

Optimerande beslutstöd för tågtrafikledning

Johanna Törnquist Krasemann

Docent i Datavetenskap

Blekinge Tekniska Högskola & Linköpings universitet



www.bth.se/float



Översikt

1. Utgångspunkt
2. Optimerande beslutstöd: Potential & Utmaningar
3. Om forskningsprojektet ”FLOAT”
4. Pågående arbete
5. Exempel från fallstudien på Malmbanan
6. Frågor och synpunkter (tas gärna emot)

Utgångspunkt

Punktlighetsarbete består av tre huvudsakliga utmaningar:

1. Förebygga att s k primära störningar uppstår såsom fordonsfel, signalfel, rälsbrott som i sin tur kan ge földeffekter (s k merförseningar).
2. Konstruera robusta tidtabeller som i viss mån hämmar spridningseffekten av merförseningar och ger trafikledaren handlingsutrymme.
3. Ge trafikledare optimerande beräkningsstöd som kan ge förslag på effektiva lösningar och beräkna effekterna av dessa och därmed ge kontinuerligt underlag för prognostisering av tågens ankomst- och avgångstider.





Optimerande beslutstöd (1)

I ett operativt omplaneringsskede tas olika "nivåer" av **beslut**:

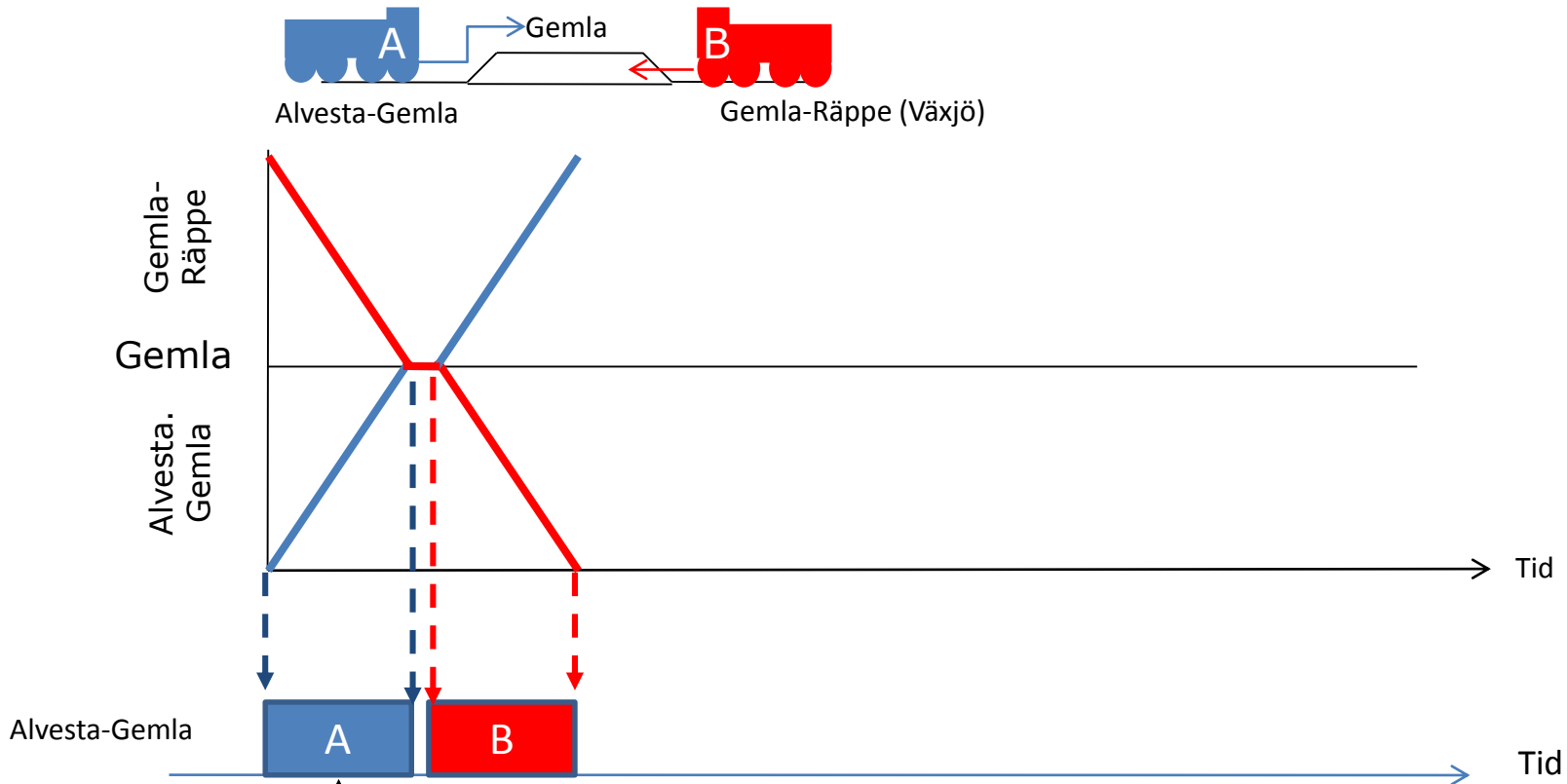
- Justering av tågens ankomst- och avgångstider
- Justering av spårval på linjen och stationer (inkl. plattformsväl)
- Justering av tågordning (inkl. möten och förbigångar)
- Omledning, inställelse och tidig vändning av tåg.

Besluten tas utifrån olika **mål/riktlinjer** och preferenser.

Besluten grundas på en bedömning av **gällande begränsningar och förutsättningar** inkl. uppskattning av:

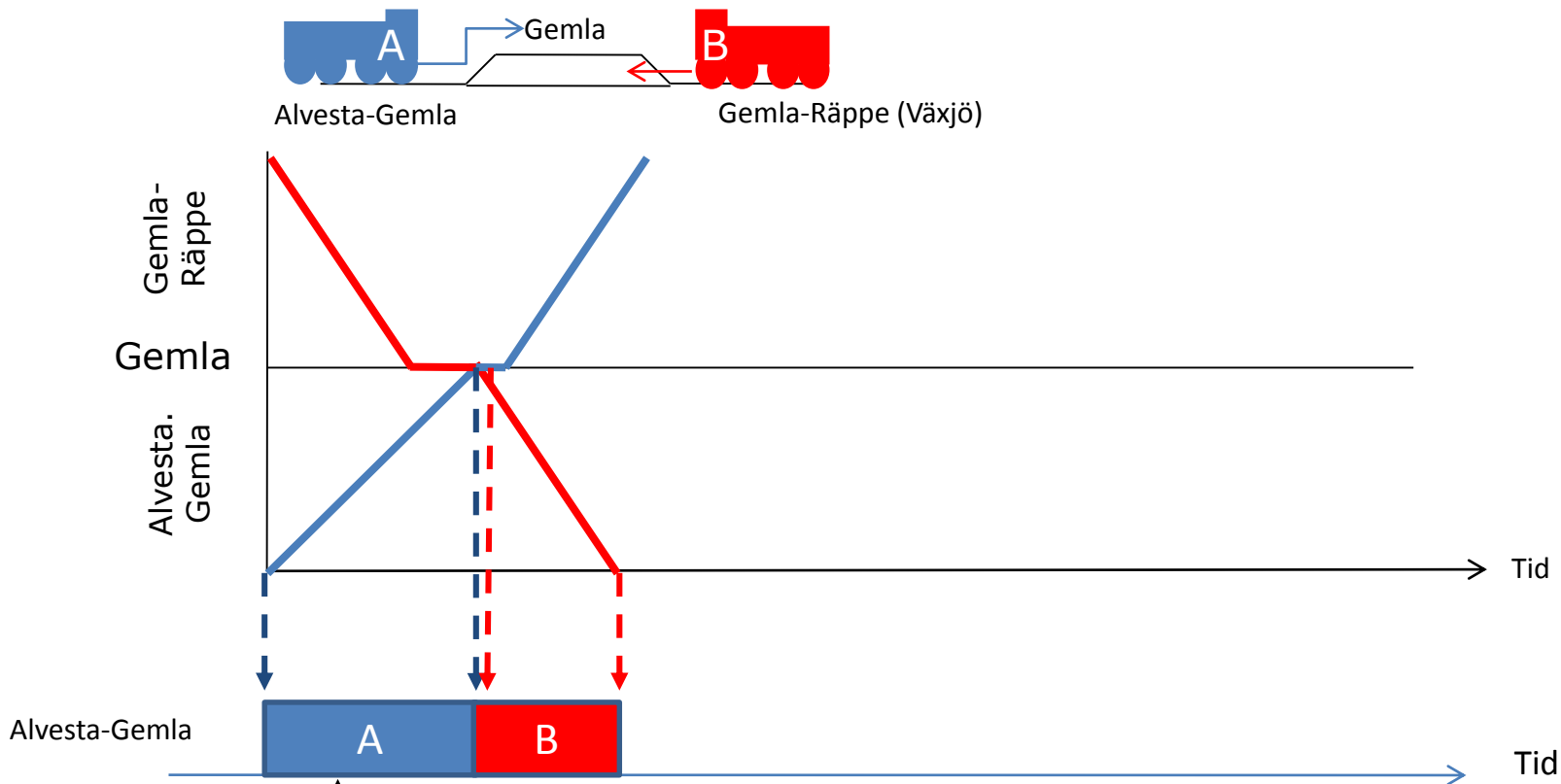
- tågens aktuella position,
- gångtider och uppehållstider vilka beror på infrastrukturens tillstånd mm.
- mm

Optimerande beslutstöd (2)



Ett tågläge/"en slot" kan betraktas som ett tidsfönster inom vilket ett specifikt tåg ska använda ett specifikt spår på en specifik bansträcka. Vi benämner det en "event". Dess längd anger dess varaktighet (körtiden) och är dynamisk men med ett minimivärde (den teoretiska minsta gångtiden på sträckan). Dess reella längd blir större om det uppstår köbildning och tåget får invänta på spåret bakom ett annat tåg.

Optimerande beslutstöd (3)



Ett tågläge/"en slot" kan betraktas som ett tidsfönster inom vilket ett specifikt tåg ska använda ett specifikt spår på en specifik bansträcka. Vi benämner det en "event". Dess längd anger dess varaktighet (körtiden) och är dynamisk men med ett minimivärde (den teoretiska minsta gångtiden på sträckan). Dess reella längd blir större om det uppstår köbildning och tåget får invänta på spåret bakom ett annat tåg.



Optimerande beslutstöd (4)

- Problemet kan formuleras som ett optimeringsproblem (ett **Mixed Integer Linear Program, MILP**, i vårt fall).
- Detta består av:
 - En mängd grundläggande **villkor** som säkerställer att tågen framförs enligt gällande föreskrifter etc.
 - En mängd **variabler** som motsvarar de beslut som trafikledaren gör, dvs.
 - start- och sluttid för varje tågläge/”slot”.
 - spårval
 - tågordningen på spåren
- En **målfunktion** som anger vad omplaneringen strävar efter; t ex att minimera avvikelser från tidtabellen med fokus på förseningar.



Optimerande beslutstöd (5)

- Potential & Relevans

- Kan hantera stora mängder information och data
- Kan snabbt* ta fram flera alternativa lösningar, inkl. en ”optimal” lösning, och beräkna effekterna (positiva och negativa) av alternativa lösningar.
- Har visat sig praktiskt användbara (Milano Metro, Regionala tåglinjer i Italien, Lötschberg Base-tunneln i Schweiz, Dovrebanan i Norge).

* Beror på problemets komplexitet och beräkningsmetodens prestanda.



Optimerande beslutstöd (6)

- Utmaningar

- Tillgången till tillförlitlig data och information är central.

- Problemformuleringen är avgörande för hur realistiska och relevanta lösningarna som tas fram är. Denna förändras dessutom sannolikt beroende på vilka trafiksituationer som ska hanteras.

- Tidskritiska beslut: Problemformuleringen, val av trafikområde och tidshorisont samt val av beräkningsmetod påverkar hur fort lösningar kan tillhandahållas.

Dataförsörjning

Matematisk problemdefinition

Beräkningsmetod

Visualisering och användarinteraktion

- "Black box"-känslan: Vad föreslagna lösningar grundas på måste vara tydligt för användaren. Ett välfungerande "samspel" med användaren är viktigt.

En crash-course i optimering

Målfunktion:

Maximera $Z = \text{Maximera } (X1 + X2)$

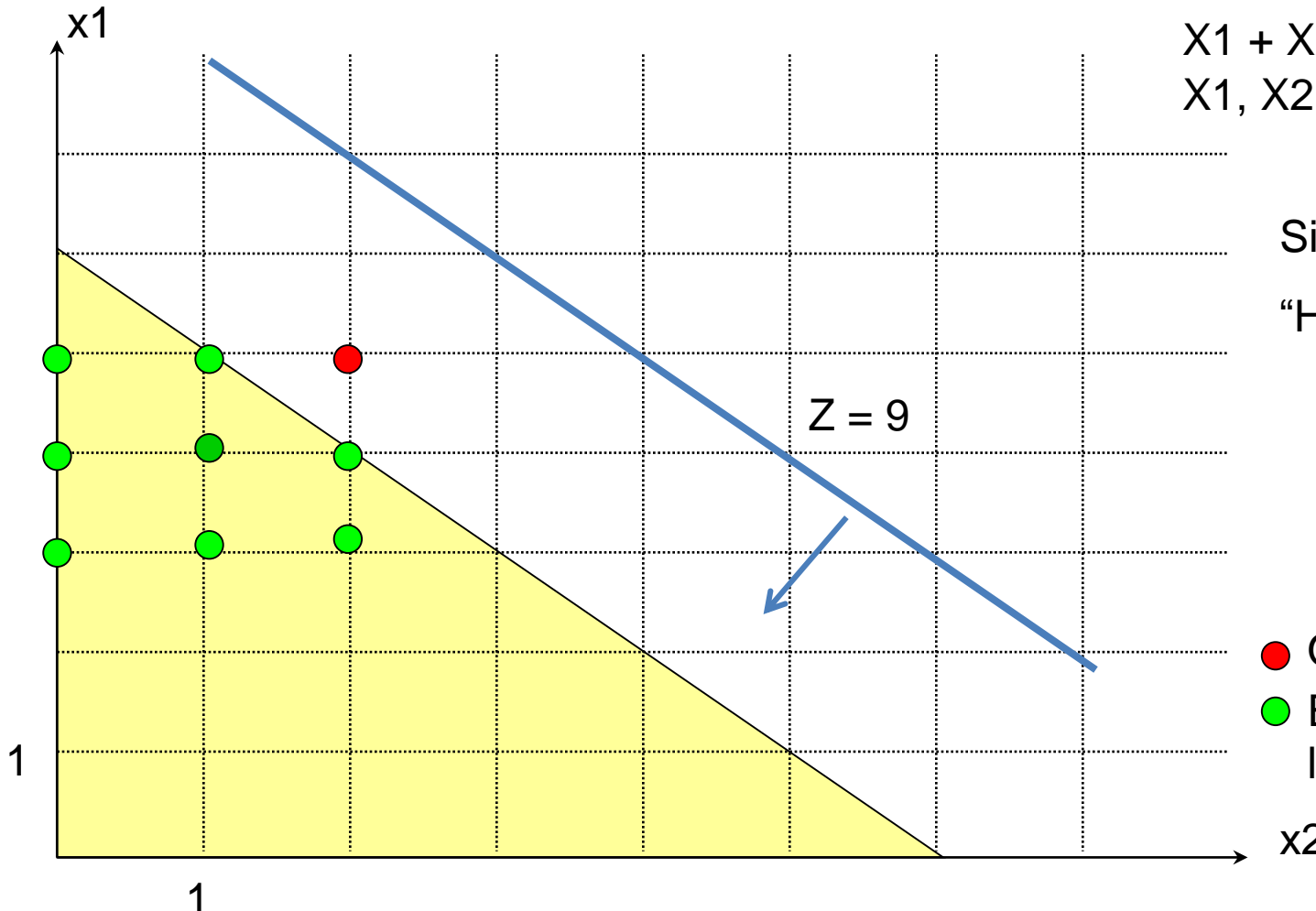
Bivillkor:

$$0 \leq X1 \leq 6$$

$$0 \leq X2 \leq 6$$

$$X1 + X2 \leq 6$$

$X1, X2$ heltal



Simplexmetoden

“Hörnlösningar”

● Otillåten lösning

● Exempel på tillåtna lösningar



FLOAT

- Bättre flyt i tågtrafiken med
beräkningsstöd för trafikledningen

Projekttitel: FLOAT – FLexibel Omplanering Av Tåglägen.

Projektid: September 2013-Mars 2016

Kontaktperson Trafikverket: Peter Hammarberg

Finansiering:  TRAFIKVERKET och Karlshamns Kommun.

Utförare: Johanna Törnquist Krasemann och Håkan Grahn
Blekinge Tekniska Högskola

Utgångspunkt: Tidigare forskningsprojekt OAT, OAT+, EOT.

Samarbeten: Trafikverket samt BAOT och RTJ+.



FLOAT: Syfte

Projektet syftar till att utveckla och utvärdera principer och metoder för att stödja svenska trafikledare i deras operativa arbete genom att:

- *Identifiera* olika typer av potentiella relevanta avvikelser och konflikter.
- Ge trafikledaren alternativa förslag på hur de kan lösas på ett ”optimalt” sätt.
- *Beräkna* effekterna av de beslut som (planeras) att effektueras.





FLOAT: Utgångspunkt

- **Problemformulering:** I föregående projekt har MILP modeller utvecklats, tillämpats och utvärderats på olika typer av banor.
- **Lösningsmetoder :** Kommersiell mjukvara IBM CPLEX och egenutvecklad sökalgoritm implementerad i Java.
- **Utvärdering:** Beräkningsstödet tillämpades på över 100 olika svåra störningsscenarier på Södra Stambanan som skapades i en experimentell datormiljö.
- **Behov av ökat fokus på praktiska aspekter i vidareutvecklingen och utvärderingen av beräkningsstödet**s funktioner och prestanda.



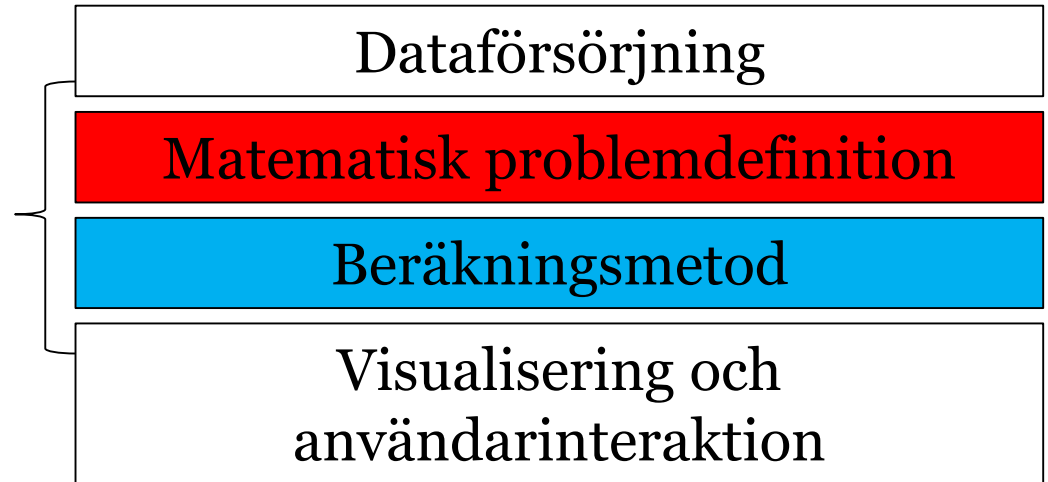
FLOAT: Fokus (1)

Centrala frågor:

- Vilka begränsningar och målfunktioner gäller i olika situationer?

Hur ska alternativa lösningsförslag värderas och bedömas?

- Vilka anpassningar krävs i modellen resp. lösningsmetoden för att ge relevanta lösningar tillräckligt snabbt?



Viktig relaterad fråga:

Hur skulle denna typ av stöd rent praktiskt kunna stödja trafikledaren i olika situationer och på vilka sätt?



FLOAT: Fokus (2)

Beräkningsmetoden kan fatta följande **beslut**:

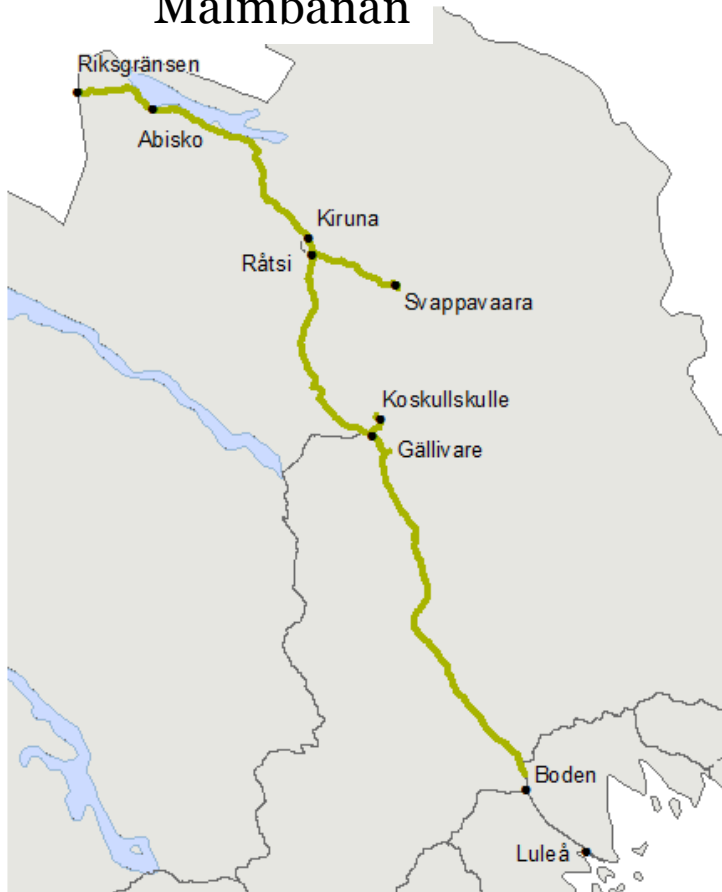
- Justering av tågens ankomst- och avgångstider
- Justering av spårval på linjen och stationen (inkl. plattformar)
- Justering av tågordning (inkl. möten och förbigångar)
- ~~Omledning, inställelse och tidig vändning av tåg.~~

Utveckling och utvärdering inriktad på *Södra Stambanan* (Katrineholm—Malmö) och *Malmbanan* (Björnfjell-Kiruna-Boden-Luleå).

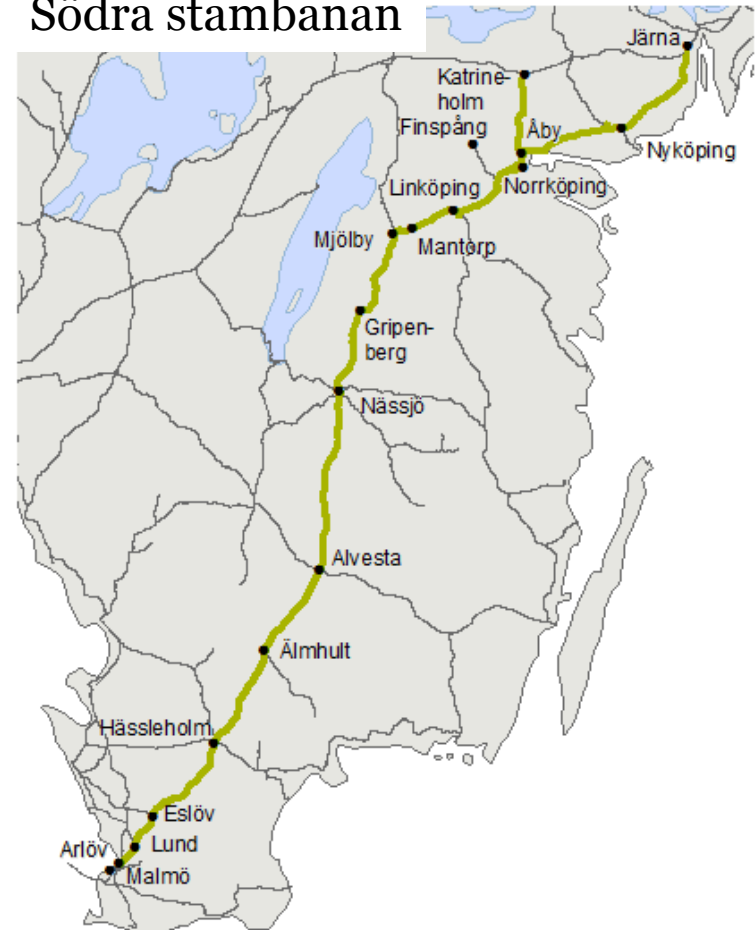
FLOAT: Fokus (3)

Likheter & skillnader avseende utformning av problemformulering och beräkningsmetod?

Malmbanan



Södra stambanan

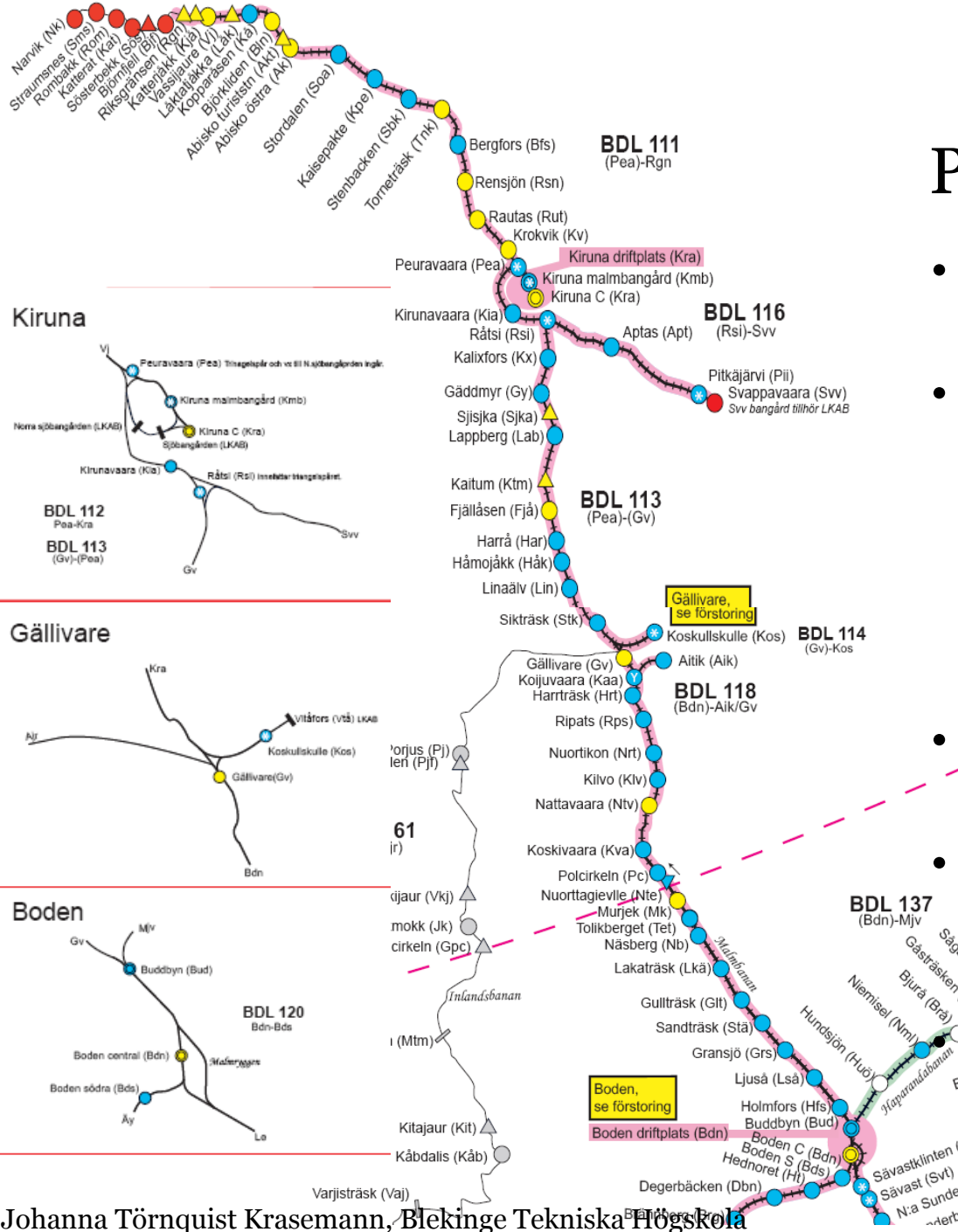


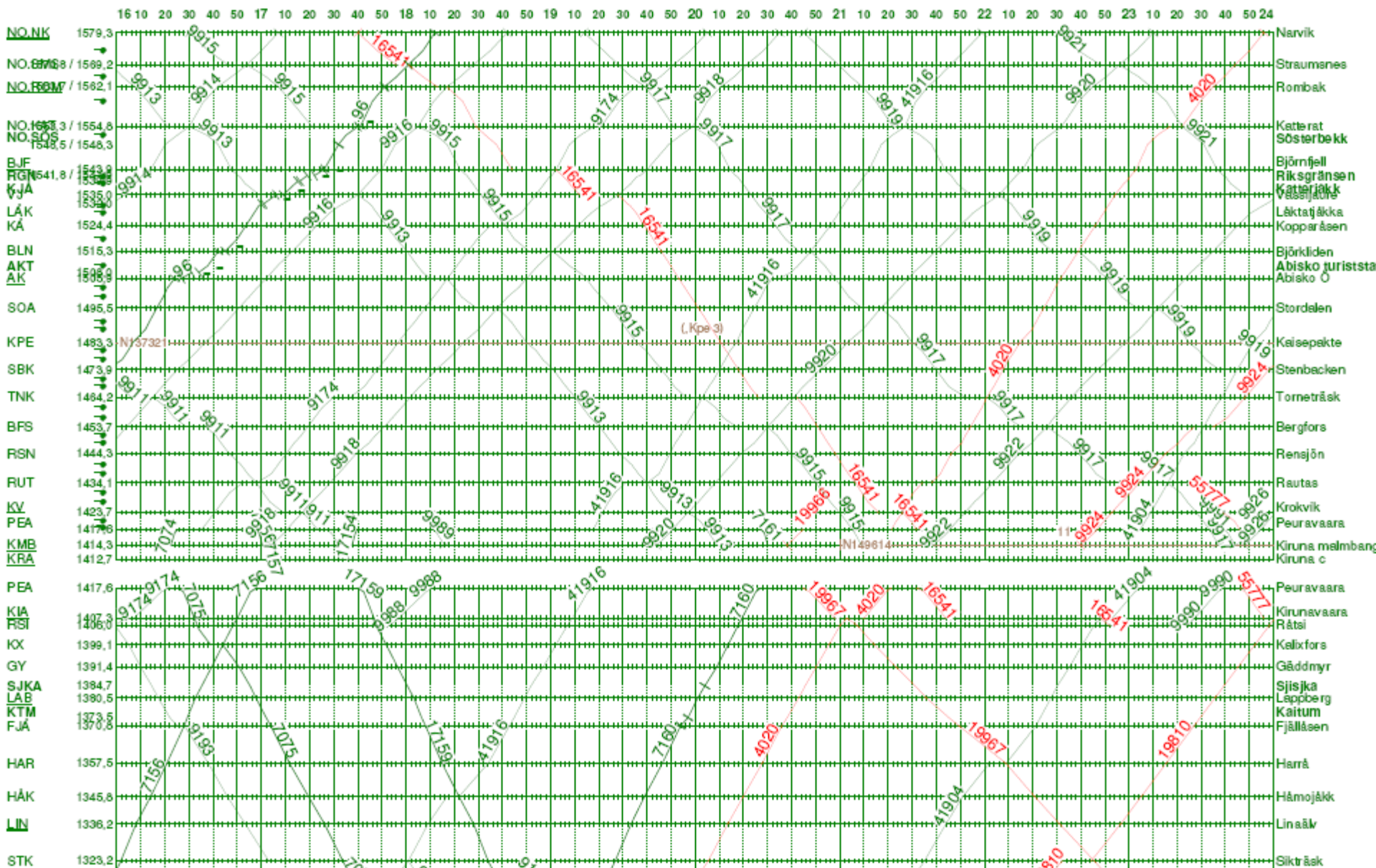
Bildkälla: Trafikverket

FLOAT

Pågående arbete (1)

- Kartläggning av förutsättningar på Malmbanan.
 - Problemformulering och iterativ validering av våra antaganden om begränsningar som gäller på banan samt indata såsom gångtider, tidsseparering vid möten mm.
 - Konkretisering av relevanta scenarier.
 - Implementering av problemformuleringens olika versioner i AMPL.
- Applicering på definierade scenarier (mhja lösaren IBM Cplex 12.5).





FLOAT: Pågående arbete (2)

Resandetåg: LUPP-data över avvikelser under flera dagar i maj 2014

		2014-05-4	2014-05-0	2014-05-0	2014-05-0	2014-05-0	2014-05-4	2014-05-0	2014-05-0	2014-05-0	2014-05-1	2014-05-1	2014-05-1	2014-05-1	2014-05-1	2014-05-1	2014-05-1	2014-05-1	2014-05-1
Björnfjell	Avgång	5	19	21	3	-2	0	3		0	3	0	2		1	15		2	-1
Yassijaure	Avgång	2	20	29	3	-3	-2	2	11	3	2	2	1	-1	1	15	12	1	0
Kopparåsen	Ankomst	1	19	29	2	-4	-3	8	17	4	2	3	0	-2	1	15	11	0	0
Kopparåsen	Avgång	-3	15	25	-2	-8	-7	4	13	0	-2	-1	-4	-5	-3	11	7	-4	-4
Björkliden	Ankomst	-7	11	21	-6	-11	-11	1	9	-4	0	-5	-8	-9	-7	7	3	-7	-8
Björkliden	Avgång	-4	8	20	-3	-3	-4	-1	5	-4	-2	-2	-4	-4	-3	3	0	-3	-4
Abisko östra	Ankomst	-5	3	16	-5	-5	-5	-5	1	-6	-4	-4	-5	-5	-5	-2	-4	-5	-5
Stordalen	Avgång	-2	1	15	-3	-3	-2	-3	0	3	-1	-2	-3	-2	0	-1	-1	-2	-2
Kaisepakte	Ankomst	-3	1	14	-3	-2	-2	0	0	2	2	-3	-3	-2	-2	-1	0	-1	-3
Kaisepakte	Avgång	-6	-2	20	-6	-5	1	-3	-3	-1	0	0	-6	1	1	2	2	-4	-6
Stenbacken	Avgång	-5	-3	20	-6	-6	1	-3	-4	-1	0	0	-2	0	1	3	2	-5	-6
Torneträsk	Avgång	-4	-3	20	-5	-5	1	-4	-4	-1	0	0	-2	0	1	3	2	-5	-6
Bergfors	Avgång	-5	-4	20	-6	4	0	-4	-3	-2	0	0	-2	0	1	5	1	-5	-7
Rensjön	Avgång	-2	-2	22	-4	7	3	-2	-1	1	2	2	0	2	4	13	3	-3	-4
Rautas	Avgång	-3	-2	20	-6	15	1	-4	-3	-1	9	2	-2	-1	1	11	1	-2	-7
Krokvik	Avgång	-3	-1	20	-3	25	1	-4	-4	-1	10	10	-2	0	2	11	1	-1	-7
Kiruna malmba	Ankomst		0		-3	25		0	0	0	9				0	11		-1	-7
Kiruna malmba	Avgång				0	15		0	0	0	3				0	2		0	0
Kalixfors	Avgång	-6		15	-9	15	-8	-8	-7	-8	3	2	-8	-10	-6	-1	-6	-6	-10
Gäddmår	Avgång	-7		14	-9	14	-8	-8	-7	-8	3	2	-9	-10	-6	-1	-6	-6	-10
Lappberg	Avgång	-6		15	-9	23	-8	-7	-7	-8	4	2	-8	-10	-6	0	-6	-6	-9
Fjällåsen	Avgång	-5		16	-9	24	-7	-7	-7	-8	5	2	-8	-10	-6	0	-6	-6	-9
Harrå	Avgång	-2		16	-2	23	-2	0	1	-1	5	1	-2	-11	-2	0	-6	-1	-3
Håmojåkk	Avgång	-1		16	-2	23	-2	1	1	0	8	4	-1	-1	-1	0	-6	-1	-3
Linaålv	Avgång	-1		16	-2	23	-2	1	0	0	8	4	-1	-1	-2	0	-6	-1	-4
Sikträsk	Avgång	-1		17	-2	23	-1	2	1	0	9	5	-1	-1	-1	1	-5	-1	-3
Gällivare	Ankomst	0		17	-1	23	-1	2	1	1	10	5	0	-1	-1	1	-5	-1	-3
Gällivare	Avgång	0		19	0	23	0	3	1	1	11	12	0	1	-1	1	-1	2	-1
Harrträsk	Ankomst	0		18	-2	21	-1	1	0	0	10	10	-1	0	-2	-1	-3	2	-4
Harrträsk	Avgång	-2		5	-14	8	-1	-11	-12	-13	-2	-2	-14	-9	-14	-13	-15	-10	-16
Ripats	Avgång	-3		4	-16	6	-2	-4	-11	-14	-4	-4	-14	-3	1	-9	-15	-11	-16
Nuortikon	Avgång	-5		1	-18	3	-5	-5	-13	-17	-2	-7	-16	-5	0	-11	-16	-13	-18
Kilvo	Avgång	-6		1	-19	3	-5	-5	-14	-17	1	-7	-16	-5	-1	-11	-16	-8	-19

FLOAT: Pågående arbete (3)

Malmtåg (2 st): LUPP-data över avvikelser under flera dagar i maj 2014

		2014-05-01	2014-05-02	2014-05-03	2014-05-04	2014-05-05	2014-05-06	2014-05-07	2014-05-08	2014-05-09	2014-05-10	2014-05-11	2014-05-12	2014-05-13	2014-05-14	2014-05-15	2014-05-16	2014-05-17	2014-05-18	2014-05-19	2014-05-20
Kiruna malmbangård	Avgång	10			-29		-12		0	-24	0				0	0	-3	0	-7	-10	
Peuravaara	Avgång																				
Krokvik	Avgång	10	-23	4	-29	21	-12	-7	-34	-27	-20	-5	-2	2	0	0	-3	-8	-7	-10	
Rautas	Avgång	9	-14	6	-5	25	-12	-4	-26	-23	-15	-4	14	1	0	0	-4	-8	-8	-9	
Rensjön	Avgång	7	-13	5	-5	41	-14	-6	-26	-23	-14	-6	16	-1	-2	-1	-6	-10	-9	-11	
Bergfors	Avgång	7	-11	19	-5	59	2	-6	-25	-24	-14	-6	17	0	-2	1	-1	-9	-10	-11	
Torneträsk	Avgång	6	-8	19	-5	59	3	-6	-14	-23	-14	-5	17	0	-3	2	-1	-9	-10	-12	
Stenbacken	Avgång	15	-7	22	15	59	3	-6	-10	-23	-5	-3	17	0	0	3	0	-9	-10	-12	
Kaisepakte	Avgång	15	1	21	15	58	1	-1	-2	-24	2	0	16	1	1	3	2	-3	-4	-4	
Stordalen	Avgång	11	0	19	13	54	-2	-2	-3	-22	1	-1	14	-1	-2	2	2	-4	-6	-6	
Abisko östra	Avgång		5																		
Björkliden	Avgång	7	5	14	9	50	-6	0	-6	-24	-3	-1	10	-5	-4	0	2	-5	-10	-9	
Kopparåsen	Avgång	6	4	16	8	49	-6	-1	-7	-24	-3	0	10	-5	8	-1	2	-5	-11	-10	
Vassijaure	Avgång	2	7	10	3	44	-11	-7	2	-29	-9	-3	5	-10	12	-2	-1	-7	-15	-15	
Björnfjell	Ankomst	4	10	13	6	47	-7	-5	0	-27	-6	0	8	-6	16	0	2	-3	-13	-11	

		2014-05-01	2014-05-02	2014-05-03	2014-05-04	2014-05-05	2014-05-06	2014-05-07	2014-05-08	2014-05-09	2014-05-10	2014-05-11	2014-05-12	2014-05-13	2014-05-14	2014-05-15	2014-05-16	2014-05-17	2014-05-18	2014-05-19	2014-05-20
Björnfjell	Avgång	-24		-30	-12	-27	-23	-17		-22	-11	-32	-29		-55		-46		-52		
Vassijaure	Avgång	-22	0	-25	-7	-23	-18	-12	-16	-18	19	-26	-25	-44	-47	-4	-42	-19	-47	30	
Kopparåsen	Avgång	-23	-1	-26	4	-23	-3	-1	-6	-18	32	-7	-26	-45	-48	-3	-43	-5	-48	30	
Björkliden	Ankomst	-22	2	-25	6	-24	0	-1	-7	-17	33	-7	-23	-42	-48	-4	-43	-5	-48	30	
Björkliden	Avgång	-5	-7	-22	-4	-34	-10	-10	-16	-27	24	-16	-33	-37	-24	-13	-33	-14	-36	20	
Abisko östra	Avgång																				
Stordalen	Avgång	-5	4	-14	-3	-21	-7	-3	1	-12	25	-6	-28	-12	-13	-6	-10	-2	-19	20	
Kaisepakte	Avgång	-5	4	-10	-2	-17	-5	-4	1	-12	25	-6	-29	-13	-14	-7	-10	-2	-20	19	
Stenbacken	Avgång	-4	5	-8	0	-13	-2	-2	3	-10	35	-4	-28	-11	-13	-6	-9	-1	-19	28	
Torneträsk	Ankomst	-7	4	0	0	-15	-4	2	3	-10	34	-4	-31	-14	-16	-9	-12	-1	-23	27	
Torneträsk	Avgång	-33	-14	-19	-12	-41	-30	-13	-23	-30	8	-11	-57	-39	-42	-34	-37	-16	-48	1	
Bergfors	Avgång	-23	-14	-10	-11	18		-12	-25	-26	6	-12	-59	-29	-32	-20	-30	-17	-39	0	
Rensjön	Avgång	-20	-13	-8	-10	21		-11	-24	-25	7	-10	-58	-26	-30	-10	-28	-17	-37	2	
Rautas	Avgång	-23	-5	-5	-6	26		-3	-25	-27	5	-4	-61	-29	-32	-2	-30	-19	-40	0	
Krokvik	Avgång	-18	-4	-4	-5	34		-1	-20	-21	10		-61	-23	-18	0	-16	-19	-39	0	
Kiruna malmbangård	Ankomst		-3	0	-4	34		0	0		9			-18	0		0	-39	0		



FLOAT

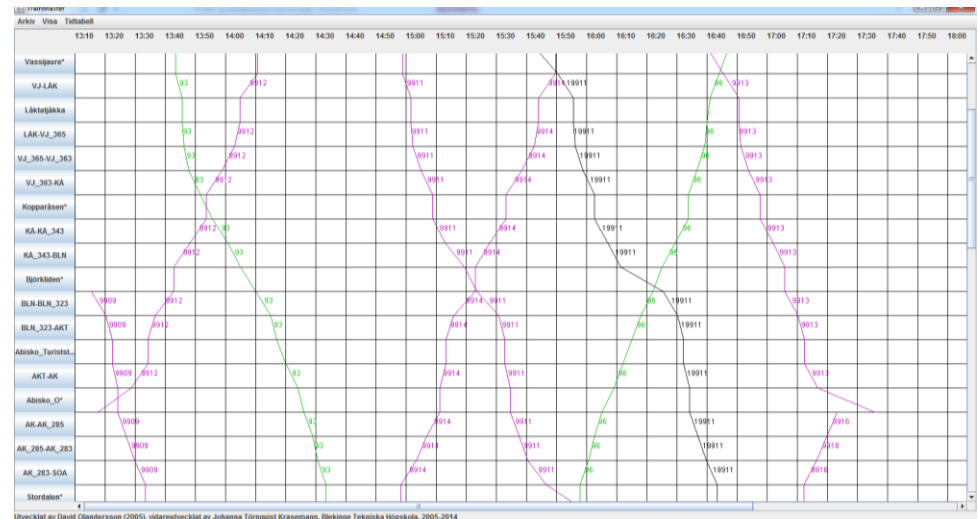
Pågående arbete (4)

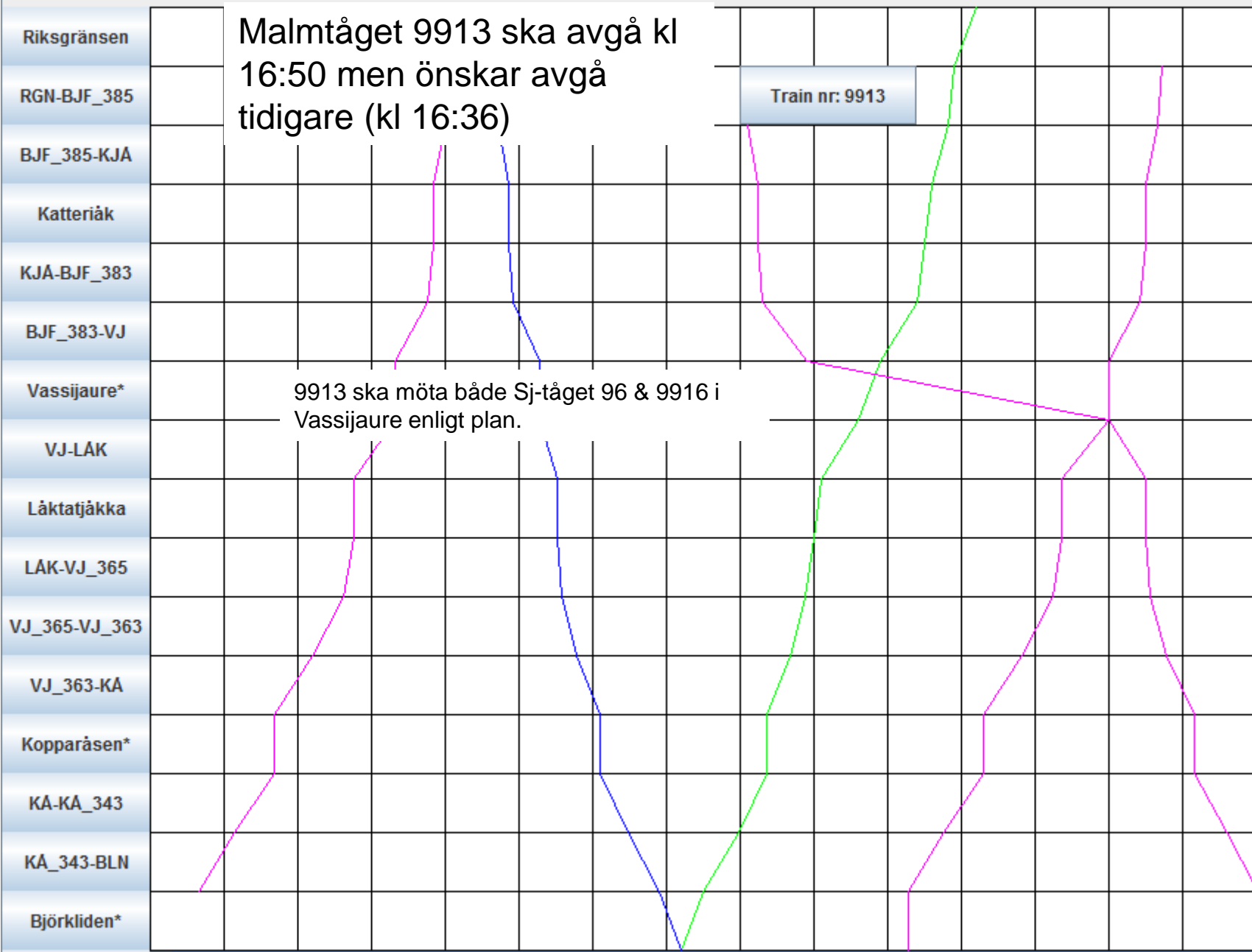
- Utgår från vår grundmodell med tillägg för begränsningar m a p t ex:
 - Ej samtidig infart, som regleras av olika tidsvillkor beroende på tågpar och ordning
 - Lastade Malmtåg bör ej stanna (regleras av tidstillägg för oplanerade stopp)
 - Möten och ev. förbigångar regleras med avseende på Malmtågens längd
 - Malmtågens gångtider varierar beroende på var uppehållen sker (baseras på approximationer utifrån Trainplan samt empirisk trafikdata).
- Banarbeten modelleras på två olika sätt: 1) berörda spår går ej att trafikera eller 2) ”spöktåg” belägger berörda spår under en viss fixerad tidsperiod (dessa tåg inkluderas ej i målfunktionen).

FLOAT

Pågående arbete (5)

- Alternativa målfunktioner beroende på situation
 - T ex mindre förseningar och tidigt malmtåg (9913) => Minimera förseningar OCH minimera restider för tåg före sin tidtabell. Det senare är ett sekundärt mål.
- Modellen är implementerad i AMPL och CPLEX löser problemet (tidshorisont 4 h) till optimalitet relativt snabbt (ca 30 s) för de scenarier vi hittills studerat.
- Effekterna av alternativa föreslagna lösningar kvantifieras baserat på en mängd definierade mått/indikatorer och jämförs.
- De visualiseras och studeras mhja vårt GUI.

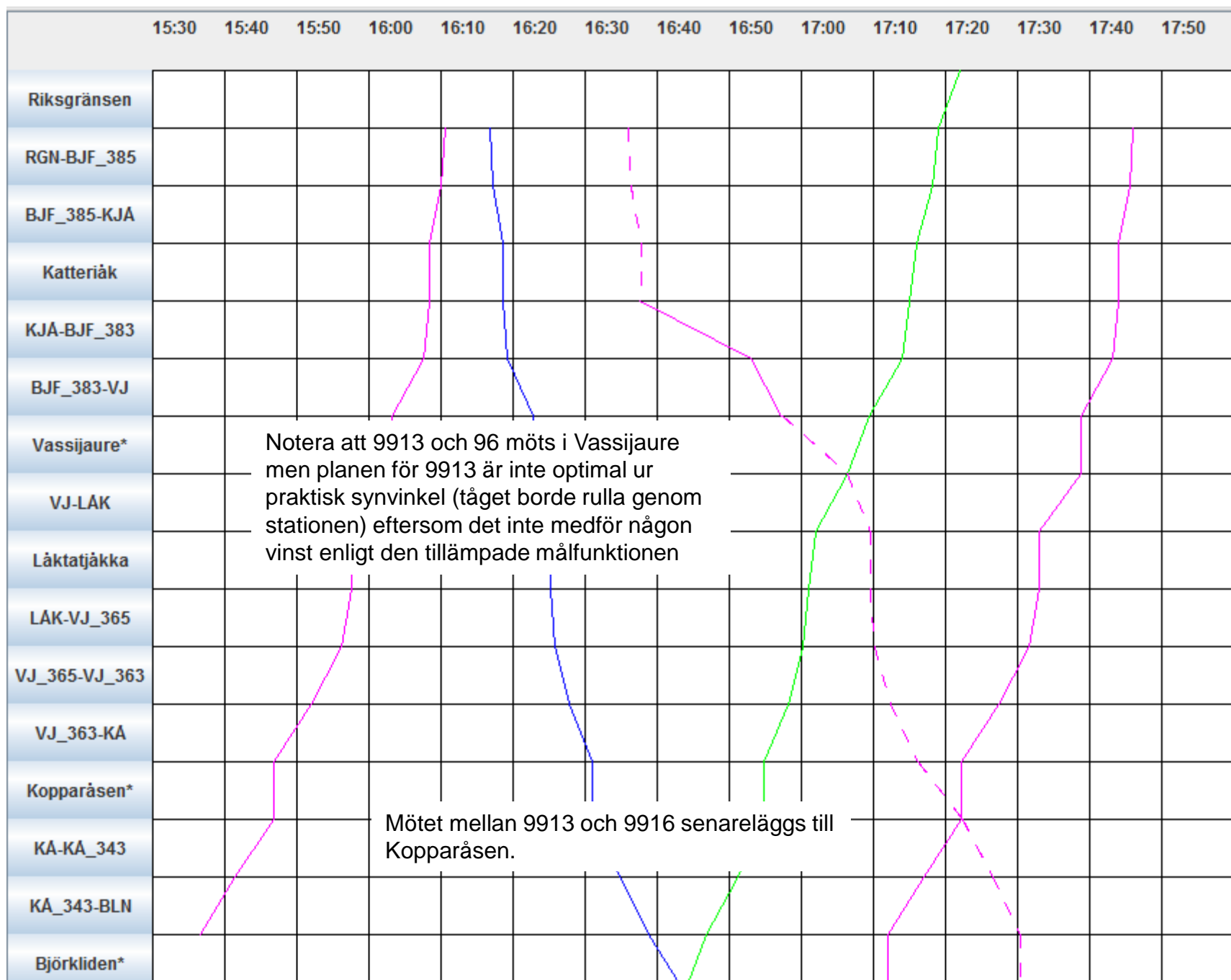




Malmtåget 9913 ska avgå kl 16:50 men önskar avgå tidigare (kl 16:36)

Train nr: 9913

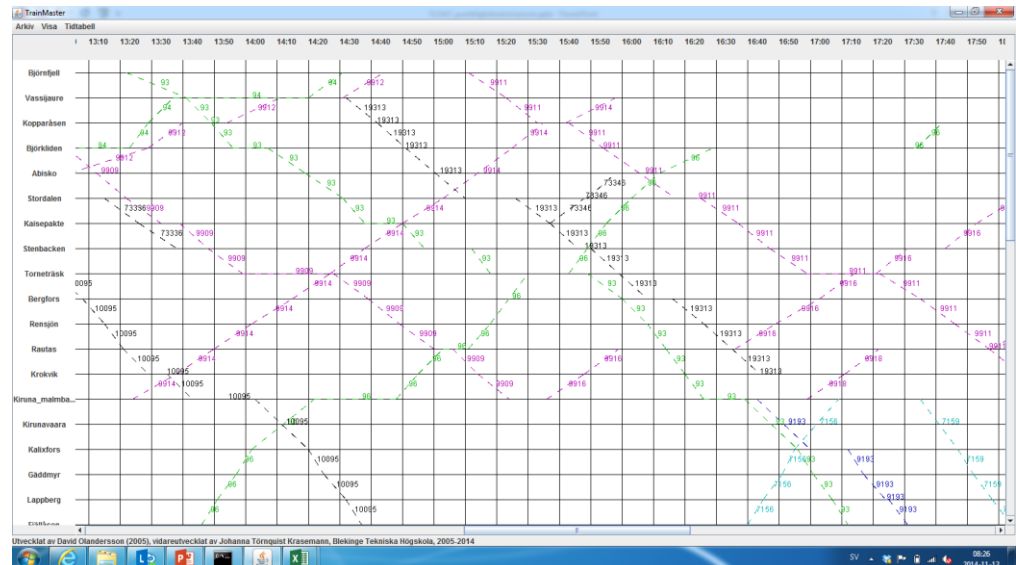
9913 ska möta både Sj-tåget 96 & 9916 i Vassijaure enligt plan.



FLOAT

Pågående arbete (6)

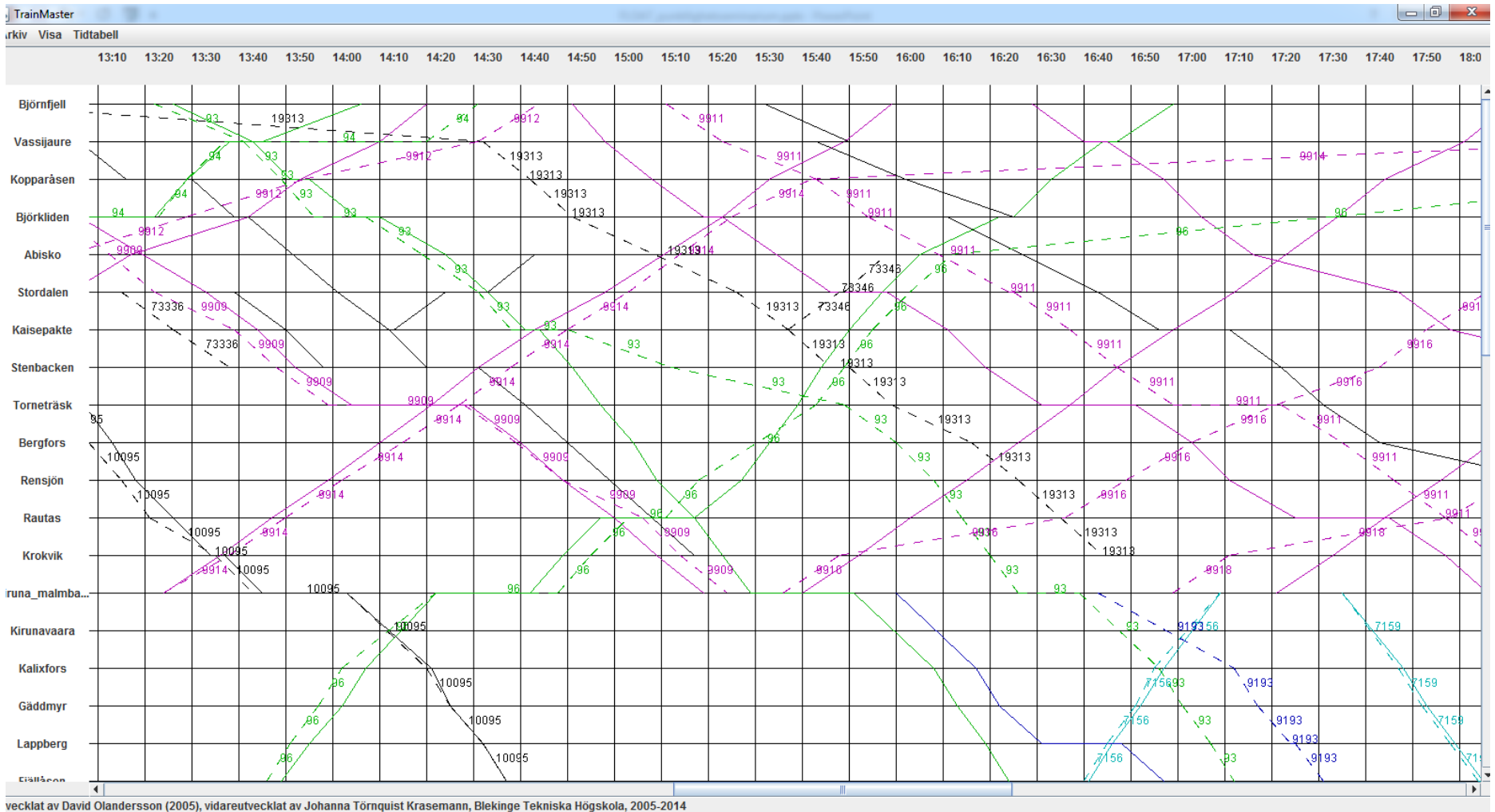
- ”Praktisk” utvärdering hittills gjord genom visualisering av föreslagna lösningar och analys av lösningarnas egenskaper.
- Jämförelse med faktiska utfall och de situationer som uppstår och beslut som tas.
- Varför, när och hur besluten tas i praktiken är svårt att härleda.
- Vi arbetar dock med att återskapa faktiska situationer så långt det är relevant och möjligt.





FLOAT

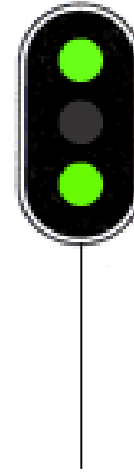
Pågående arbete (7)



vecklat av David Olandersson (2005), vidareutvecklat av Johanna Törnquist Krasemann, Blekinge Tekniska Högskola, 2005-2014

Tack för att Ni lyssnade!

Frågor?



www.bth.se/FLOAT

Kontakt: Johanna.Tornquist@bth.se