

Om att planera precist o-precist

Kapacitetsplanering i tidiga faser

Martin Aronsson, RISE
martin.aronsson@ri.se

Forskning utförd med bidrag från
Trafikverket under TRV 2021/81090



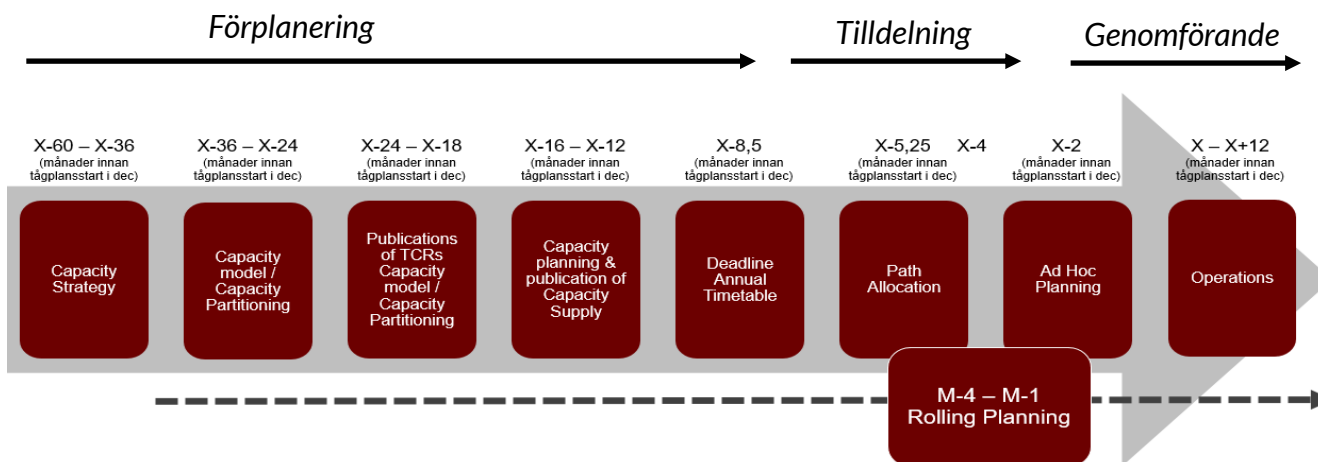
Innehåll

- TTR-processen, med fokus på kapacitetsmodellen
- Metod för att ta prognosticerade tåglägen till belastning av (linje)resurser
- Metoder/algoritmer för att beräkna kapacitetsmodellen
 - Mycket kort om ursprungligt förslag
 - Nuvarande metod



TTR och kommissionens förslag

- Relativt Svensk lagstiftning
 - Introduktion av förplanering
 - Tidig resursplanering



Capacity Strategy

Describes main principles to be used in the planning of elements in the capacity models.

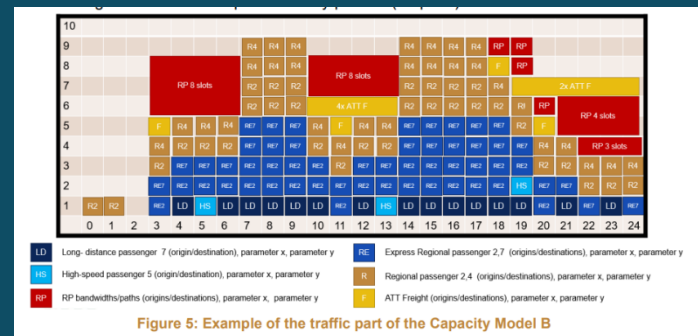
Capacity Model

Focus on volumes and shares! Set the volumes of the transport per each market segment and the share for TCRs.

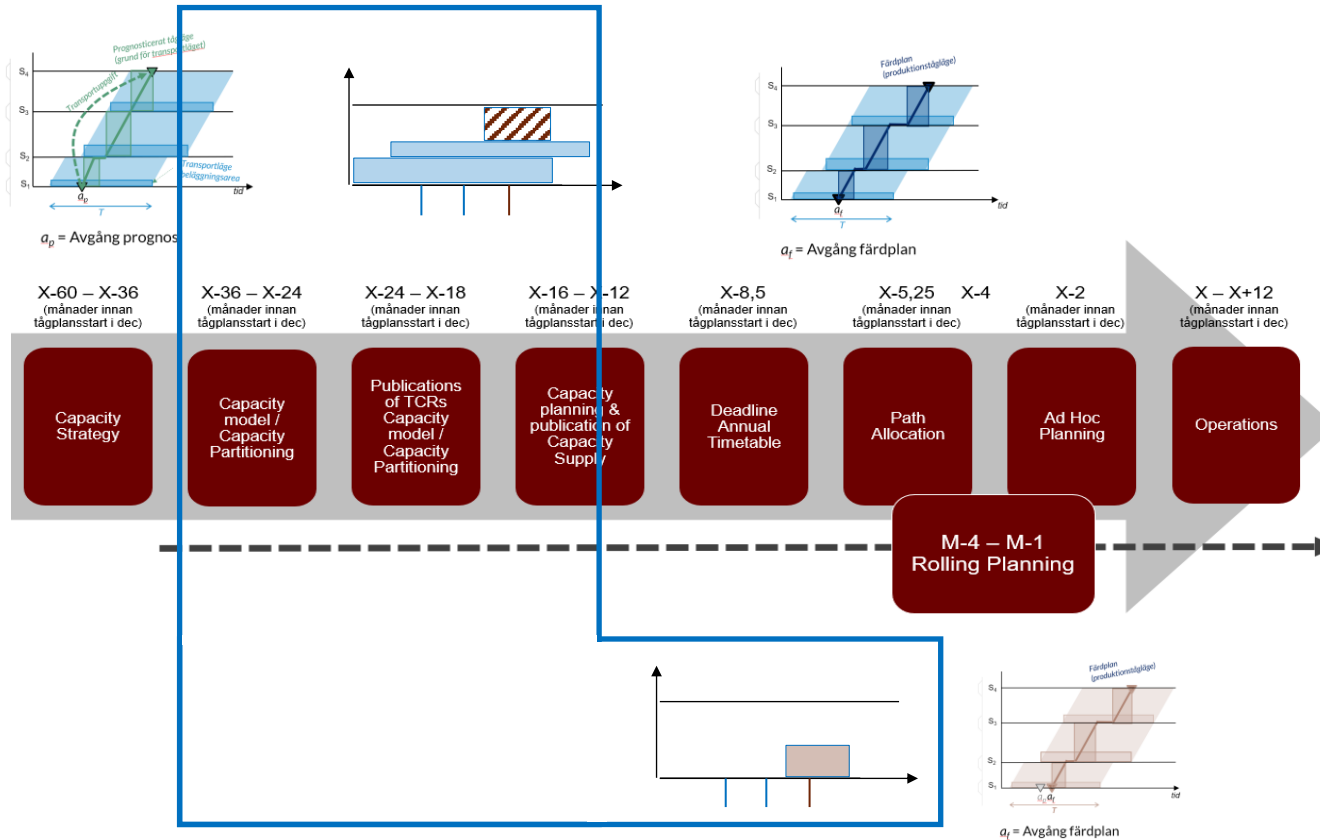
Capacity Supply

Shows all the elements in a capacity diagram – TCRs, paths, bandwidths and empty spaces for tailor-made request.

- Kapacitetsmodell beskriver tänkt resursanvändning



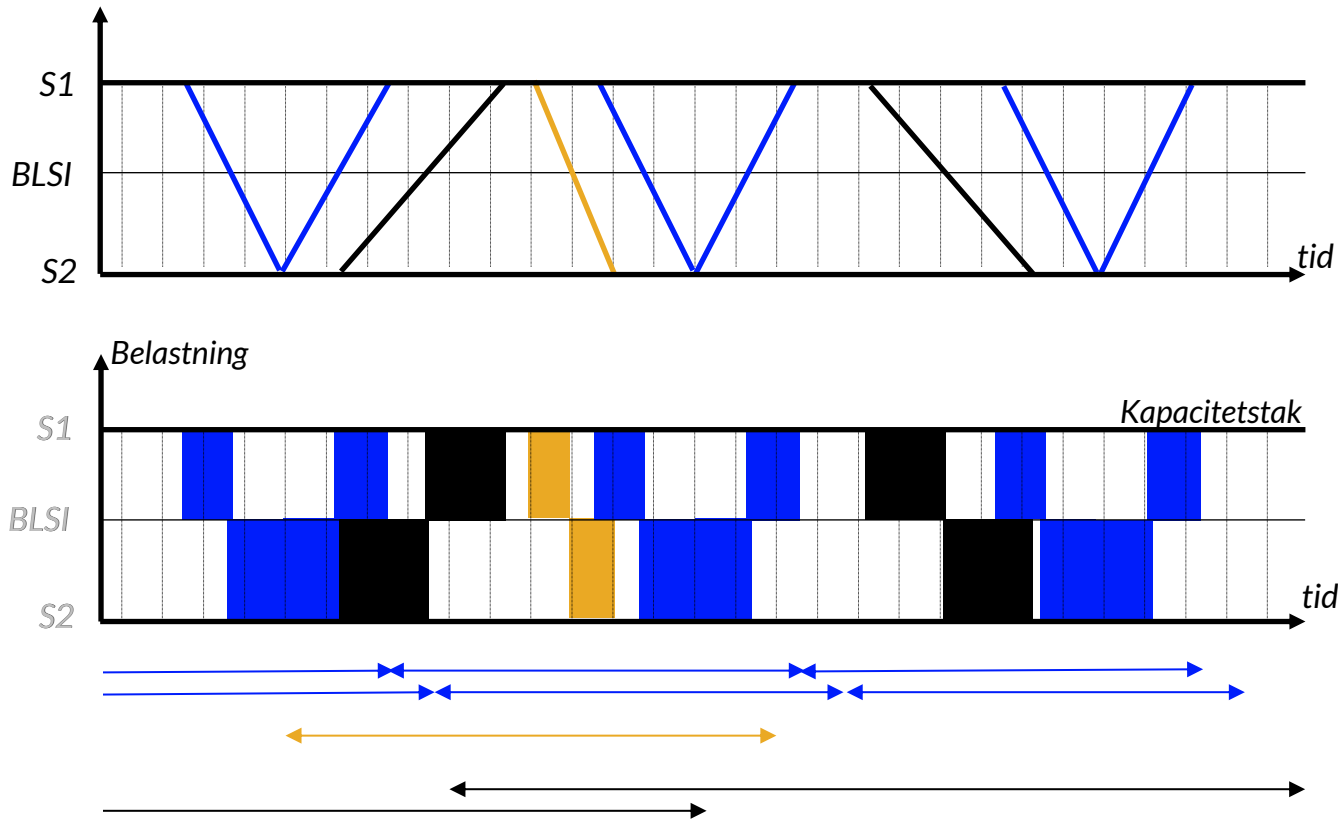
Planeringsmetod för kapacitetsmodellen



- Utgå från ett *Produktionsmål*
 - Av IM prognosticerad trafik
- Resursanvändning i fokus
- X-36 – X-18
 - Capacity Needs Announcement X-24
 - JF annonserar behov av kapacitet
- Mål: Partitionering (volym av tågägen)
 - 5 lager (egenskaper; dimensioner)

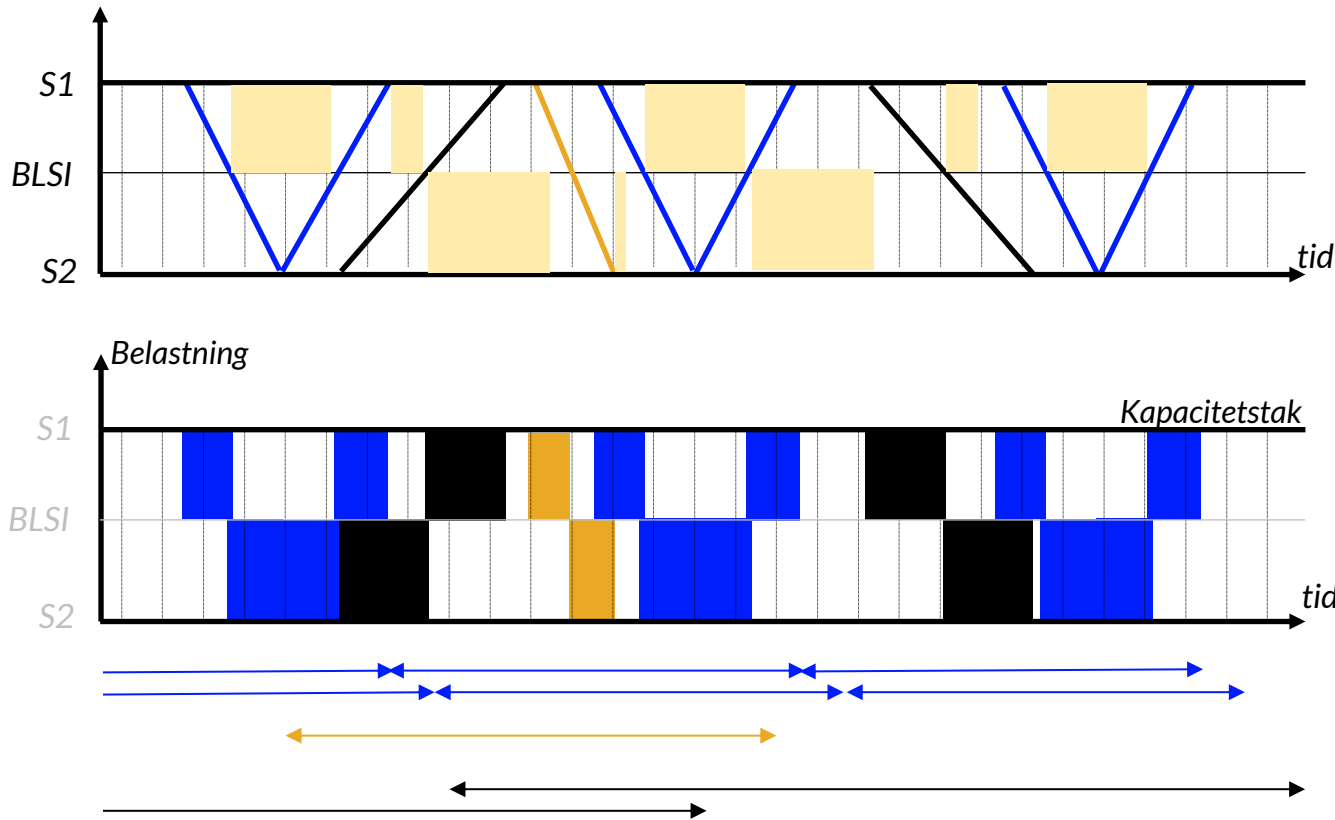
1. Layer	2. Layer	3. Layer	4. Layer	5. Layer ²²
• Passenger	International	Basic categories for passenger trains:	Basic parameters for passenger trains:	Products:
• Freight/	National	» high-speed trains	» stopping pattern (according to point 5.1)	» Annual Timetable request
• Other (local train etc.)	International or National ²³	» long-distance trains	» acceleration(m/s ²)	» Rolling Planning request
• TCR		» express regional trains	» planned speed	» Ad-hoc volumes ²⁵
		» regional trains	» maximum train length	» Unplanned capacities ²⁶
		Basic categories for freight trains:	Basic parameters for freight trains:	
		» wagonload	» average maximum standard train weight,	
		» block	» average maximum standard train length,	
		» combined transport train (optional).	» expected speed ²⁴ ,	
			» dangerous goods or extraordinary consignments (allowed or not), profile.	
		Categories in cross-border line sections must be harmonised (preferably already in the strategy phase).		
			IMs should keep only the above basic parameters and avoid using additional ones if they are not entirely necessary.	

Graf med sannolik trafik



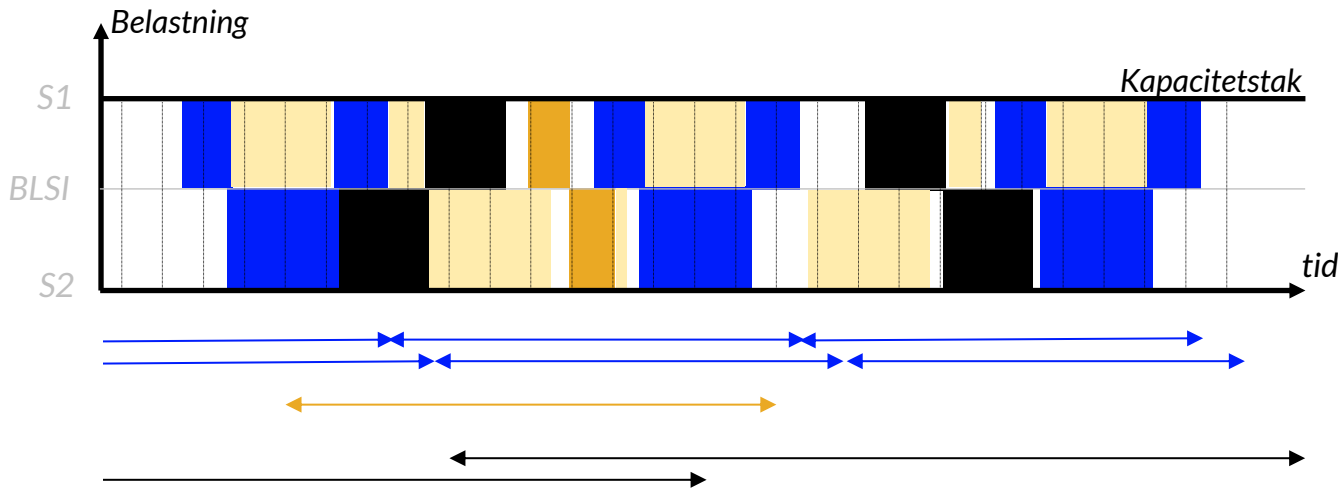
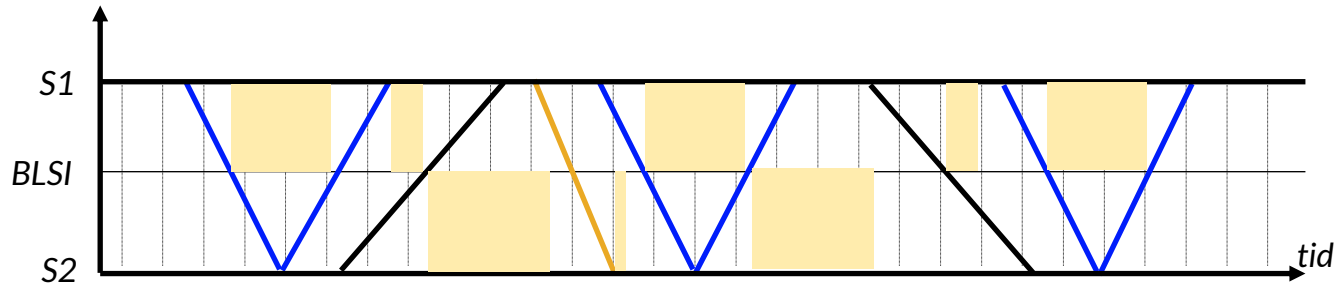
- Grafisk tidtabell
 - Två stationer, S1 och S2
 - En mellanblocksignal, BLSI
- Tre olika tågtyper
 - Regionaltåg, blå
 - Långväga resandetåg, gult
 - Godståg, svart
- Beläggning av "atomär" resurs
 - S1-BLSI
 - S2-BLSI
- Tidsfönster
 - Tåglägesproduktens giltighet
 - Osäkerhet om framtida avgångstid

Ställtider



- Ställtid
 - Begrepp inom industrin
 - Tid att ställa om "maskinen" till en annan produkttyp
 - Ställtiden ej värdeskapande
 - ... men nödvändigt för att kunna producera olika produkttyper
 - Ju mindre ställtid, ju mer potentiellt värdeskapande tid
- Uppstår mellan
 - Tåglägen med olika hastighet
 - Tåglägen med olika riktning

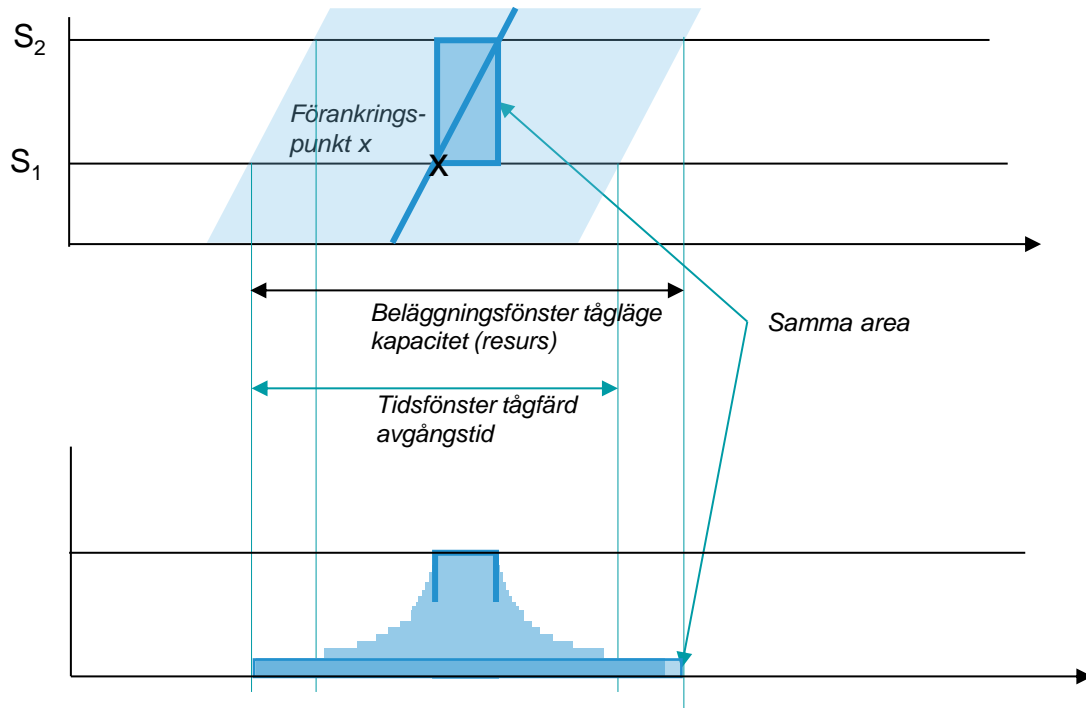
Samtliga beläggningsareor



- Ställtid är också beläggning av resursen
 - Lägg in i resursanvändningsdiagrammet

Area-baserat kapacitetsmått

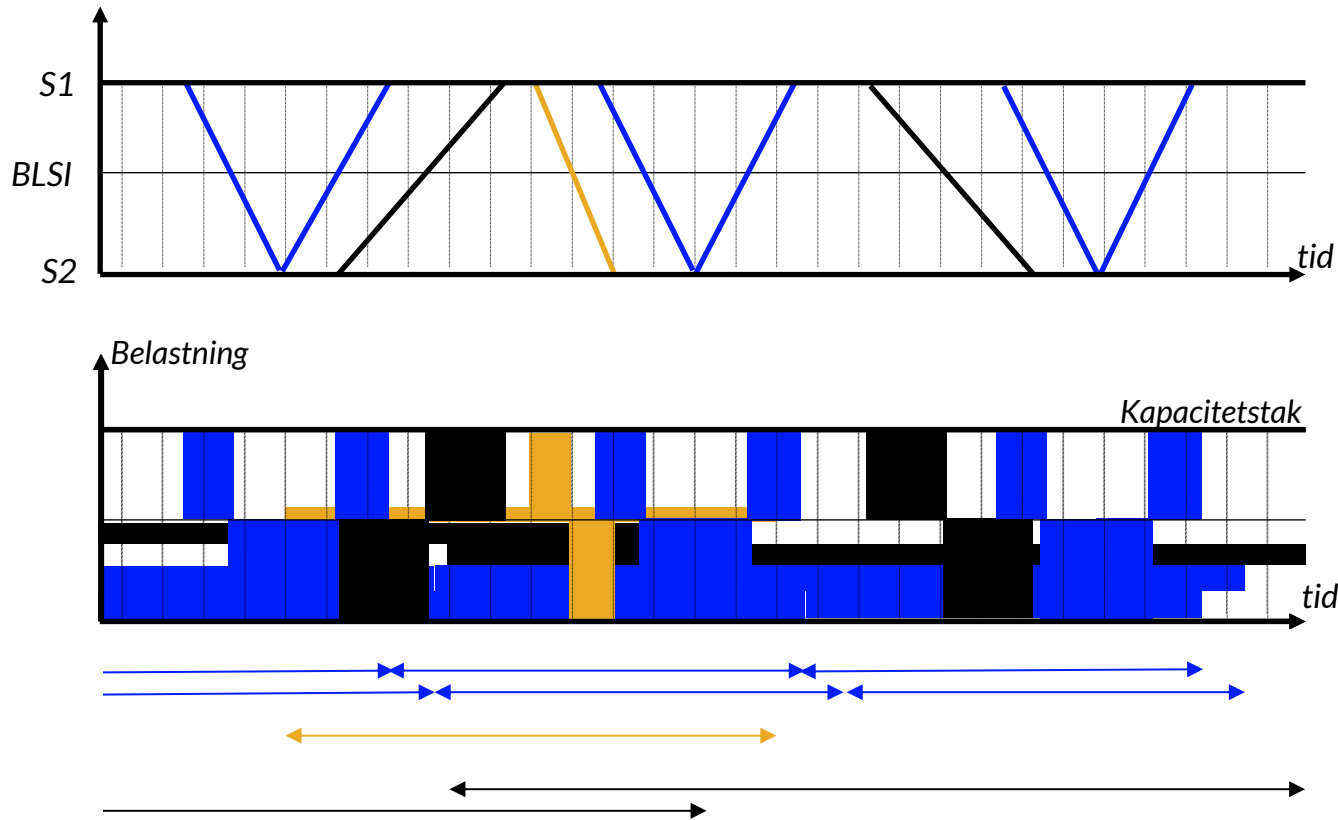
Konsumerad kapacitet som area



Utgångspunkt för resonemanget

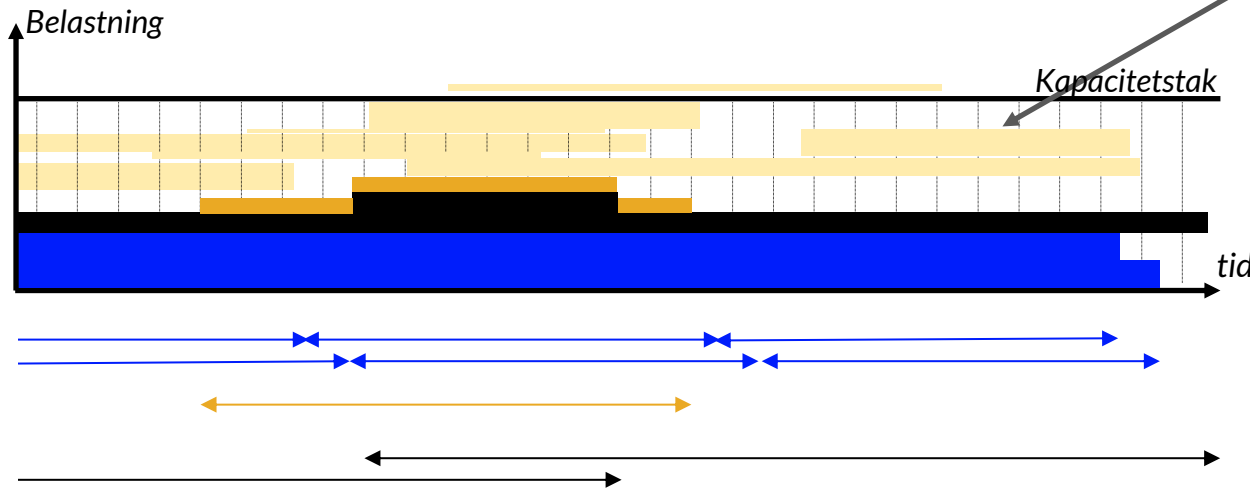
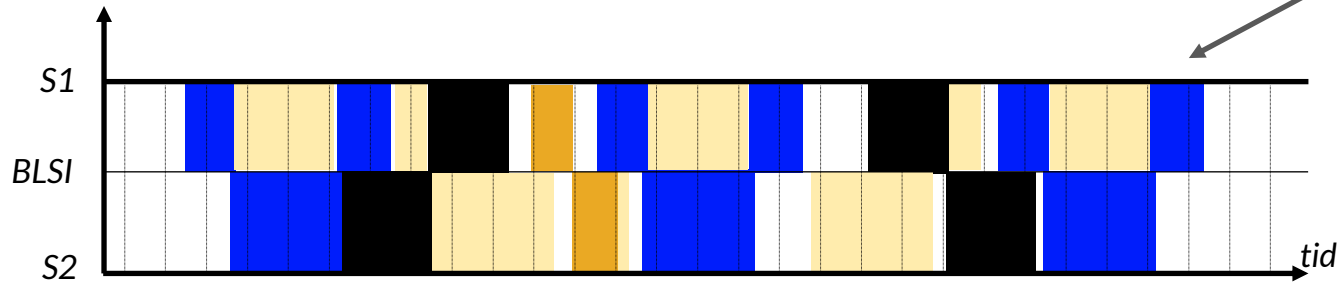
- Prognosticerad placering av tågläge
- Ram inom vilket denna tjänst är giltig (tidsfönster)
- Skapa transportläge
 - Samma area
 - Bredd: tidsfönstret (resurs)
 - Höjd anpassas efter area och bredd
 - lika kapacitetsförbrukning
- Olika former på arean
 - Här likformigt sannolik avgångstid inom tidsfönstret
 - Triangelformad: sannolikast avgångstid vid förankringspunkten X vid framtida schemaläggning
- Konceptet framtaget i tidigare Fol-projekt

Beläggningarna omgjorda osäkerhet (tidsfönster för avgång)



- Beläggningsareor fördelade över beläggningsfönstret
 - Arean för varje tågläge lika
 - Höjden anpassas

Beläggningsgraf inklusive ställtider

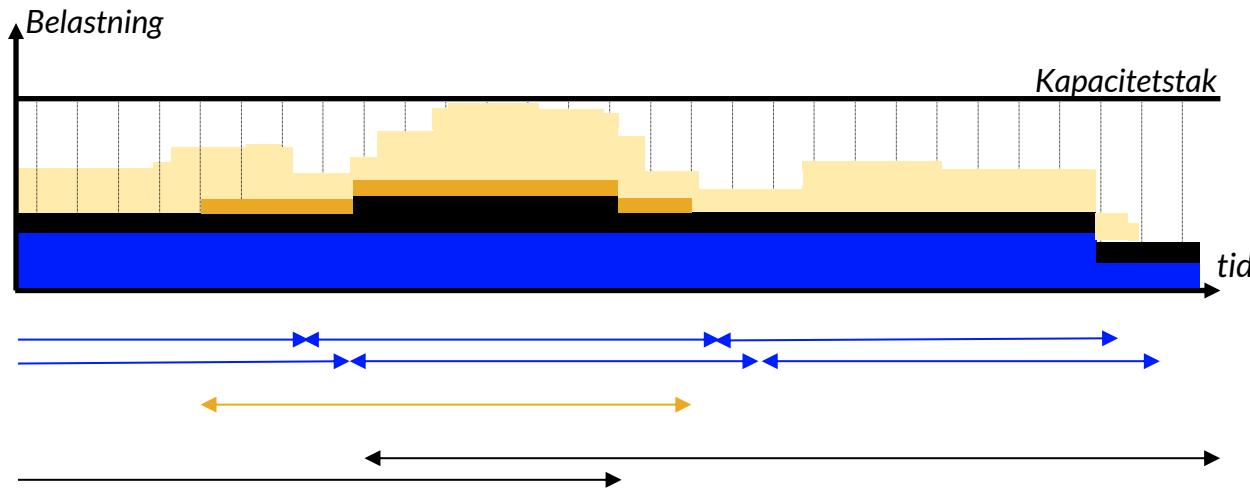
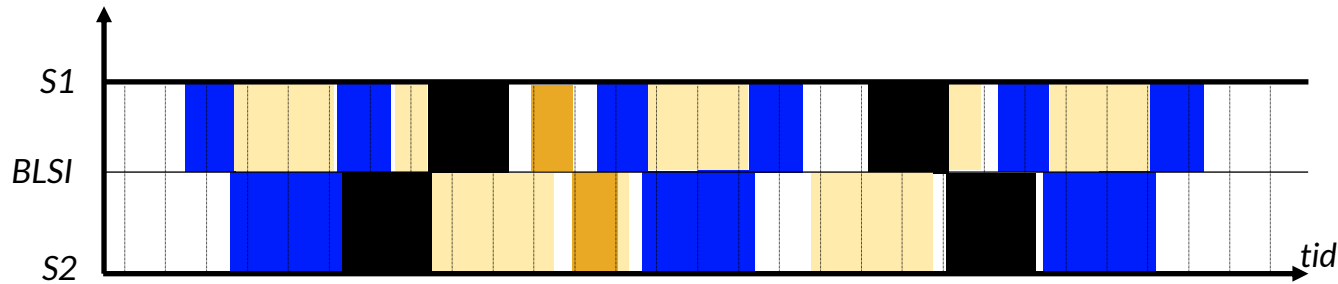


Underlag, prognosticerade tåglägen

Underlag Ställtider

- Beroende av slutlig schemaläggning
 - Storlek och placering måste bedömas
 - I fast industri söker man (oftast) minimera mängd ställtid

Skapa ackumulativ graf inklusive ställtider



- Sammanför areorna
- Detta ger en resursbudget dvs en kapacitetsmodell
- Över tid krymper tidsfönstren eftersom osäkerheten minskar
 - Höjden ökar
- När tidsfönstret = gångtiden → Tågläge skapat

Metoder/algoritmer för att beräkna kapacitetsmodellen

- Ursprungligt förslag från SATT
 - Utgångspunkten för SATT-TF
 - Flödesmodell
 - Fick bekymmer med icke-linjära ekvationer
 - Kan inte både ha vägval och variabel tid för resursbelastningen "höjden" i tidigare bilder
- Ny modell framtagen i slutet på SATT-TF
 - Bygger på modell för resursbelastning
 - Tidigare resultat från 2009
 - MIP-modell för s.k. kumulativa villkor
 - Generera flertal varianter till varje transportläge
 - Vägval och/eller avgångstid (fixerad för varje variant)
 - Set partition för val av transportlägesvariant

<https://drops.dagstuhl.de/storage/01oasics/oasics-vol012-atmos2009/OASlcs.ATMOS.2009.2141/OASlcs.ATMOS.2009.2141.pdf>

MILP formulations of cumulative constraints for railway scheduling — A comparative study

Martin Aronsson¹, Markus Böhlin¹ and Per Kreuger¹

Swedish Institute of Computer Science,
Box 1263, SE-164 29 Kista, Sweden
Martin.Aronsson@siics.se, Markus.Bohlin@siics.se, Per.Kreuger@siics.se

Abstract This paper introduces two Mixed Integer Linear Programming (MILP) models for railway traffic planning using a cumulative scheduling constraint and associated pre-processing filters. We compare standard solver performance for these models on three sets of problems from the railway domain and for two of them, where tasks have unitary resource consumption, we also compare them with two more conventional models. In the experiments, the solver performance of one of the cumulative models is clearly the best and is also shown to scale very well for a large scale practical railway scheduling problem.

Keywords. Railway transport scheduling, Cumulative scheduling, Mixed Integer Linear Programming (MILP) modelling and pre-processing

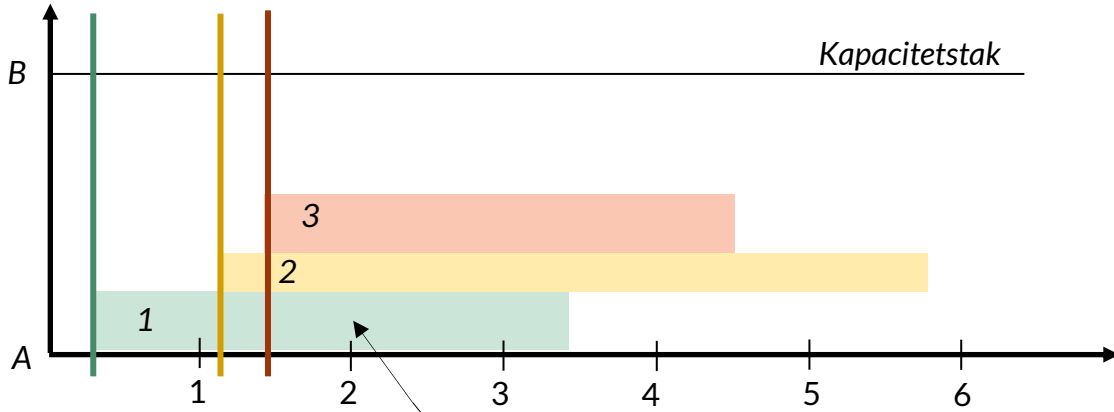
1 Introduction

Railway scheduling is a rich source of challenging optimisation and combinatorial decision problems. Along with vehicle routing problems with some unique properties [1,2,3], track resource scheduling [4,5] is at the core of timetable construction for modern rail traffic planning. The methods described in this paper may be used to verify feasibility of proposed timetables, search (or optimise) for timetables with certain properties, or reduce conflicts between disparate requirements originating from e.g. customers, business areas or transport political priorities within the infrastructure manager. The presentation of the methods is rather technical but most of the problems used in the empirical sections are derived from real fixed timetables and early stage timetable proposals. The results clearly indicate one of the described methods as superior for this important practical railway scheduling problem.

Constraint programming (CP) techniques have been quite successful in solving both academic [6,7,8,9,10] and real-world scheduling problems [11,12,13,14,15]. One of the main benefits of CP for such problems is the presence, in most modern solvers, of very efficient filtering mechanisms in the form of constraint abstractions for both classical job shop and generalisations such as the general resource scheduling problem. Using demand-driven filtering during search for integer solutions constitutes a powerful decision mechanism that have also been used successfully for optimisation [16,8]. However, to optimise classical job shop problems and their cumulative generalisations efficiently it is generally also necessary to employ quite sophisticated search heuristics. Mixed Integer Linear Programming (MILP) is another technique for combinatorial problem solving which have been applied to a wide variety of industrial-level problems. For scheduling problems with unitary resources, standard linear boolean formulations also scale very well, especially for problems with a lot of linear side conditions that can be exploited by modern MILP solvers.

J. Clausen, G. Di Stefano (Eds): ATMOS 2009
9th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modeling,
Optimization, and Systems
<http://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2009/2141>

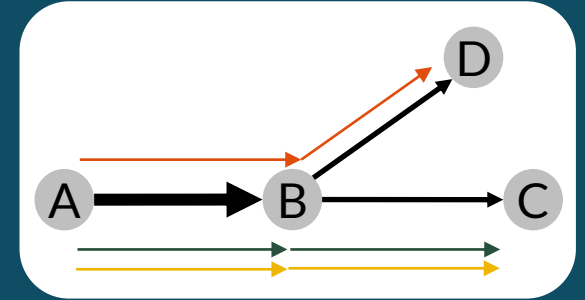
Kontroll av beläggning



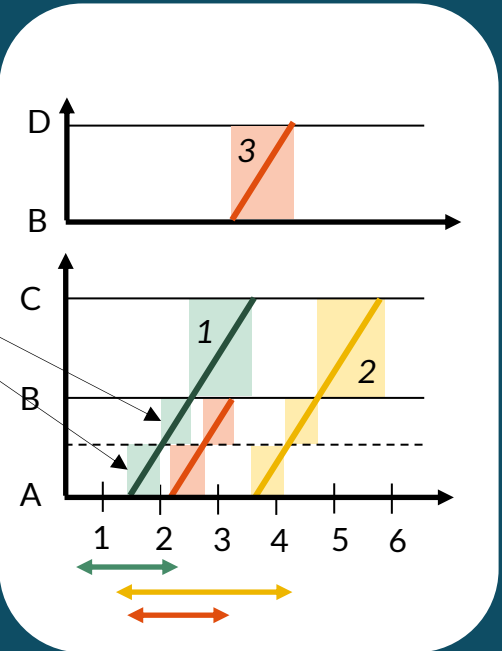
Areor lika

- Kontroller görs vid varje start av beläggning
 - Grön kontroll-linje: inga överlapp
 - Gul kontroll-linje: ett överlapp (grönt tåg)
 - $h_1+h_2 \leq \text{kapacitetstak}$
 - Röd kontroll-linje: två överlapp (grönt tåg + gult tåg)
 - $h_1+h_2+h_3 \leq \text{kapacitetstak}$

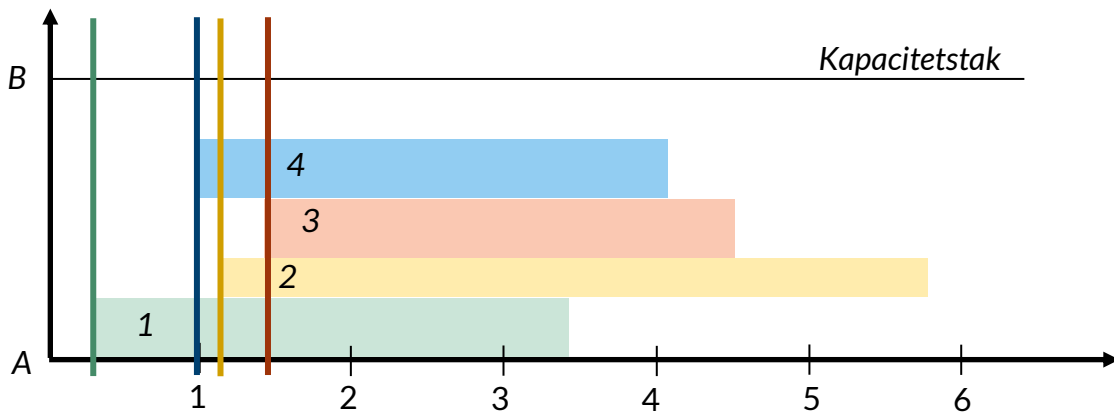
- Nät



- Tänkbar grafisk tidtabell

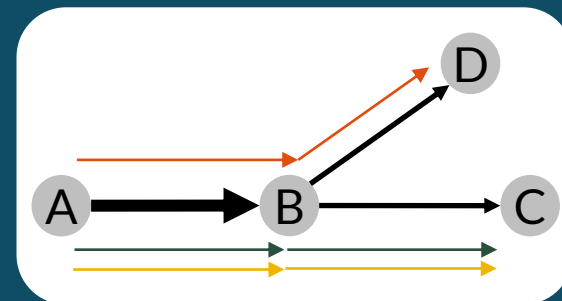


Kontroller av beläggning

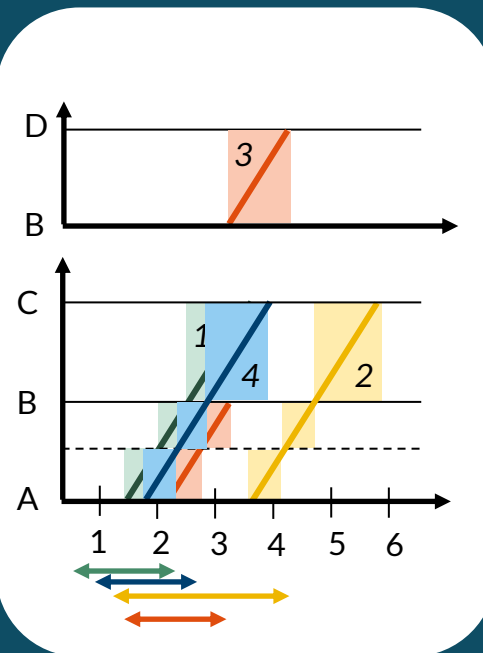


- Ett prognosticerat tågläge till (blått)
 - Genomförbart?

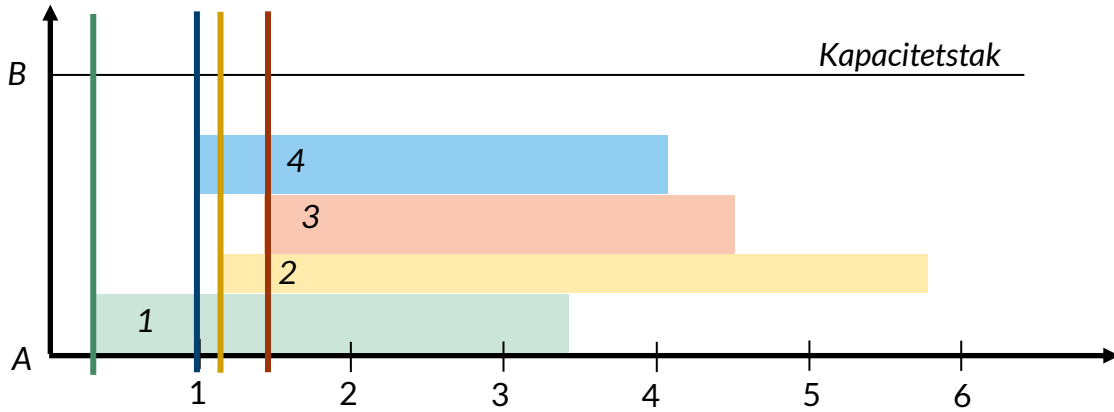
- Nät



- Tänkbar grafisk tidtabell

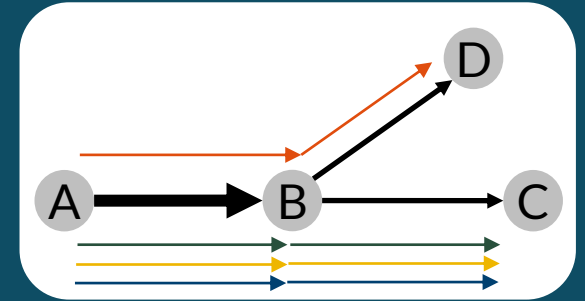


Kontroll av beläggning

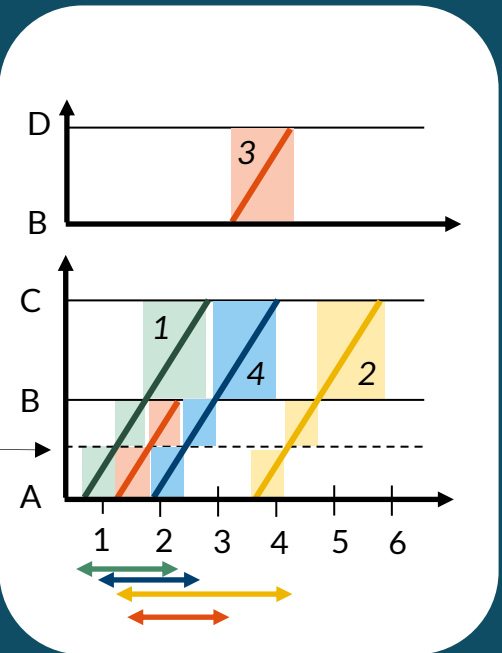


- Får plats
 - I resursdiagrammet ovan
 - I ett framtida schema, inom ramen för tidsfönstren

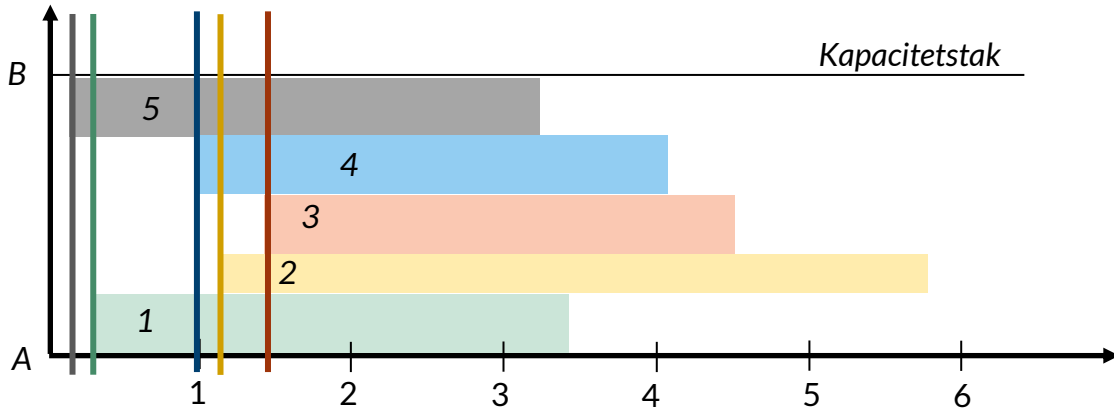
- Nät



- Tänkbar grafisk tidtabell

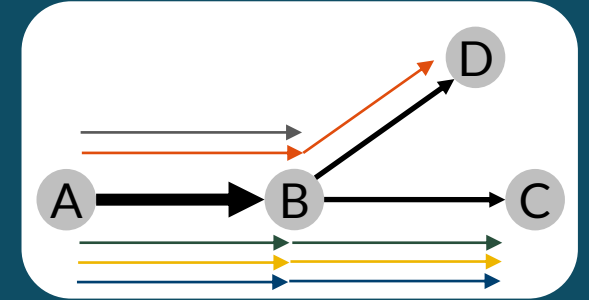


Kontroll av beläggning

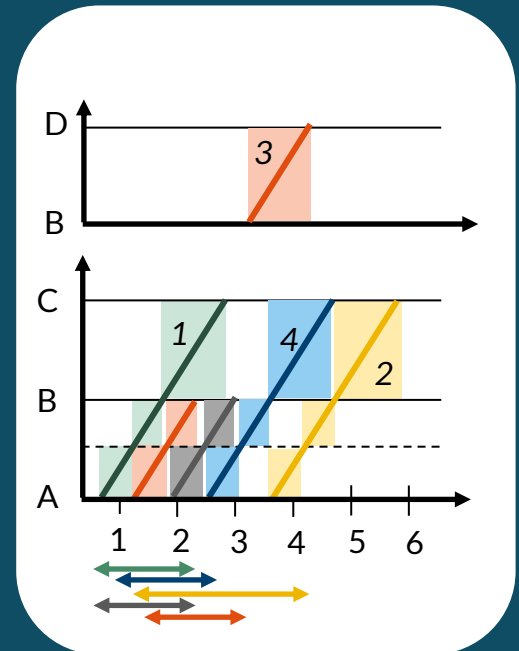


- Ett prognosticerat tågläge till
 - Får plats, men nu fullt (röd kontroll-linje)
- Framtida ordning inte bestämd
 - T.ex. grått och rött är (i denna lösning) placerade i ineffektiv ordning
 - med avseende på tidsfönstrens placering

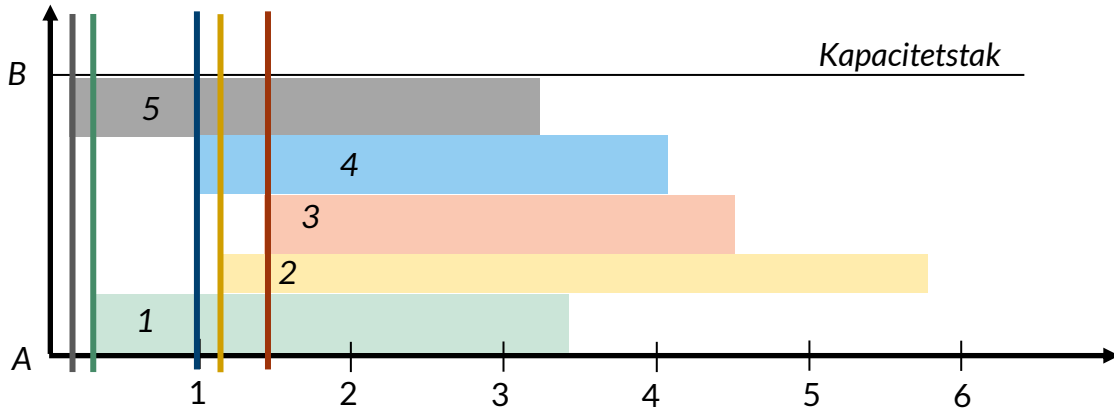
- Nät



- Tänkbar grafisk tidtabell

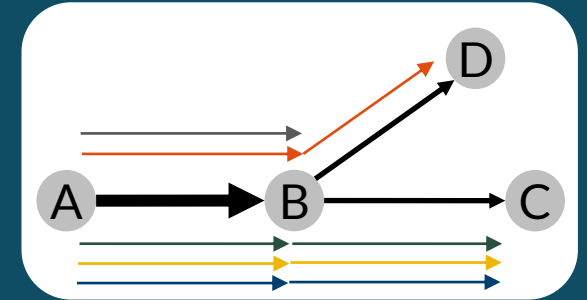


Kontroll av beläggning

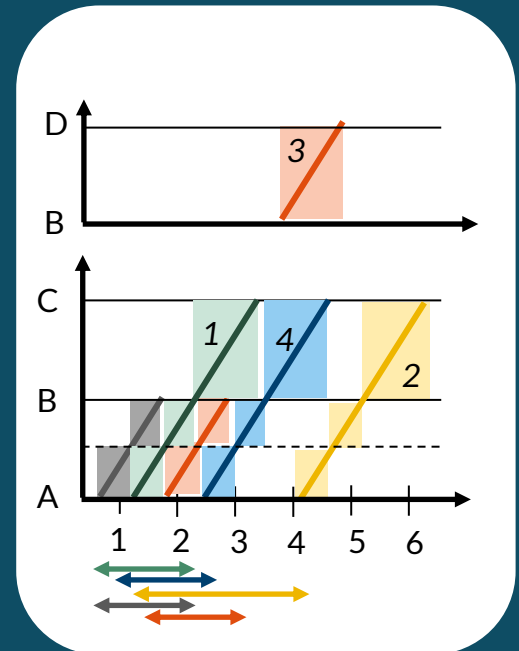


- Ett prognosticerat tågläge till
 - Får plats, men nu fullt (röd kontroll-linje)
- Framtida ordning inte bestämd
 - T.ex. grått och rött är (i denna lösning) placerade i ineffektiv ordning
 - med avseende på tidsfönstrens placering

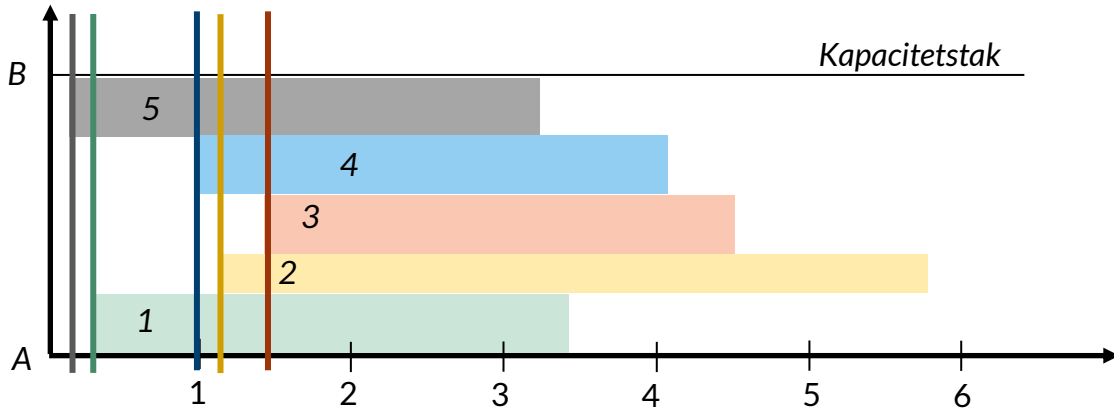
- Nät



- Tänkbar grafisk tidtabell

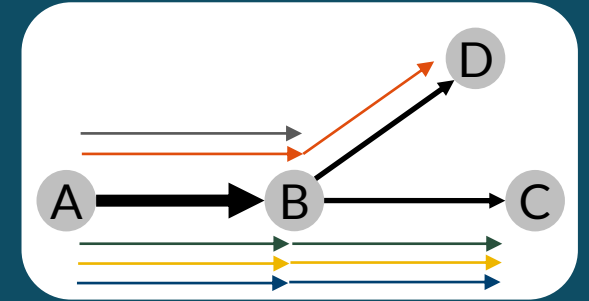


Kontroll av beläggning

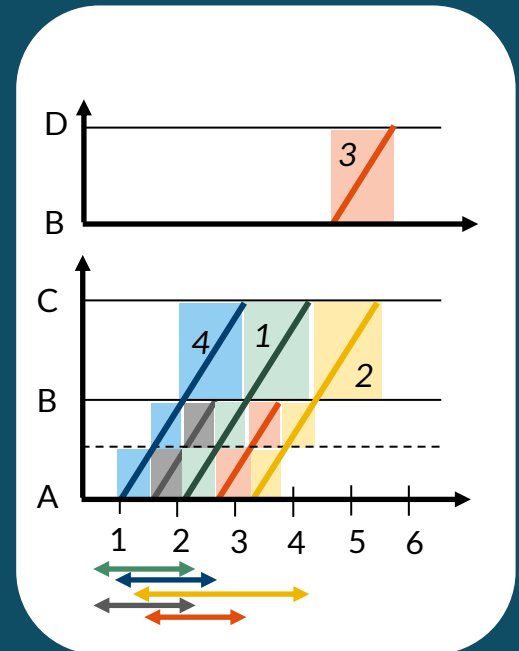


- Ett prognosticerat tågläge till
 - Får plats, men nu fullt (röd kontroll-linje)
- Framtida ordning inte bestämd
 - T.ex. grått och rött är (i denna lösning) placerade i ineffektiv ordning
 - med avseende på tidsfönstrens placering

- Nät

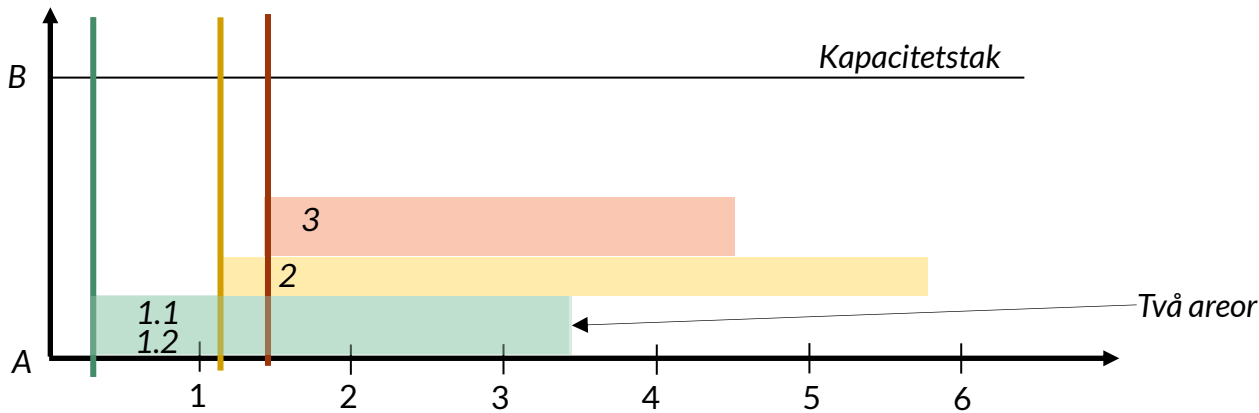


- Tänkbar grafisk tidtabell



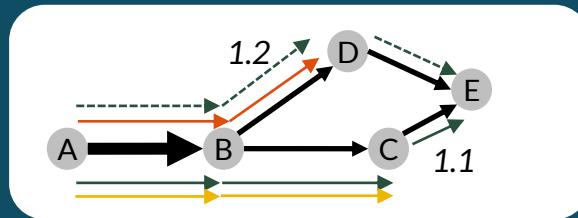
Kontroll av beläggning

Alternativt vägval

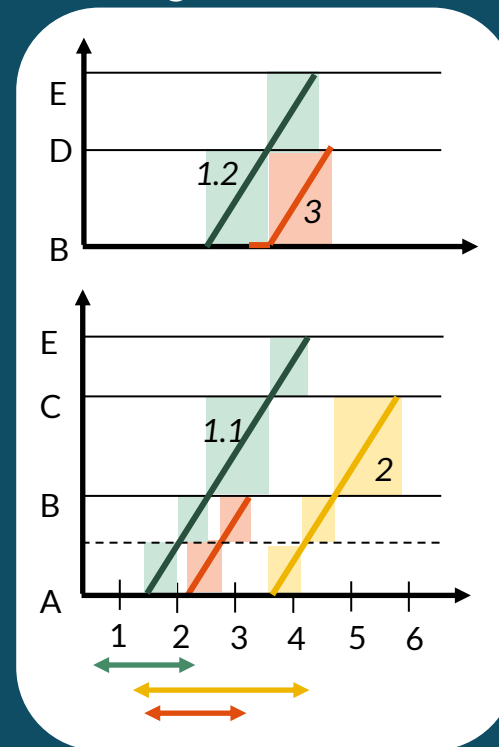


- Två transportlägesalternativ
 - 1.1: väg A-B-C-E (kortast körtid; föredragen)
 - 1.2: väg A-B-D-E
- Max ett transportlägesalternativ väljs
 - $x_{1.1} + x_{1.2} + \text{exkludering}_1 = 1$
 - $(h_{1.1} + h_{1.2}) + h_2 + h_3 \leq \text{kapacitetstak}$

- Nät

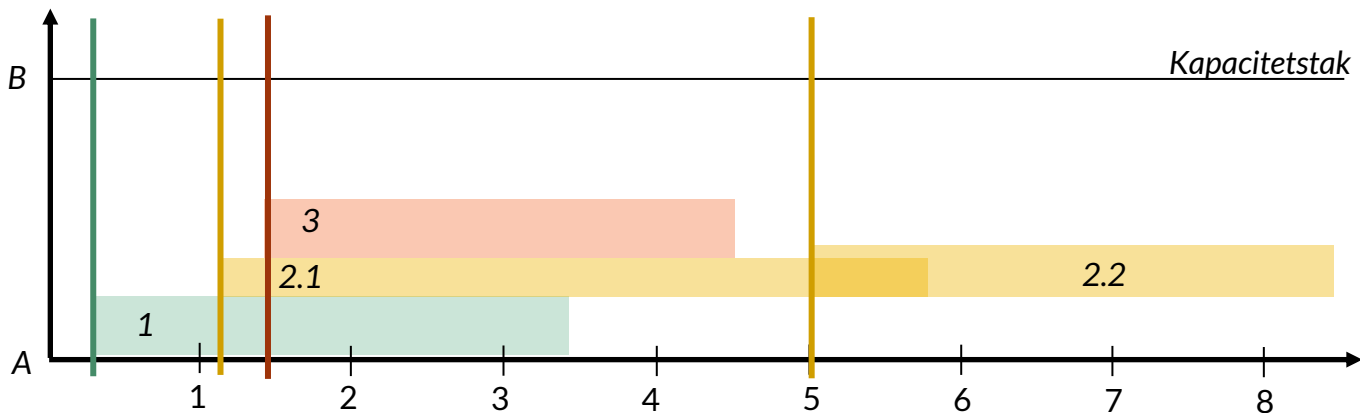


- Tänkbar grafisk tidtabell



Kontroll av beläggning

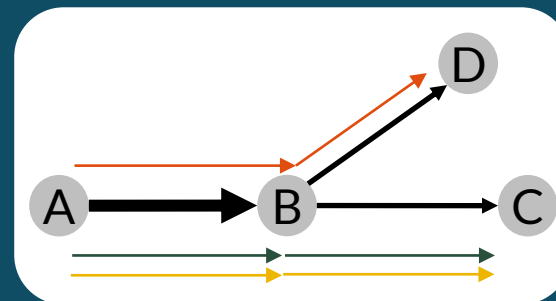
Alternativ avgångstid



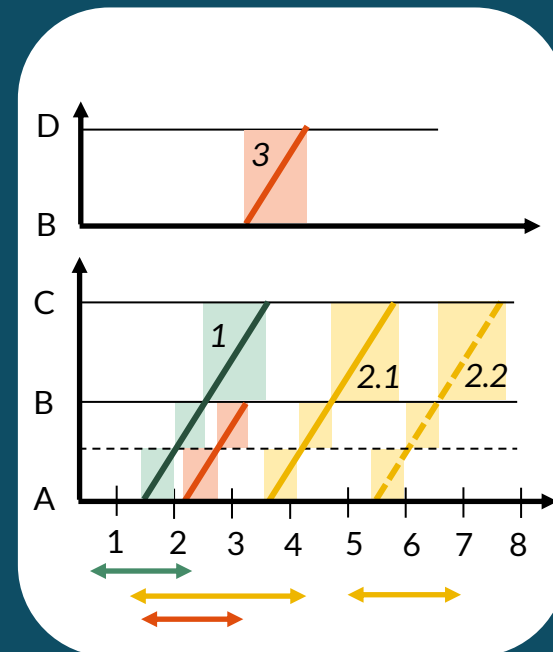
- Två transportlägesalternativ

- 2.1: avgång från A tidigast 1,2, senaste ankomst till B 5,7
- 2.2: avgång från A tidigast 5, senast ankomst till B 8,5
- Gul kontrollinje för 2.2 behövs ej då 2.1 och 2.2 inte kan väljas i samma lösning
hade 2.2 överlappat med något annat än "sig själv" hade kontroll behövts

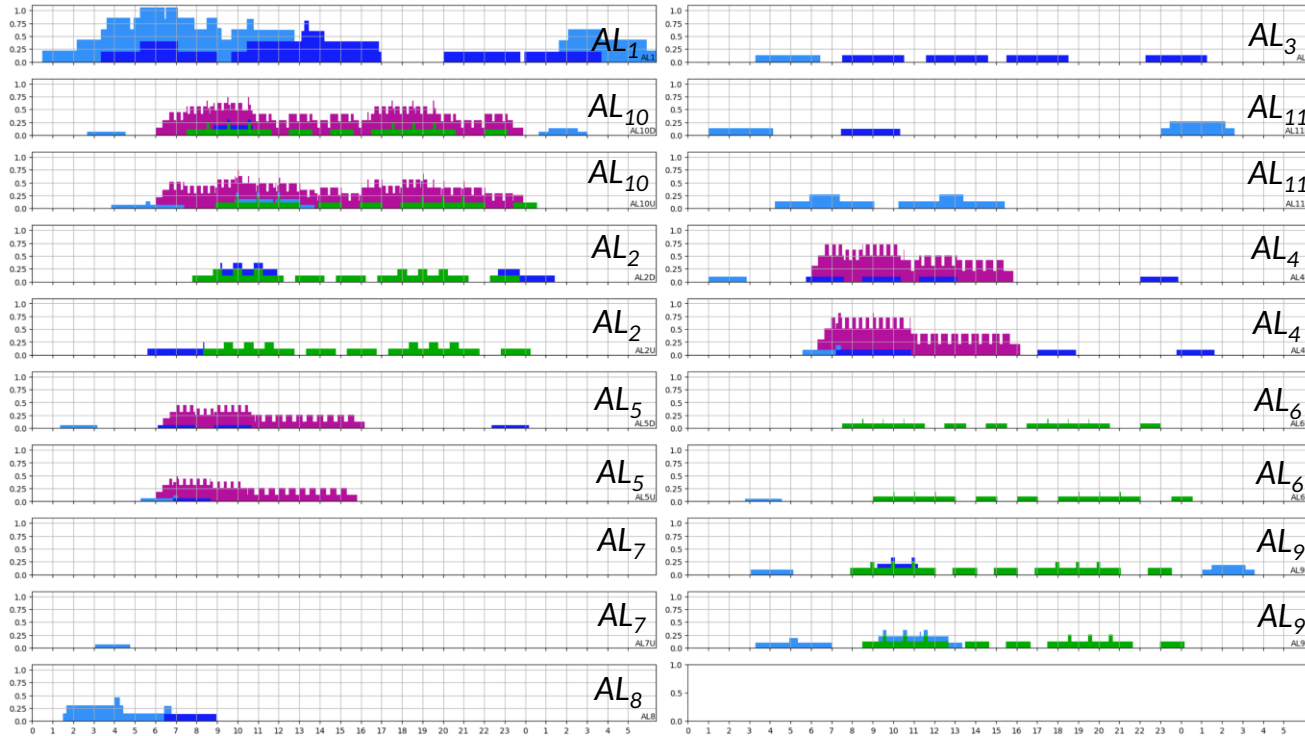
- Nät



- Tänkbar grafisk tidtabell

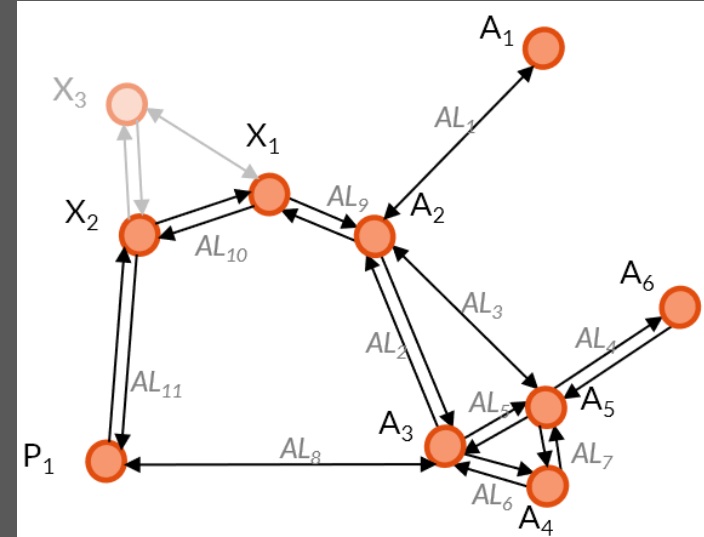


Example diagrams



- All Capacity model diagrams are given in one page
- Double track lines have two diagrams, one track “up” and one “down”

- Net



- 170 trains specified
 - Anchor point given
 - Time window
- Solved in less than one second
CPLEX 20.1

Sammanfattning

- TTRs *kapacitetsmodell* redovisar tänkta volymer av trafik "line sections"
 - Fokus är resursanvändningen
 - Resultatet är uppdelning i volymer av trafik
 - Antal tåg per timme och "typ"
- Prognosticerad trafik i *produktionsmålet* partitioneras i produktvolymer
 - Fokus är resursanvändningen
- Framtagen metod som
 - Utgår från ett produktionsmål (prognosticerade tåglägen)
tidigare tågplaner, CNA, långsiktiga prognoser, ...
 - Skapar resursbelastning (areor) från prognosticerade tåglägen
 - Urval av varianter för varje prognosticerat tågläge
 - Värdefunktion kan vara prioriteringskategorierna
 - Är beräkningsmässigt effektiv
Åtminstone i de tester som utförts hittills...

