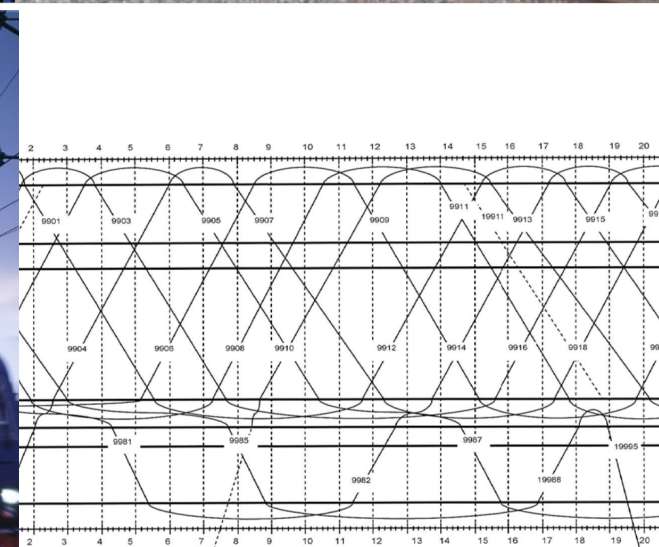


SAMORDNAD PLANERING AV TIDTABELL, LOK OCH VAGNAR FÖR LKAB

Martin Joborn, RISE & LiU
Dick Carlsson, LKAB
Patrik Eveborn, Optimal Solutions



Research Institutes of Sweden
RISE SICS



Vad är detta?



**Sensmoral: Tåget och tidtabellsläget är en del av ett helt produktionssystem.
Helheten mycket större än enskilda transporten.**

- ”Ett tåg”
- LKAB:s lok 116/109 (lok alltid parkopplade) med vagnsätt 5 (68 vagnar) i tågläge 9982 från Svappavara (SVV) till Kiruna lastat med produkten ”SMR” på väg mot Narvik.
Avgångstid SVV: 11:24
I Kiruna kör hela tåget direkt vidare i tågläge 9914 mot Narvik.
- Lastningen i SVV tog 4 timmar.
Vagnarna ankom SVV 05:17 tågläge 9979.
Loket ankom SVV 10:13 i tågläge 9981 med vagnsätt 3 som kopplades av i SVV.
- I Narvik kommer tågsättet till SILA-terminalen för avlastning, som tar 1:30, innan vagnarna lastas med olivin och körs till Malmberget. Lastningen tar 60 minuter.
- Ett lok+vagnar kostar ~300MSEK, 3 års leveranstid, transportvärde ~1500MSEK/år

The iron ore line – our conveyor belt

- Overall length approx. 500 km
 - Norway 43 km (18 tunnels, 5 bridges)
- The most heavily used line (weight)
 - In Sweden and Norway
 - STAX 30 tonnes
- History
 - Luleå-Malmberget 1882-1887
 - Malmberget-Riksgränsen 1898-1902
 - Riksgränsen-Narvik 1898-1902 (1884-1888)
- Current traffic
 - LKAB
 - approx. 30 Mtonnes (2015)
 - approx. 12 000 trains (2015)
 - Other freight traffic
 - Passenger
- Traffic Kiruna-Narvik (each direction)
 - LKAB: 10
 - (Other ore: 1-2)
 - Other freight: 3-4
 - Passenger: 2



Omloppsplanering i CO2REOPT

Två approacher:

- a) Taktiskt:
Tidtabellsplanering somordnat med lokomloppsplanering (inkl konfliktreglering, etc.)
”Hur ska den detaljerade tidtabellen se ut för att det ska bli bra för lokomloppen?”
- b) Strategiskt:
Tidtabelldimensionering för optimalt lok- och vagnsutnyttjande
”Vilka tåg ska vi köra för att transportera malmen och använda så få lok & vagnar som möjligt”

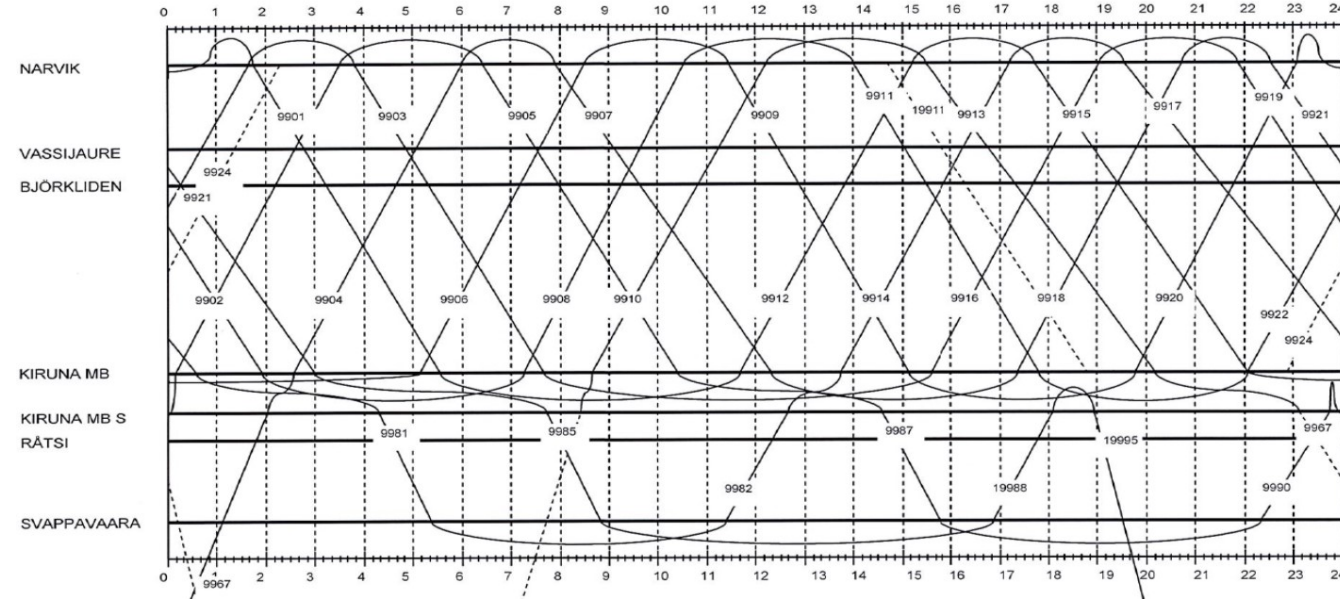


Frågeställning

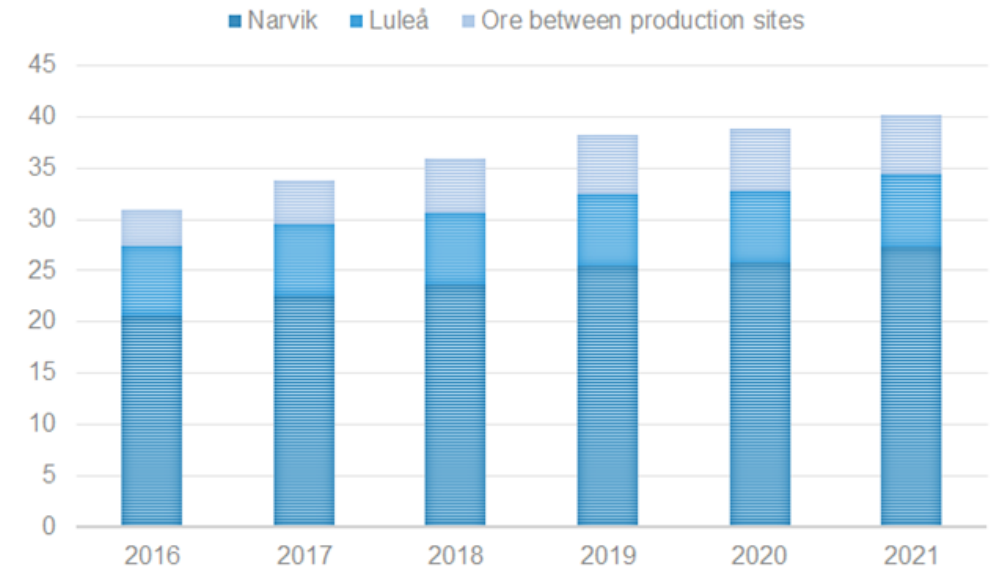
- Skapa lok- och vagnomloppsplan
- Hur många tåg ska köras?
- När ska tåg köras?
- Hur ska lok & vagnar vända mellan tåg?
- Hur många lok behövs?
- Hur många vagnsätt behövs?
- Är planen optimal?

- Senare fråga:
Hur ser detaljerade tågläget, inkl. konfliktreglering med andra tåg

Tidtabell med lokomlopp – norra omloppet



RAIL TRANSPORT*



Detaljer - transportbehov

- Produkter, transportbehov, lasttider, losstider, loktider (~250 transporter/vecka)

Produkt	FromTerminal	ToTerminal	Tåg/vecka	Lasttid	Losstid	Tid innan avg. lok ska finnas	Tid efter ank. lok ska finnas
KK2/4	Krn	Nvk_SILA	32	120	90	10	90
KK3	Krn	Nvk_SILA	16	150	90	10	90
KMR	Krn	Nvk_SILA	3	240	90	10	90
PF	Krn	Nvk_BALO	2	240	90	10	90
AMD	Krn	Svp	10	60	90	10	90
SK	Svp	Nvk_SILA	12	120	90	10	90
SMR	Svp	Nvk_SILA	4	240	90	10	90
AMLB	Svp	Mbg	9	240	90	10	90
PF	Svp	Nvk_BALO	1	240	90	10	90
MPBO	Mbg	Lla	21	120	100	120	100
MPBO/A	Mbg	Nvk_SILA	4	240	120	240	120
MAF	Mbg	Nvk_SILA	10	120	120	120	120
MAC	Mbg	Lla	2	240	100	240	100
KOL	Lla	Krn	7	1440	60	10	60
OLIVIN	Nvk_SILA	Mbg	12	60	60	60	60

Detaljer - tåglägen

- Välj bland möjliga tåglägen (1: tågläge möjligt; 0: tågläge ej möjligt; 343 möjliga/vecka)

Tågnr	From	To	Avg.tid (minuter)	Ank.tid (minuter)	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
9901	Nvk	Krn	113	299	1	1	1	1	1	1	1
9902	Krn	Nvk	9	214	1	1	1	1	1	1	1
9903	Nvk	Krn	238	419	1	1	1	1	1	1	1
9904	Krn	Nvk	154	354	1	0	0	0	0	1	1
9905	Nvk	Krn	385	604	1	0	0	0	0	1	1
9906	Krn	Nvk	308	509	1	1	1	1	1	1	1
9907	Nvk	Krn	473	727	1	1	1	1	1	1	1
9908	Krn	Nvk	435	644	1	1	1	1	1	1	1
9909	Nvk	Krn	679	908	1	1	1	1	1	1	1
9910	Krn	Nvk	519	729	1	1	1	1	1	1	1
9911	Nvk	Krn	840	1065	1	1	1	1	1	1	1
9912	Krn	Nvk	700	910	1	1	1	1	1	1	1
9913	Nvk	Krn	929	1165	1	1	1	1	1	1	1
9914	Krn	Nvk	824	1036	1	1	1	1	1	1	1
9915	Nvk	Krn	1065	1317	1	1	1	1	1	1	1
9916	Krn	Nvk	931	1145	1	1	1	1	1	1	1
9917	Nvk	Krn	1185	1437	1	1	1	1	1	1	1
9918	Krn	Nvk	1041	1239	1	1	1	1	1	1	1
9919	Nvk	Krn	1312	93	1	1	1	1	1	1	1
9920	Krn	Nvk	1187	1384	1	1	1	1	1	1	1
9921	Nvk	Krn	1402	225	1	1	1	1	1	1	1
9922	Krn	Nvk	1329	93	1	1	1	1	1	1	1
9924	Krn	Nvk	1374	142	1	1	1	1	1	1	1
9940	Svp	Krn	638	710	1	1	1	1	1	1	1
9942	Mbg	Krn	344	508	1	1	1	1	1	1	1
9944	Mbg	Krn	1395	105	0	0	0	0	0	0	0
9946	Mbg	Krn	565	716	1	1	1	1	1	1	1

Matematik - optimeringsproblem

- Optimeringsmodell
- Löses med kolumngenerering
- Två typer av kolumner: lokomlopp; vagnsomlopp inkl produkt
- Målfunktion: minimera antal lokomlopp + vagnsomlopp
- Villkor i master:
 - Max ett lok/vagn per tåg
 - Lika många lokomlopp och vagnomlopp i varje tåg
 - Täcka transportbehov
 - Kapacitet på terminaler
- Villkor i subproblem: villkor på enskilda omlopp
 - Villkor på varje omlopp
 - Lastningstider, lossningstider, ...
- Master löses med Branch & Price
 - Lösare: COIN-OR
 - Avancerad förgrenings- och sökstrategi
 - Dualpriser styr generering
- Subproblem löses med Dynamisk programmering

Master problem:

$$\min \sum_i c_i X_i + \sum_j d_j Y_j$$

$$\sum_i a_{it} X_i \leq 1, t \in T$$

$$\sum_j b_{jt} Y_j \leq 1, t \in T$$

$$\sum_i a_{it} X_i - \sum_j b_{jt} Y_j = 0, t \in T$$

$$\sum_j m_{jk} Y_j \geq n_k, k \in K$$

$$\sum_j r_{jsp} Y_j \leq q_p, s \in S, p \in P$$

$$(\sum_{t \in T_w} \sum_i a_{it} X_i \leq 1, w \in W)$$

Master problem:

$$\min \sum_i c_i X_i + \sum_j d_j Y_j$$

$$\sum_i a_{it} X_i \leq 1, t \in T$$

$$\sum_j b_{jt} Y_j \leq 1, t \in T$$

$$\sum_i a_{it} X_i - \sum_j b_{jt} Y_j = 0, t \in T$$

$$\sum_j m_{jk} Y_j \geq n_k, k \in K$$

$$\sum_j r_{jsp} Y_j \leq q_p, s \in S, p \in P$$

$$(\sum_{t \in T_w} \sum_i a_{it} X_i \leq 1, w \in W)$$

$X_i = 1$ if locomotive circulation i is used

$Y_j = 1$ if wagon circulation j is used

$c_t =$ cost of locomotive circulation i

$d_t =$ cost of wagon circulation j

$a_{it} = 1$ if loc. circ. i use trainslot t

$b_{jt} = 1$ if wagon circ. j use trainslot t

$m_{jk} =$ number of transports for transport k
covered by wagon. circ j

$n_k =$ req. number of transports for transport k

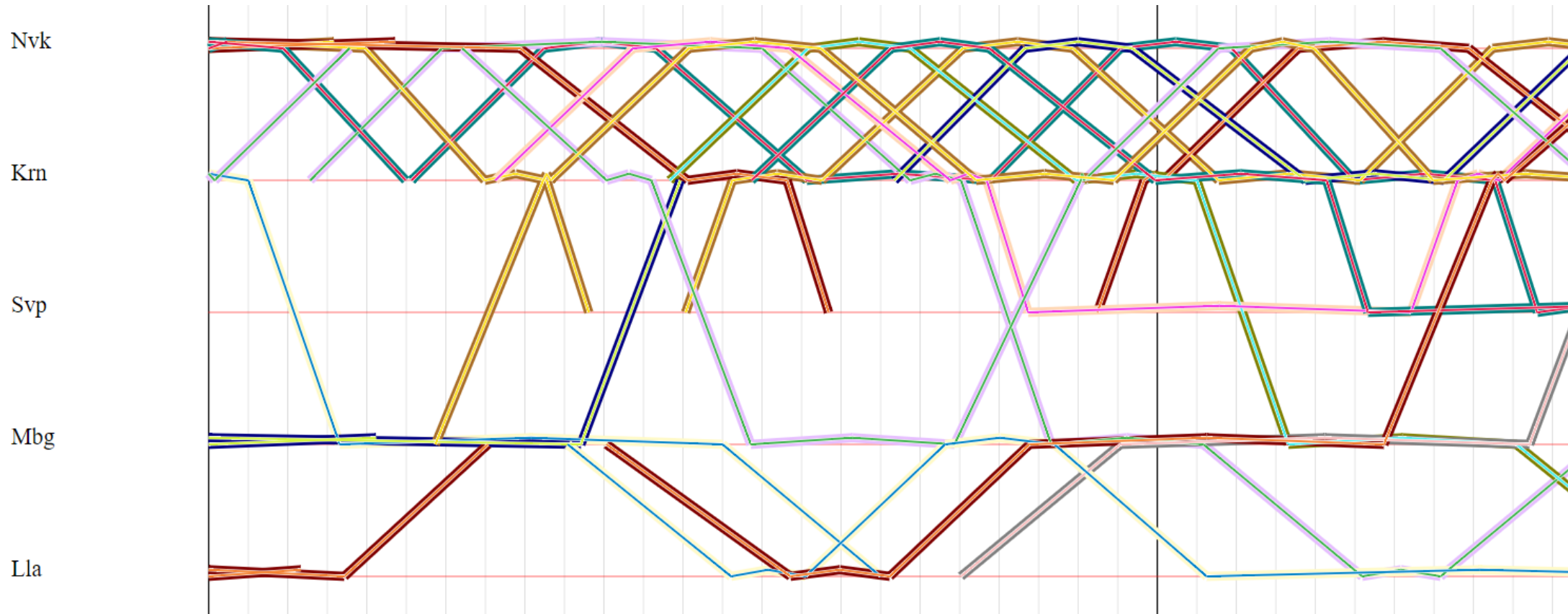
$r_{jsp} = 1$ if wagon circ. j is at terminal p timeslot s

$q_p =$ capacity at terminal p

T_w : set of trainslots that are versions of original
trainslot w

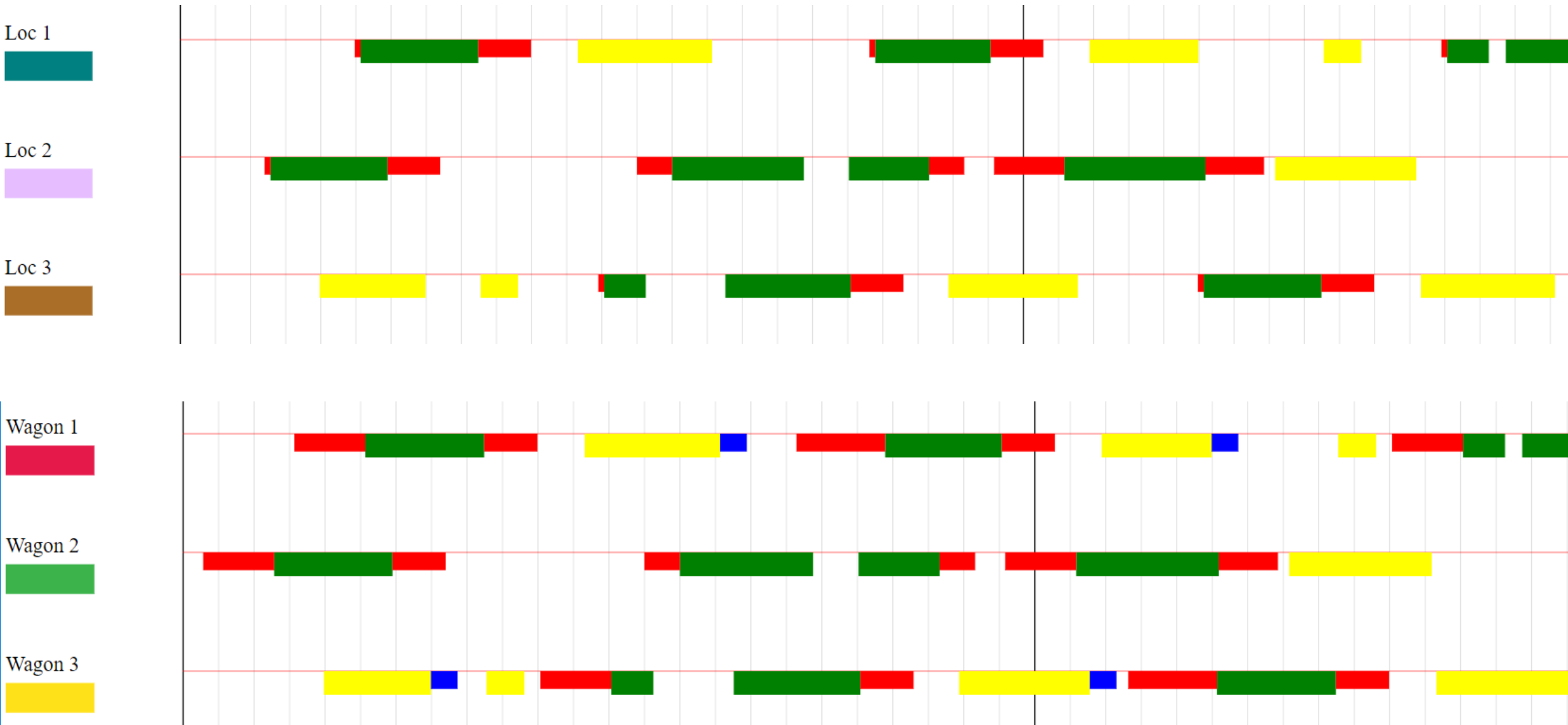
Resultat - omloppsplan

Resultat i graf



Resultat – gantschema lok & vagnar

[Resultat i graf](#)



Resultat

- LKAB mycket nöjda
- Prototyp väldigt funktionell
- Minskar LKAB:s strategiska osäkerhet
- Kan användas för taktisk förplanering



Nästa steg

- Kan man få bättre omlopp om tågen flyttar +/- 30 minuter?
 - Mycket svårare optimeringsproblem



**RI
SE**



TACK!

Martin Joborn, RISE & LiU

martin.joborn@ri.se

Research Institutes of Sweden

RISE SICS

