

SAMHÄLLSEKONOMISK ANALYS AV PENDELTÅGENS FREKVENNS: OPERATÖRENS VÄRDERING AV VÄNTETID OCH TRÄNGSEL

*Abderrahman Ait Ali (VTI-LiU),
Jonas Eliasson (LiU) and Jennifer Warg (KTH)*



VTI Transportforum – Linköping 2020

Plan

1. Introduktion
2. Analytisk modell
3. Numerisk analys (fallstudie)
4. Slutsatser (& fortsatt/planerat arbete)

vti

1. Introduktion

vti

1.A. BAKGRUND

Samhällsekonomisk analys

- Investering i infrastruktur (t.ex. höghastighetsbanor)
- Operativt planering (t.ex. tidtabellläggning)

Värderingsperspektiv

- Konsument (individer)
 - SP och RP värdering
- Producent (medborgare/samhälle)
 - RKTM:s värdering

1.B. FRÅGESTÄLLNING

Samhällsekonomisk operativt planering

1. *Vad är den samhällsekonomiskt mest optimala frekvensen för pendeltåg?*
2. *Är resenärernas och RKTMs preferenser samma?*

Operatörens värdering (av väntetid och trängsel)

- Om svar på 2 är NEJ, hur kan avvikelserna förklaras?
- **Möjlig förklaring:** *Det finns en RKTMs implicit värdering (\neq resenärernas)*

2. Analytisk modell

vti

2.A. MODELL

N antal tåg/timme, dvs. turtäthet (eller frekvens).

Samhällsekonomiska kostnader: $TC(N) = PC(N) + CC(N)$

$$TC(N) = KN + \sum_{\substack{\text{station } i \\ \text{train } k}} \beta \frac{1}{2N} B_i^k + \sum_{\substack{\text{link } i \\ \text{train } k}} \alpha \left(1 + \gamma \left(\frac{F_i^k}{S} \right)^\theta \right) t_i F_i^k$$

Andra parametrar

- S antal sittplatser
- B_i^k antal påstigande från station i med tåg k . (A_i^k antal avstigande).
- F_i^k resenärer på tåg k efter station i

$$F_i^k = \sum_{l \leq i} (B_l^k - A_l^k); \quad \forall i, k$$

Parameter	Notation
Production	K
Waiting time	β
In-vehicle crowding	γ and θ
Travel time	α

2.B. OPTIMALA FREKVENSEN

- Med värderingsparametrarna (γ, β, θ) blir den optimala turtätheten

$$N^* = N^*(\gamma, \beta, \theta) = \underset{N \in \mathbb{N}^*}{\operatorname{argmin}} \operatorname{TC}(N)$$

- Exempel med $\theta = 0$ eller $\gamma = 0$ (dvs. ingen trängsel) - *square root principle* enligt Mohring (1972)

$$\frac{d \operatorname{TC}}{d N}(N^*) = K - \frac{\beta \mathcal{B}}{(N^*)^2} = 0 \Rightarrow N^* = \sqrt{\frac{\beta \mathcal{B}}{K_{PC}}}$$

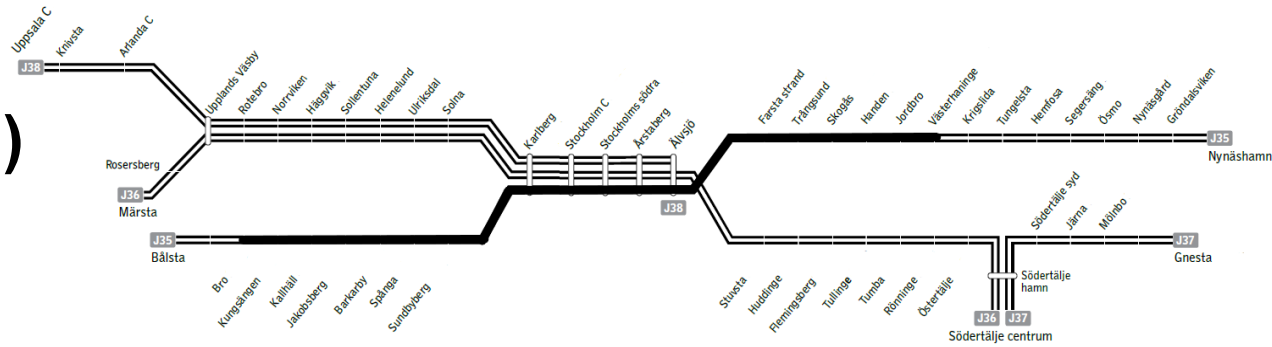
Där $\mathcal{B} := \sum_{i,k} B_{i,k}$

- General case → No analytic formula!
 - E.g., integer values $\theta \geq 4$, in theory (Abel's impossibility theorem), no closed form exist (Abel, 1824)

3. Numerisk Analys (Fallstudie)

vti

3.A. INDATA (1/3)



- Pendeltåg
 - Stockholm 2015 (dvs. innan Citybanan)
 - **Fokus** Kungsängen (Kän) → Västerhaninge (Vhe)
 - **Som jämförelse** motsatt riktning och andra linjer

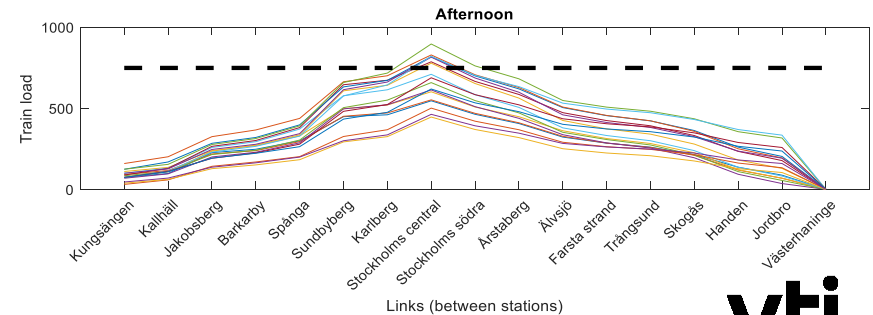
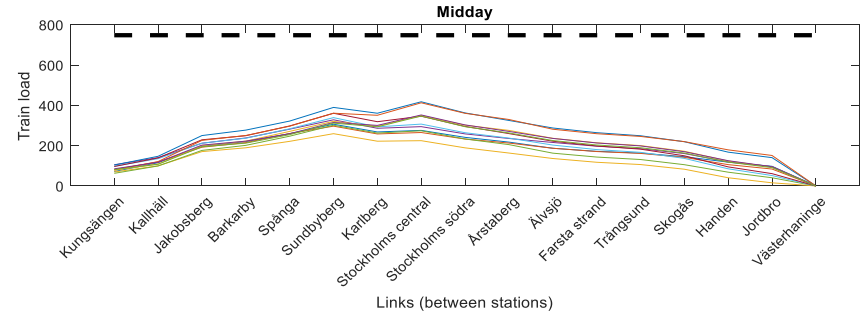
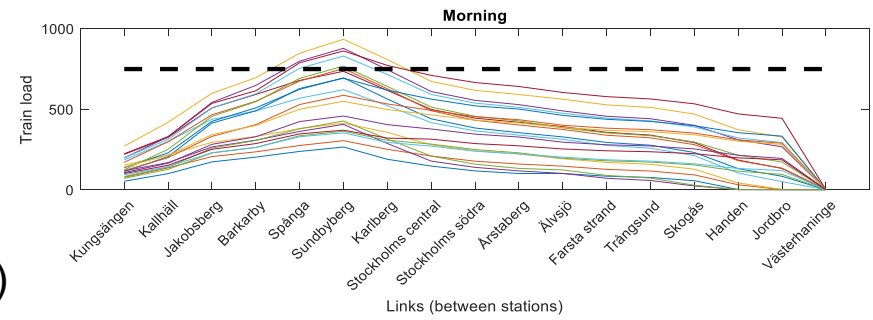
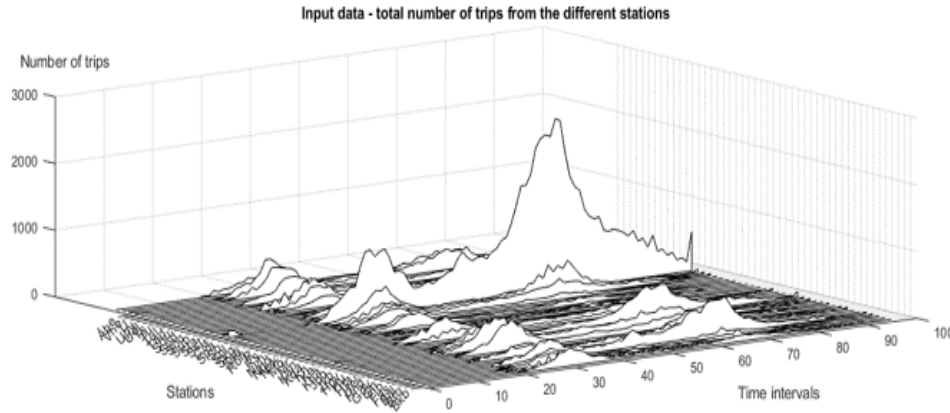
Tidsintervall	avgångar (per timme) ^[1]	Extra avgångar (per timme) ^[1]	SL:s total frekvens N
Morgonrusning (6:00 - 9:00)	4.0	3.0	7.0
Lunch (10:00 - 13:00)	4.0	-	4.0
Eftermiddagsrusning (15:00 - 18:00)	4.0	2.0	6.0

^[1] Certain trains are running parts or beyond the studied line, e.g. to Älvsjö or Nynäshamn, from Jakobsberg.

^[2] The provided frequency for extra departures is an average since not all operate with even intervals.

3.A. INDATA (2/3)

- OD matrix SL Access-kort (vardag sept. 2015)
- Tågbeläggning (i 3 olika tidsintervaller)

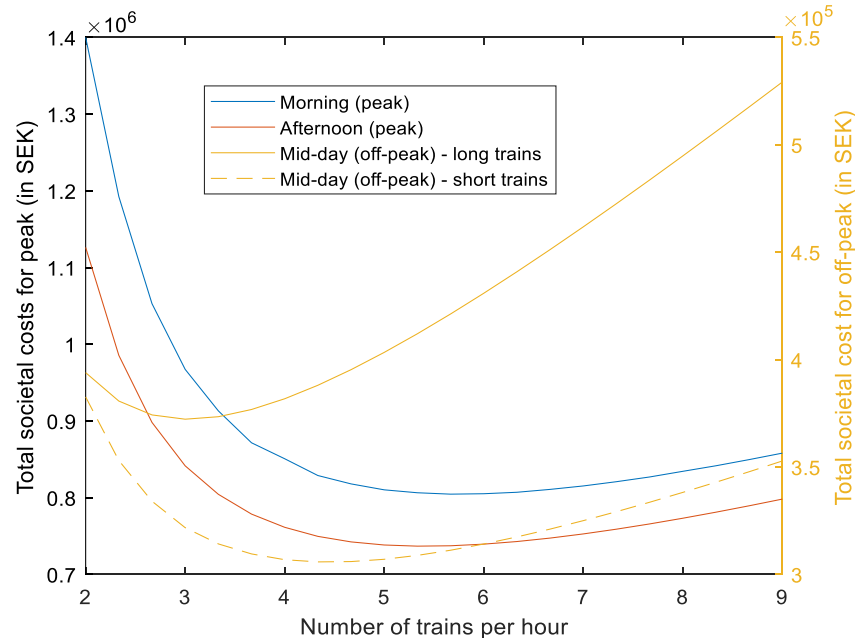


3.A. INDATA - COST PARAMETERS (3/3)

Parameter	Value	Reference
Travel time	$\alpha = 65.5$ SEK per hour	Average 57 SEK/h (leisure) and 74 SEK/h (commutes), Eliasson and Börjesson (2014)
Waiting time	$\beta = 80$ SEK per hour	Assumption: average waiting time is less than 10 min (i.e. hourly train frequency higher than 3). Hence, average 86 SEK/h (leisure) and 74 SEK/h (commuting), Algers et al. (2010)
(in-vehicle) Crowding	$\gamma = 0.085$ $\theta = 3$	Curve fitting (i.e. parameter estimation), using results by Björklund and Swärdh (2017) of SP crowding valuation study in Stockholm (and two other Swedish large cities)
Operation	$K_{distance} = 30$ SEK per wagon – km $K_{time} = 2\,000$ SEK per wagon – hour $K_{fixed} = 3\,205$ SEK per wagon – hour $K_{overhead} = 9\%$	All parameter values for the producer costs are from (SLL, 2017). The reported fixed costs are 5.000.000 SEK per year-wagon. Assumption: each wagon is operated 6 h per day and 260 days per year.

3.B. RESULTAT (1/4) - KÄN → VHE

Samhällsekonomiska kostnader (per frekvens)

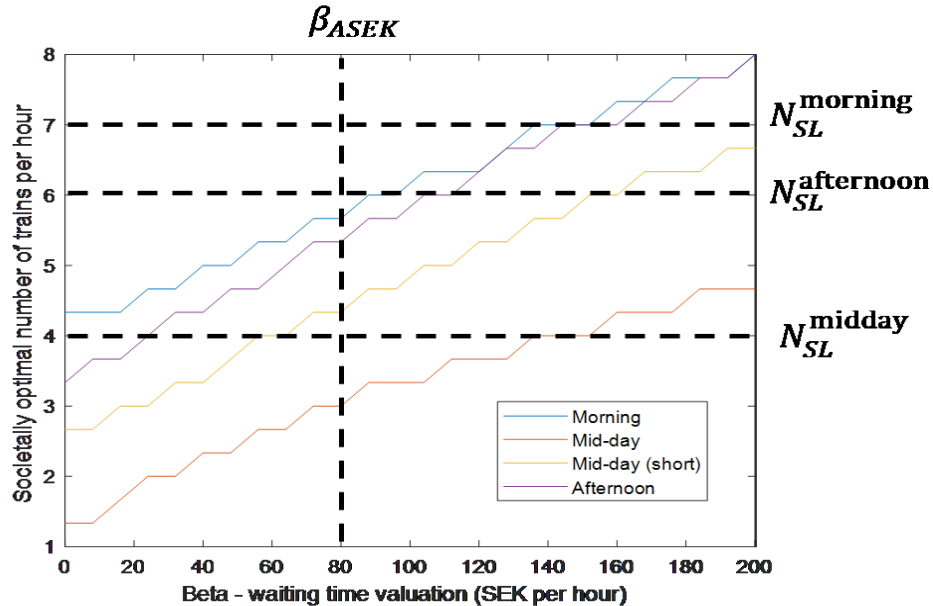


Optimala frekvenser

Time interval	Optimal frequency (in trains/h)	SL's frequency (in trains/h)
Morning	5.7	7.0
Mid-day long trains	3	4.0
Mid-day short trains	4.3	-
Afternoon	5.3	6.0

3.B. RESULTAT (2/4) - KÄN → VHE

Väntetid

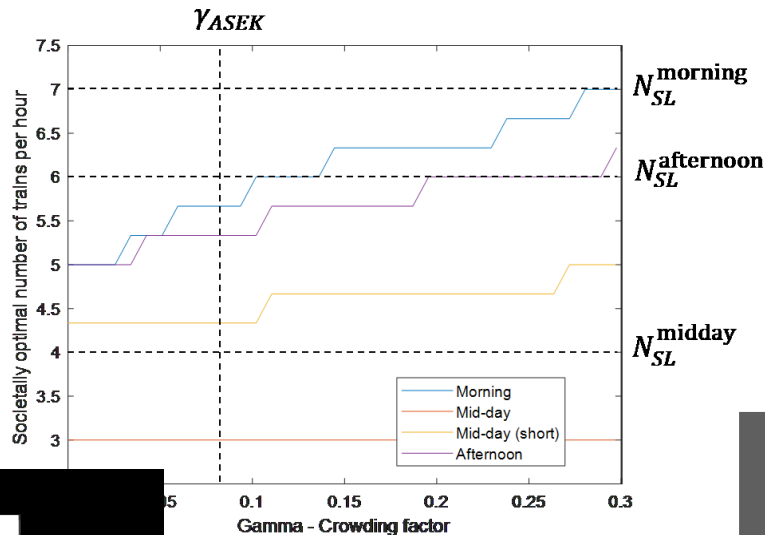


Implicit values

Time interval	SL's implicit waiting time valuation ($\beta_{ASEK} = 80$ SEK/h)
Morning	144
Mid-day	144
Mid-day (short)	(60)
Afternoon	156

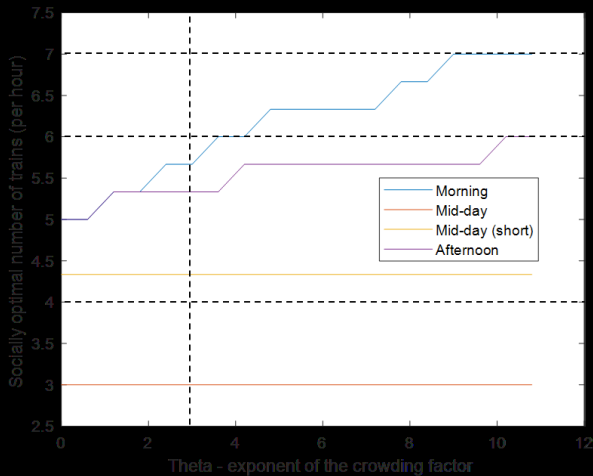
3.B. RESULTS (3/4)

Trängsel (på tåget)



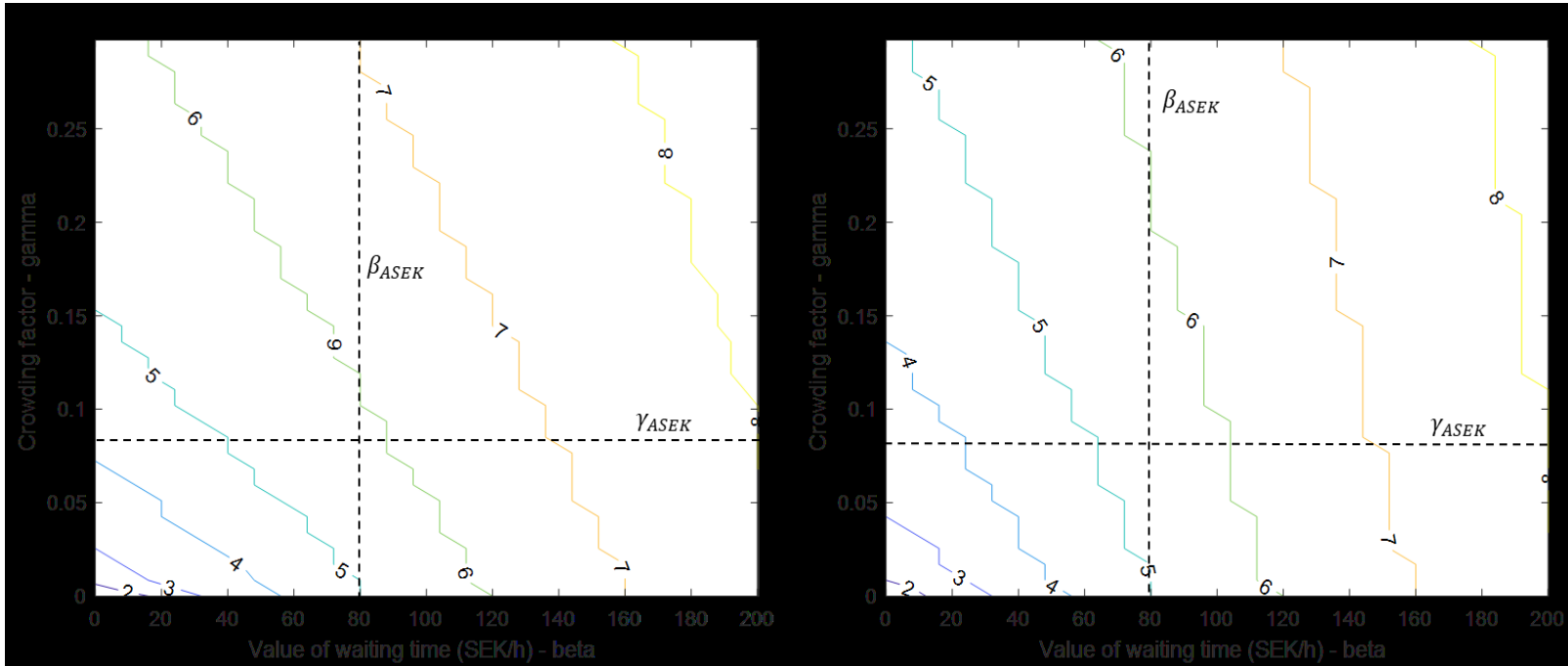
Implicit values

Time interval	Revealed crowding factor ($\gamma_{ASEK} = 0.085$)	Revealed crowding exponent ($\theta_{ASEK} = 3$)
Morning	0.281	9
Afternoon	0.196	10



3.B. RESULTS (4/4)

Kombinerad analysis (väntetid och trängsel)

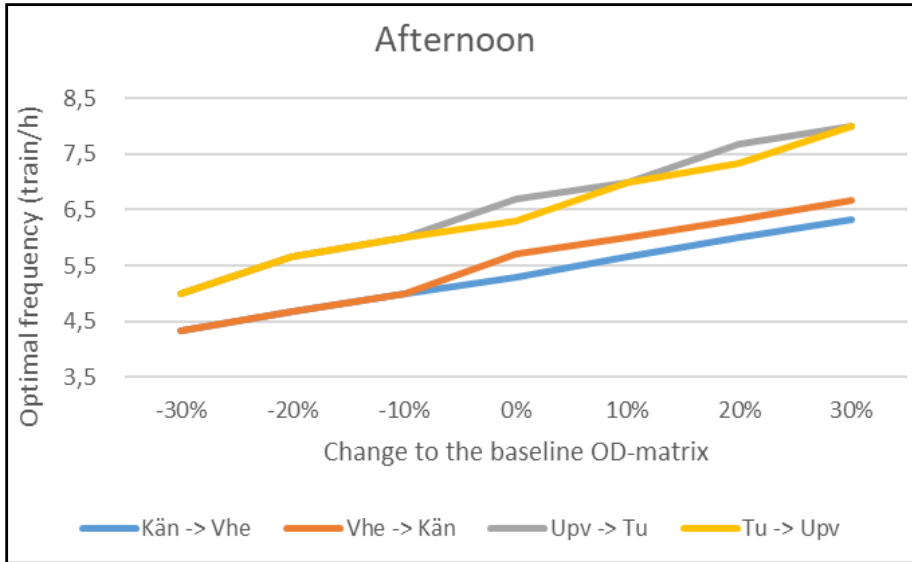


3.C. KÄNSLIGHETSANALYS (1/2)

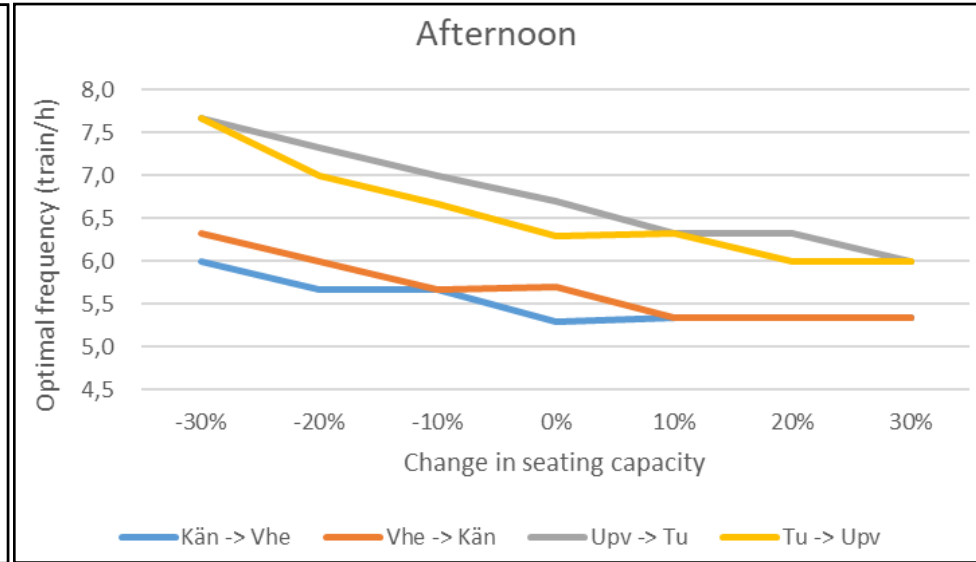
Other lines and directions (optimal frequency)

	SL	Kän → Vhe (Southwards)	Vhe → Kän (Northwards)	Upv → Tu (Southwards)	Tu → Upv (Northwards)
Morning	7.0	5.7	5.7	6.7	7.3
Mid-day (long)	4.0	3.0	3.3	3.3	3.3
Mid-day (short)	-	4.3	5.0	5.3	5.3
Afternoon	6.0	5.3	5.7	6.7	6.3

3.C. KÄNSLIGHETSANALYS (2/2)



OD-matris



Antal sittplatser

4. Slutsatser (& Fortsatt/Planerat Arbete)

vti

4.A. SLUTSATSER

- Samhällsekonomisk operativt planering
- Samhällsekonomisk optimal frekvens
 - Mestadels lägre än RKTMs
- RKTMs värdering (av väntetid och trängsel)
 - Högre värderingar, framförallt väntetid
 - Den optimala frekvensen är okänslig för trängsel och beror mest på väntetid
- Den optimal frekvensken kan också påverkas av variationer i OD-matris, ojämnt beläggning mm
 - Men också kapacitet (infrastruktur), politik, punktilighet, fordonsanvändning, anslutningsresor, osv.

4.B. FORTSATT/PLANERAT ARBETE

- **Lösa konflikter mellan pendeltåg och fjärrtåg (planerat)**
 - Samhällsekonomisk optimal frekvensen (pendeltåg)
 - Samhällsekonomisk optimal banavgift/trängselavgift (fjärrtåg)
- **Övriga ideer (fortsatt)**
 - Optimera pendeltågtidtabeller (skip-stop, periodisk, osv).
 - Kombinera med tunnelbana (och buss)
 - Kan också inkludera
 - förseningar, byte, kapacitet (infrastruktur), underhåll (service fönster)
 - Mer indata (OD-matriser i flera dagar).

Tack för uppmärksamheten!
Frågor?

abderrahman.ait.ali@vti.se