

Probabilistisk metod för trafikdimensionering på kapacitetsbegränsade driftplatser

KAJT Höstseminarium, 2025-11-27

Tomas Lidén, Mikael Fredriksson, Carl Henrik Häll

Projekt ProPå, finansierat av Trafikverket via KAJT

Sponsor: Marika Gjerdrum / Lars Blomberg Zanders

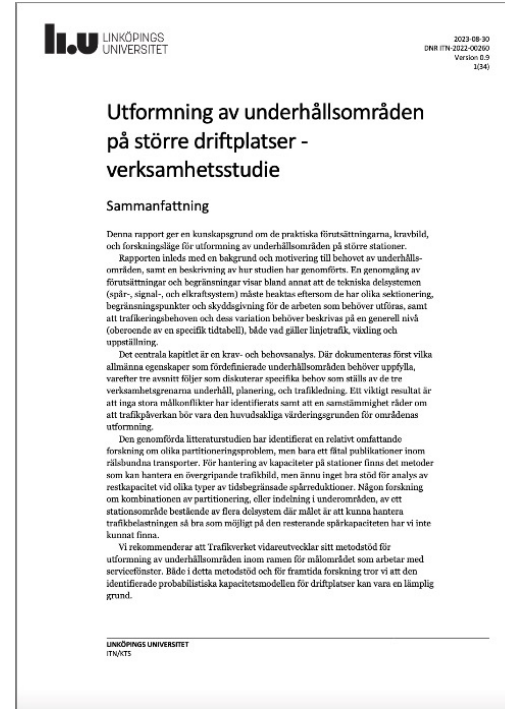
TrV-kontakter: Per Edholm, Leif Lättman

Bakgrund

- Stor anläggningsmassa på driftplatser och knutpunkter
- Få kapacitetsmetoder för dessa
 - Speciellt som kan hantera kapacitetsbegränsningar
- Stöd för strategisk planering / dimensionering behövs

Förstudie identifierade lovande analysmodell

- Corazza & Musso (1991)
- Vidareutvecklad i detta arbete



Lidén, Häll (2022). DIVA: [10.3384/report-199408](https://diva-portal.org/report/199408)

Trafik

Spårlayout, Gävle

För varje relation + ruttalternativ ru :

v_{ru} : trafikvärde per tåg (prioriterad relation/rutt = högre värde)

d_i^{ru} : $0 \leq d_i^{ru} < 1$: uppehållstid (andel av tidsperiod), på spår $i \in \bigcup_{j \in J^{ru}} I_j$

$g_{ruj} = \begin{cases} 1, & \text{om } j \in J^{ru} \\ 0, & \text{annars} \end{cases}$: om tågväg j används eller ej (av ru)

$b_{rui} = d_i^{ru} + \sum_{j \in J^{ru}: i \in I_j} a_j$: beläggningstid på spår i (dvs uppehåll + körtider)

Trafikrelation = [önskad volym, rutter, värde per tåg & rutt]

Rutt = [tågvägar, uppehåll per spår]

Tågväg = [körtid, växlingsområde, spår]

S : set av växlingsområden

I : set av (kapacitetsbegränsade) spår

J : set tågvägar j , med

a_j : $0 < a_j < 1$: körtid (andel av tidsperioden)

$S_j \subseteq S$: växlingsområden som nyttjas

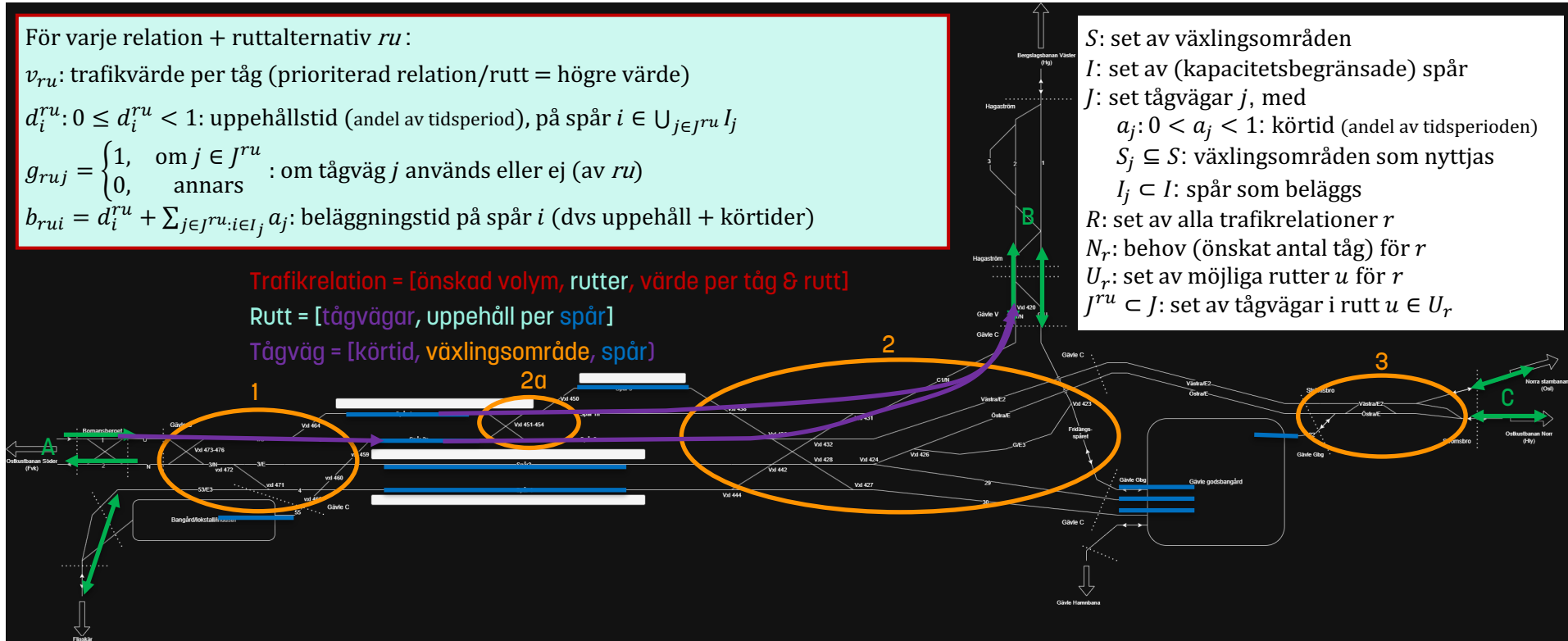
$I_j \subseteq I$: spår som beläggs

R : set av alla trafikrelationer r

N_r : behov (önskat antal tåg) för r

U_r : set av möjliga rutter u för r

$J^{ru} \subseteq J$: set av tågvägar i rutt $u \in U_r$



Problembeskrivning

Spårlayout, Gävle

Mål: Maximera trafikvärdet
dvs välj så många högt värderade tåg/rutter som möjligt

Variabler:
Antal tåg per
relation och rutt

Trafikrelation = [önskad volym, rutter, värde per tåg & rutt]

Rutt = [tågvägar, uppehåll per spår]

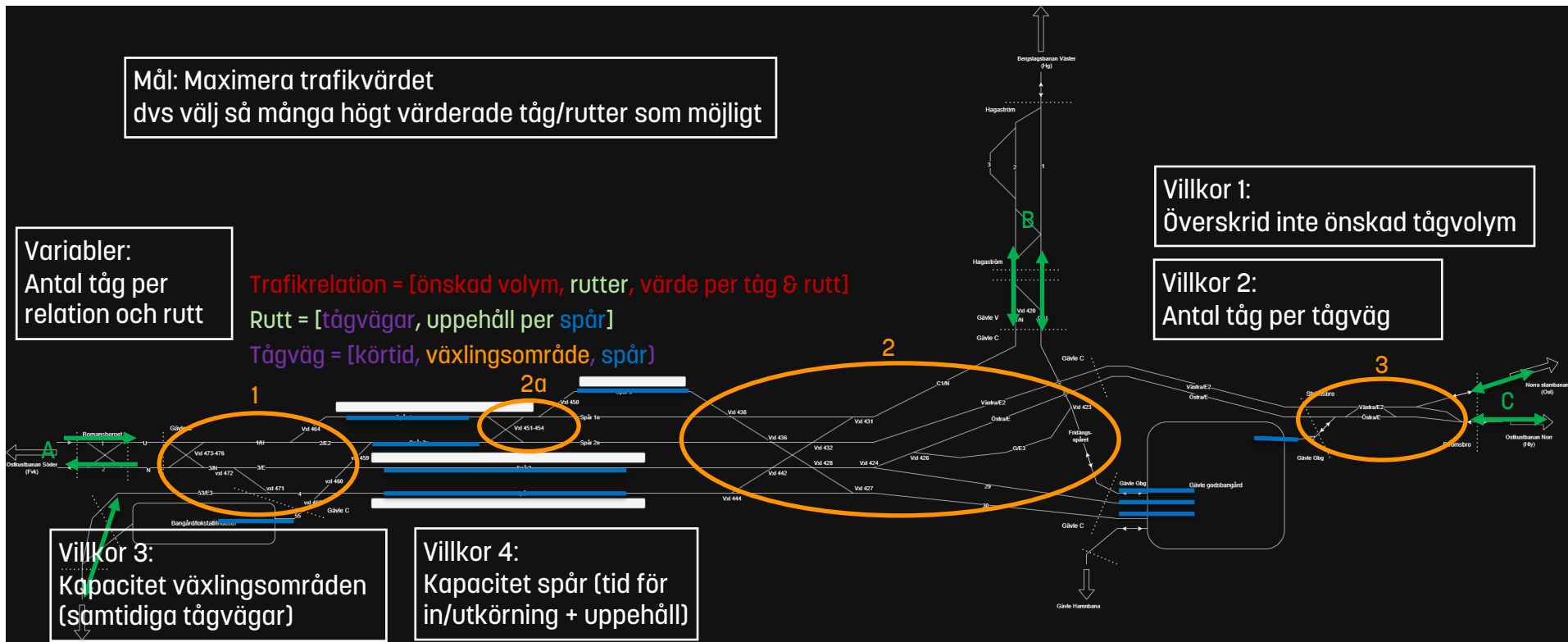
Tågväg = [körtid, växlingsområde, spår]

Villkor 1:
Överskrid inte önskad tågvolym

Villkor 2:
Antal tåg per tågväg

Villkor 3:
Kapacitet växlingsområden
(samtidiga tågvägar)

Villkor 4:
Kapacitet spår (tid för
in/utkörning + uppehåll)



Problembeskrivning

Variabler:
Antal tåg per
relation och rutt

Mål: Maximera trafikvärdet

Villkor 1:
Överskrid inte önskad tågvolym

Villkor 2:
Antal tåg per tågväg

Villkor 3:
Kapacitet växlingsområden
(samtidiga tågvägar)

Villkor 4:
Kapacitet spår (tid för
in/utkörning + uppehåll)

Formulering

Variabler

x_{ru} : antal tåg per relation & rutt
 n_j : antal tåg per tågväg

$$\text{Maximera } \sum_{r \in R} \sum_{u \in U_r} x_{ru} v_{ru}$$

Maximera trafikvärdet

Under villkoren:

$$\sum_{u \in U_r} x_{ru} \leq N_r, \quad \forall r \in R$$

Överskrid inte önskad tågvolym

$$\sum_{r \in R} \sum_{u \in U_r} g_{ruj} x_{ru} = n_j, \quad \forall j \in J$$

Antal tåg per tågväg

$$\sum_{j \in J_s} a_j n_j - \sum_{q \in Q_s^2} \prod_{j \in q} a_j n_j + \sum_{q \in Q_s^3} \prod_{j \in q} a_j n_j \dots \leq C_s^{Sw},$$
$$\sum_{r \in R} \sum_{u \in U_r} b_{rui} x_{ru} \leq C_i^{Tr}, \quad \forall i \in I$$

$\forall S \in S$ Kapacitet
växlingsområden

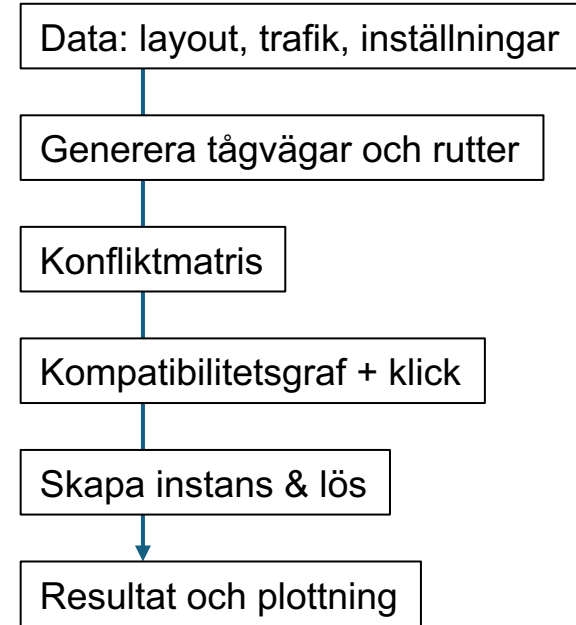
Kapacitet spår

Ickelinjärt =>

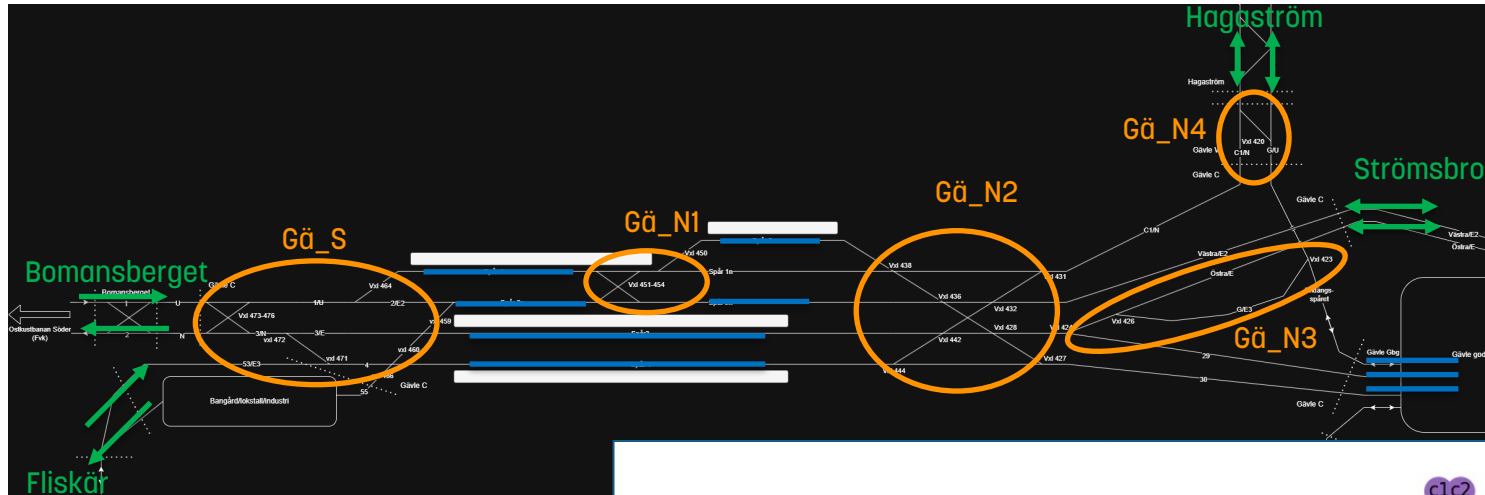
Implementation

- Kodat i Python
 - NetworkX: grafer, tågvägar, klick
 - Xpress: optimeringslösare
- Data
 - Spårlayout, längder, hastigheter
 - Manuellt: definiera växlingsområden
 - Trafikdata från RailSys-export
- Snabb lösning för obegränsade problem (0-1 sec)
 - Längre lösningstid när växlingskapacitet begränsar, utvecklat enkel heuristik
- Automatisk beräkning från ett minimum av indata

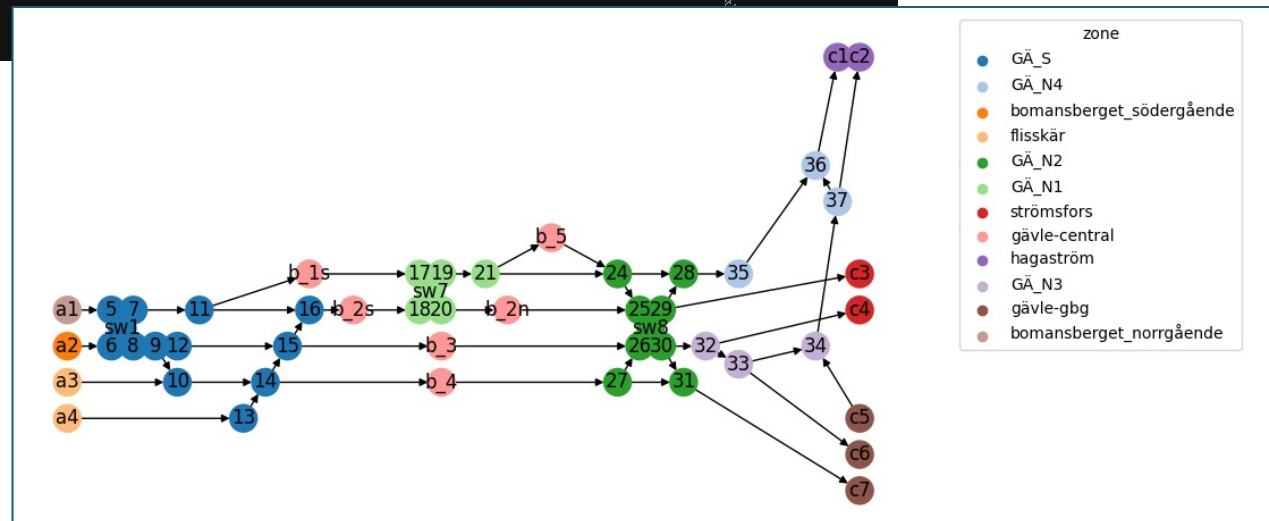
Beräkningskedja:



Experiment, Gävle



Spårlayout



Grafrepresentation (logisk struktur)

Indata (trafik)

- T22, 20 September (torsdag)
- 104 tågvägar
 - Körtid 115 – 221 sec (inkl. 90 sec signaltid)
- Spårbeläggning
 - Default: 1 min
 - Start/slut på Gä: 7.5 min (total 15 min)
 - Uppehåll (Gä): 2 min för resandetåg, 0 min för gods
- Rutter
 - Default via spår 1s och 2s/n
 - Alternativ baserat på antal noder

Tid	# relations	# tåg
Hela dagen	20	243
6-9 (3h)	14	44
10-15 (5h)	15	57
14-18 (4h)	11	52
23-05 (6h)	10	24

Typ	Antal ->	Relation	<- Antal
RST -genomgående	22	Bom-Gä-Smo	22
	1	Bom-Gä-Hg	2
RST - vändande	37	Bom-Gä	35
	22	Gä-Hg	21
	19	Gä-Smo	18
	1	Fär-Gä	2
GT - genomgående	4	Fär-Gä-Hg	3
GT - väntande	5	Bom-(Gä)-Gäb	5
	6	Hg-Gäb	9
	4	Fär-(Gä)-Gäb	5
Totalt	102+19		100+22

Grundresultat – hela driftplatsen

- 1 rutt per relation: spår 1s överutnyttjat, spår måste strykas
- 2 rutter per relation: trafik delas mellan 1s och 2s/n
- 18 h tillgängligt för hela dagen
- Max 80% för spåren

Obs: Växelbeläggning är tid, inte per spår

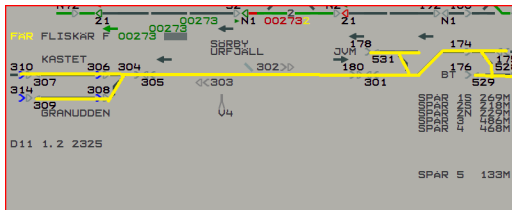
Beläggning [%]

- Alla tåg får plats
- Låg växelbeläggning
- Hög spårbeläggning (pga 15 min vändning)

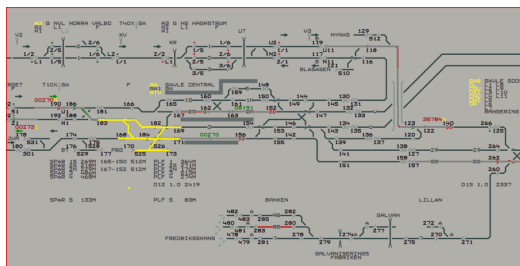
Period	# relations	# tåg	Vxl-område Gä_S, Gä_N2	Spår 1s, 2n, 3, 4
All day	20	243	32, 43	80, 55, 5, 0
6-9 (3h)	14	44	36, 37	78, 55, 0, 0
10-15 (5h)	15	57	25, 36	80, 49, 0, 0
14-18 (4h)	11	52	31, 41	76, 48, 0, 0
23-05 (6h)	10	24	8, 19	44, 19, 0, 0

Avstängningar ("öar" från TrV)

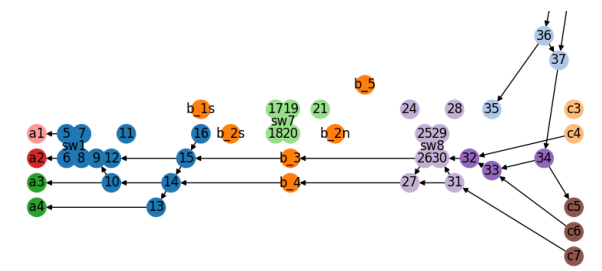
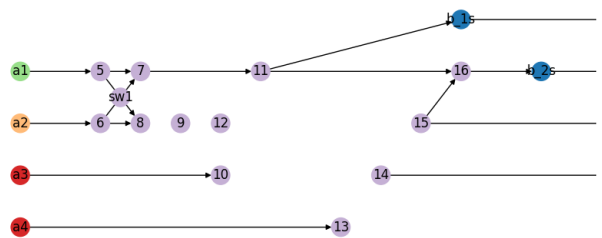
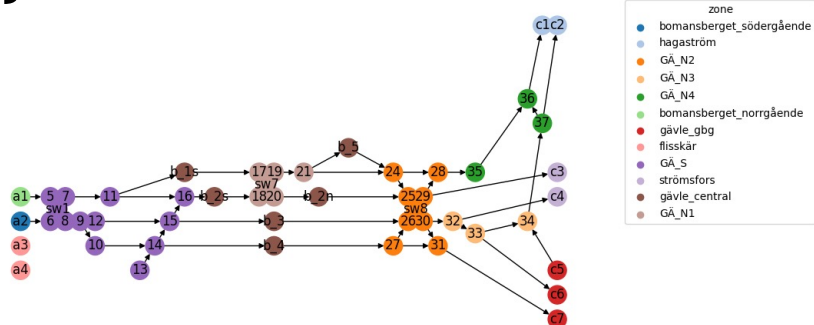
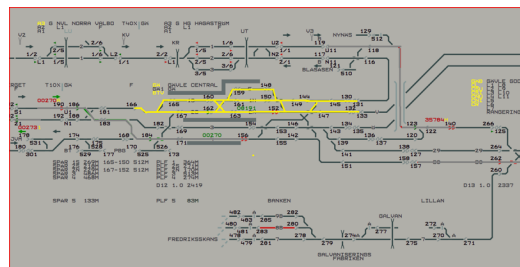
• #1



• #3

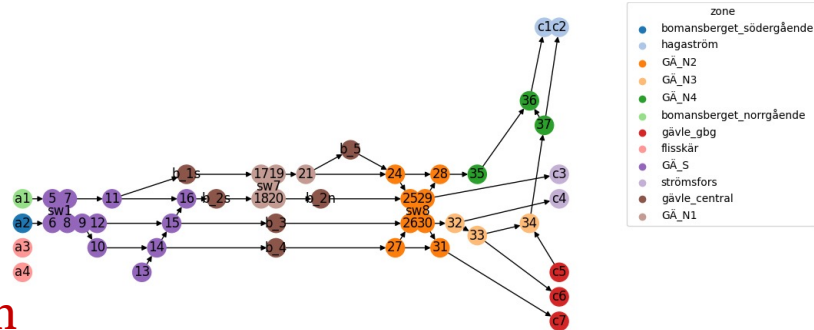


• #5



Resultat, avstängning #1

- Några relationer/tåg **stryks i genereringen** (inga tillgängliga vägar fr/ti Fär)
- Övrigt ryms

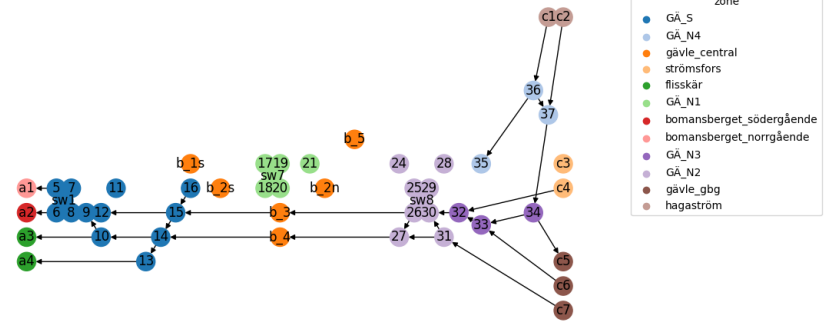


Beläggning [%]

Tid	# relationer	# tåg	# strukna	Växelzoner Gä_S, Gä_N2	Spår 1s, 2n, 3, 4
Hela dagen	20-6	243-19	0	28, 39	80, 53, 5, 0
6-9 (3h)	14-3	44-4	0	31, 36	77, 55, 0, 0
10-15 (5h)	15-3	57-3	0	23, 34	80, 45, 3, 0
14-18 (4h)	11	52-4	0	27, 37	76, 45, 0, 0
23-05 (6h)	10-1	24-1	0	7, 18	44, 18, 0, 0

Resultat, avstängning #5

- Tåg **stryks**, förutom på natten
- Trafik flyttar **från spår 1/2 till 3/4**
- Bel. Gä_S ökar

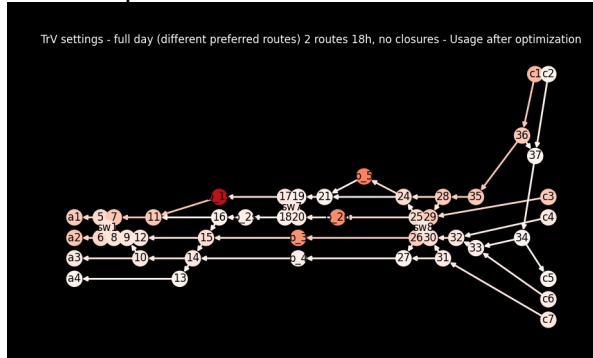


Beläggning [%]

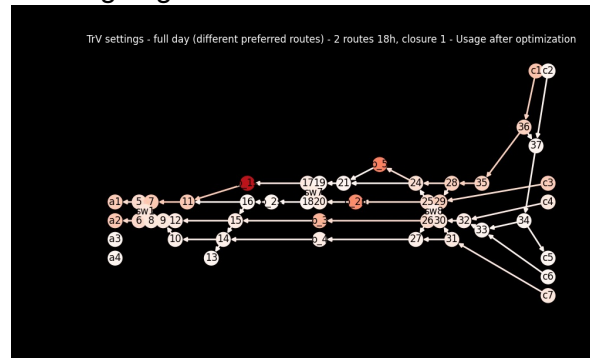
Tid	# relationer	# tåg	# strukna	Växelzoner Gä_S, Gä_N2	Spår 1s, 2n, 3, 4
Hela dagen	20	243	45	37, 34	0, 0, 80, 80
6-9 (3h)	14	44	11	38, 28	0, 0, 78, 79
10-15 (5h)	15	57	6	31, 35	0, 0, 78, 80
14-18 (4h)	11	52	7	36, 37	0, 0, 79, 80
23-05 (6h)	10	24	0	10, 20	0, 0, 27, 34

Plotta beläggning

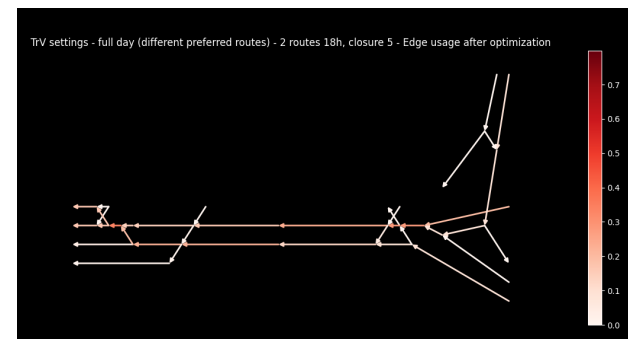
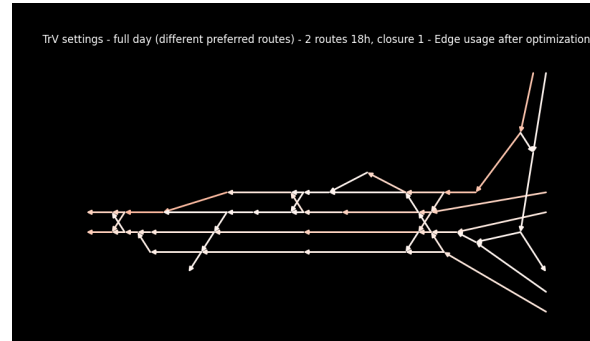
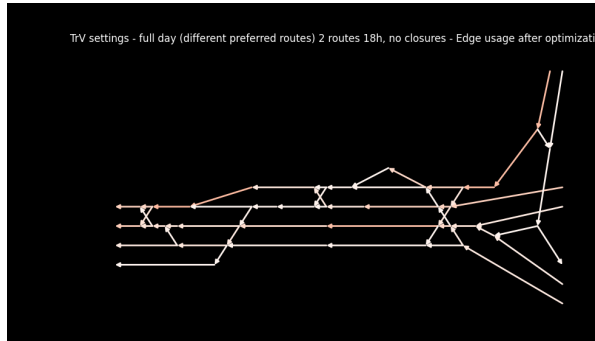
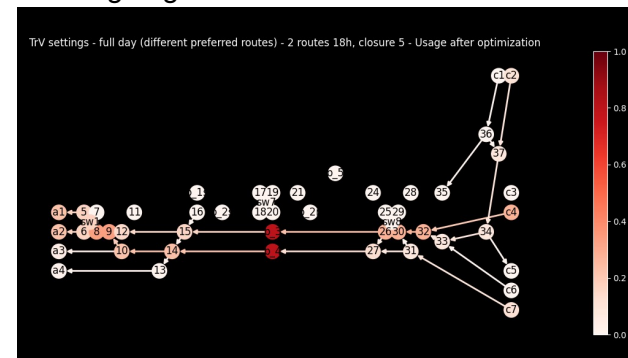
Hela driftplatsen



Avstängning #1



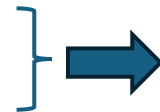
Avstängning #5



- Visa enskilda och relative nod/länk-belastningar

Utvärdering, nytta/användbarhet

- Giltiga/rimliga antaganden
- Resultat stämmer med praktisk erfarenhet
 - Brukar göra mer detaljerad schemaläggning (för kritiska tidpunkter)
 - Övrigt men värdefullt med kapacitet över längre / olika tidsperioder
- Bra med siffror på möjliga trafikvolymen vid olika avstängningar
 - Kan användas för att justera avstängningsområden
- Bra för kapacitetsanalys, men också för trafikledning (trafikering vid avstängning)
 - Bra att se beläggning för alla spår/växlar
- Vill kunna ha olika körtider för olika tågtyper
- Genomgående tåg håller utfarten längre än infarten



Löses med justerad definition för g_{ruj} och b_{rui}

Sammanfattning

- Trafikdimensionering för olika layoter, behov och trafikfall
- Automatisk beräkning av rutter, körtider mm
- God prestanda, snabba lösningar
- Producerar beläggningsdata, residualkapacitet, jämförbara resultat etc
- Olika plottar och illustrationer
- Rapport skriven
 - Granskning pågår
 - Publicering inom kort

Probabilistisk modell för kapacitetsanalys av driftplatser

Sammanfattning

Denna forskningsrapport redovisar en metod för kapacitetsanalys och dimensionering av trafikflöden över en järnvägsstation under olika driftförhållanden.

En optimeringsmodell har utvecklats, vilken maximerar mängden tåg som körs över en uppsättning med trafikrelationer, var och en med olika ruttalternativ. Förutom att begränsad spårkapacitet på anslutande spår, plattformar och eventuella uppställningspår hanteras, så har en probabilistisk kapacitetsmodell för växlingsområden från forskningslitteraturen generaliserats och använts för att hantera samtidiga tågrörelser över de olika växlingsområdena på en station.

Tågvägarna kan ha olika beläggningstid, baserat på tågens körtider inklusive tider för tågvägläggning och frisläppning i signalsystemet. Dessutom hanteras stopp- och uppställningstider vid plattformar och bangårdsspår. Framför allt beräknas alla

Slutsatser och möjlig fortsättning

- Intressant och flexibel modell
- Användbar för många typer av analyser
 - Trafikdimensionering, stationsutformning, kapacitetsbegränsningar, arbetsplanering, ...
- Lättanvänd, behöver ett minimum av indata
 - Kan utvecklas till ett analysverktyg
- Stödjer generella spårlayouter, även stora och komplexa
- Modellstrukturen enkelt att använda för flödessimuleringar
- Bör kunna fungera även i nationell nätverksanalys (ex SATT)

Tack!

Frågor, kommentarer, förslag?