Punktlighet vid slutstation (planerad ankomsttid + 5 min)
för olika störningsscenarion:



Anmärkningar

- ▶ Trafikledningsfunktionaliteten inte aktiverad i Railsys.
- ▶ Idealiserad nyttjandegrad av gångtidsmarginaler.



Slutsatser och framtida forskning

Slutsatser

- ▶ Den skattade medelförseningen blir mer precis om tåginteraktionen inkluderas. Tåginteraktionen verkar dock inte ha någon större effekt på punktligheten.
- ▶ Ur ett samhällsekonomiskt perspektiv verkar de optimerade tidtabellerna vara bättre än den initiala.
- ▶ Resultaten tyder på att det är möjligt att förbättra robusthet och punktlighet med den här metoden.



Slutsatser och framtida forskning

Fortsatt forskning

- ▶ Öka modellens tillämparhet.
- ▶ Tillåta förändringar i inbördes tågordning.
- ▶ Utveckla iterativ metod.