

# Service-fönster, Norrlandstrafiken

Intern resultatsammanställning, Tomas Lidén, Linköpings universitet

## Sammanfattning

Optimala cykliska endags-scheman har skapats för sträckan Storvik – Boden med 82 tåg och varierande inställningar för servicefönster.

Det går att skapa utrymme för två timmars servicefönster på alla enkelspårs-sträckor genom att förskjuta avgångarna med i snitt 30 minuter för ett tjugotal tåg. Den ekonomiska kostnadseffekten för trafiken motsvarar 2 timmars tåγκörning, vilket är 0.5% av hela tåγκörningsvolymen på 448 timmar. Trots att värderingen av servicefönstren är låg jämfört med tågen kan fönstren schemaläggas till lägsta möjliga kostnad (dvs på dagtid och med sammanhållna två-timmars tider).

Kostnadskänsligheten har studerats och resultaten är stabila även om tågens värdering ökas med 30%.

Experiment med längre servicefönster visar att trafikpåverkan ökar avsevärt. Ett exempel med 2 - 4 timmars fönster anpassade efter underhållsbehovet, som har 50% mer tågfri tid än med bara två-timmars-fönster kräver anpassningar av tågtrafiken som motsvarar 1.3% av tåγκörningsvolymen. Vissa av tågen blir för detta fall så pass sammanpressade att det är tveksamt om det går att skapa en konfliktfri tidtabell.

Genom att beakta resursbehov och arbetstidsbegränsningar går det att få fram lösningar som kräver färre resurser (8 arbetslag istället för 14) och ger bättre arbetsplanering. Fönstren sprids då ut mer och placeras även på natt- och kvällstid, men detta uppvägs av att personalbehovet minskar. Något fler tåg behöver förskjutas för att åstadkomma detta, men lösningen medger skapande av långa banarbeten (4 – 6 timmar) genom inställelse av ett fåtal tåg.

Jämförelse med de fönster som i verkligheten lagts in för T18 uppvisar flera likheter med de som skapats av modellen, men framför allt har en lägre volym med servicefönster schemalagts av Trafikverket. Vi bedömer att modellen ger lösningar som är rimliga och därför skulle kunna vara användbara som utgångsförslag i den verkliga kapacitetsplaneringen.

Slutligen har vi studerat effekten av att först planera en tågtidtabell och sedan anpassa den för servicefönster med så små ändringar som möjligt för tågen. Det visar sig att kostnadsökningen för fönstren då blir 12 – 21%. För tågen minskar visserligen ändringarna mycket, men den kostnadsmässiga skillnaden är ganska liten eftersom högprioriterade tåg drabbas mer i detta fall. Slutsatsen blir att underhållskostnaden drivs upp av en sekventiell planering och att det finns stora vinster (för underhållet) med samordnad planering.

## Kommentarer från möte 2017-12-15 och referensgrupp 2018-01-22

Jag har använt termen ”stationssträcka”, även om Trafikverket har bytt till begreppet ”driftplatssträcka”.

Hänsyn till tågens omlopp har inte tagits, men modellen kan utökas med detta. Däremot kan det nog vara svårt att få fram indata för hur omloppsrelationerna är och hur begränsningarna bör göras.

Spärrfärder för transport till platser som ej kan nås med bil är inte med.

Vissa tåg har brytpunkter för kostnaden – tappar större delen av sitt värde om de förskjuts så att viktiga ankomst- eller avgångstider missas. Dyliga aspekter är inte med.

## Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>1</b>
<b>Nätverk</b> .....	<b>3</b>
<b>Trafik</b> .....	<b>3</b>
<b>Underhållsbehov och mängd servicefönster</b> .....	<b>6</b>
<b>Resultat</b> .....	<b>7</b>
<b>Kostnadskänslighet</b> .....	<b>9</b>
<b>Ökad vikt på underhållet</b> .....	<b>9</b>
<b>Ökad vikt på tågen</b> .....	<b>10</b>
<b>Resurshänsyn</b> .....	<b>11</b>
<b>Jämförelse med servicefönster i T18</b> .....	<b>13</b>
<b>Sekventiell planering</b> .....	<b>14</b>

## Nätverk

Jag har arbetat med två nätverksindelningar, en grövre och en finare. Den grövre har 20 länkar av vilka 16 är enkelspår. Den finare har 31 länkar varav 27 är enkelspår. Det är på enkelspårslänkarna som servicefönster schemaläggs. Vi antar att det är avsevärt enklare att få till servicefönster på dubbelspårsträckorna (vilka är Ockelbo-Holmsveden, Kilafors-Bollnäs, Ramsjö-Ånge och Ånge-Bräcke) och schemalägger därför inga fönster på dessa för att få ner problemstorleken. Statistik för de båda nätverken finns i Tabell 1.

Tabell 1: Nätverk, statistik

	Grovt nätverk	Fint nätverk
Antal länkar (enkel+dubbel)	20 (16+4)	31 (27+4)
Enkelspårslängder, km (min/medel/max)	16/47/69	15/28/40
Antal stationssträckor per länk (min/medel/max)	3/6/10	3/3.5/5

## Trafik

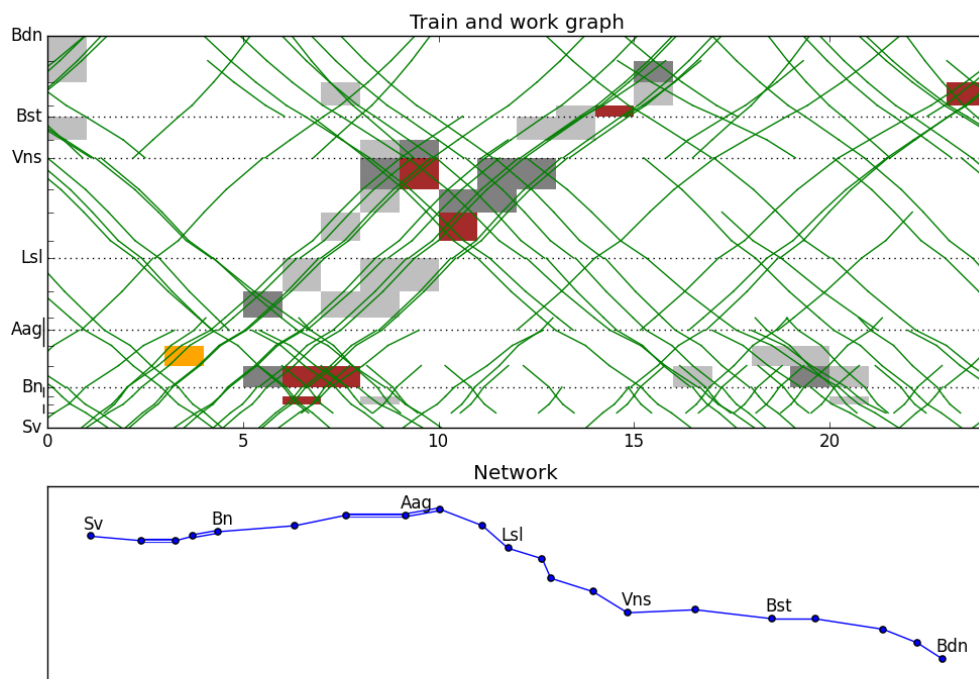
Efter dialog med TrV har vi valt ut 82 tåg, baserat på T17, med data som motsvarar en torsdag i mars 2017 (2017-03-09). Längre tekniska stopp (> 30 minuter) har rensats bort – cirka 40 tåg har extrastopp på i snitt 50 minuter, totalt cirka 37 timmar. Total ostörd gångtid efter denna rensning är 448 timmar, fördelat på de olika relationerna enligt Tabell 2.

Tabell 2: Tågtider, grovt nätverk

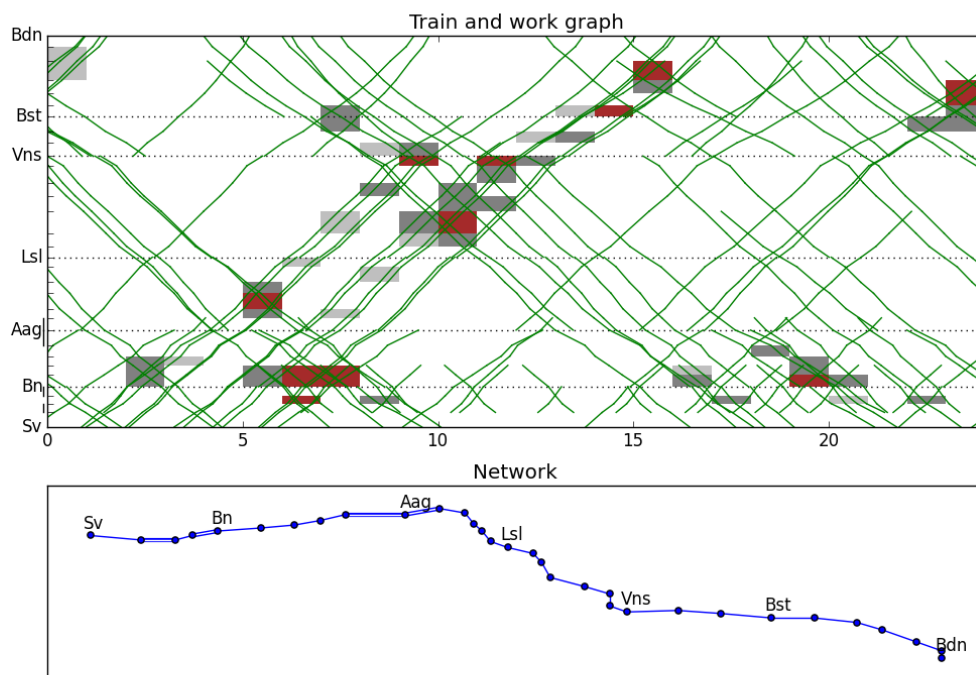
	Norrut					Söderut				
	#	sum:	min	medel	max	#	sum:	min	medel	max
Sv – Bdn	8	93.2:	11.6	11.6	11.7	9	110.4:	11.5	11.6	13.3
Sv – Bst	1	9.7:	9.7	9.7	9.7	1	9.7:	9.7	9.7	9.7
Åg - Bdn	3	28.7:	9.1	9.6	9.8	2	19.4:	9.4	9.7	9.9
Sv - Vns	3	24.5:	7.8	8.2	8.3	3	25.7:	8.1	8.6	9.5
Åg - Vns						1	4.7:	4.7	4.7	4.7
Vns - Nyf	2	8.2:	3.5	4.1	4.7	2	8.1:	3.5	4.0	4.6
Sv - Åg	3	10.7:	3.6	3.6	3.6	3	11.9:	3.5	4.0	4.2
Åg - Msl	1	3.4:	3.4	3.4	3.4	1	4.0:	4.0	4.0	4.0
Ob - Åg						1	3.4:	3.4	3.4	3.4
Vns - Bdn	3	9.0:	3.0	3.0	3.0	3	9.2:	2.9	3.1	3.1
Bst - Bdn	1	2.5:	2.5	2.5	2.5	1	2.9:	2.9	2.9	2.9
Ob - Bä	4	10.4:	2.6	2.6	2.6	4	10.4:	2.6	2.6	2.6
Bst - Nyf	1	2.0:	2.0	2.0	2.0	1	2.0:	2.0	2.0	2.0
Ob - Ls	9	11.1:	1.2	1.2	1.2	9	11.7:	1.3	1.3	1.3
Ob - Bn	1	0.6:	0.6	0.6	0.6	1	0.6:	0.6	0.6	0.6

En kapacitetsgräns för antalet tågrörelser per länk och timme har införts, dels i en riktning, dels för summan av bägge riktningar. I det grova nätverket är dessa gränser 4 respektive 6 tåg per länk och timme. För det fina nätverket har 4 respektive 5 använts.

Schemaläggning av bara tågtrafiken (utan kapacitetsbegränsningar och inga servicefönster) visas i Figur 1 och Figur 2. I dessa bilder har tidsperioder markerats där kapacitetsgränserna tangeras (grå markering) respektive överskrids (färgad markering).

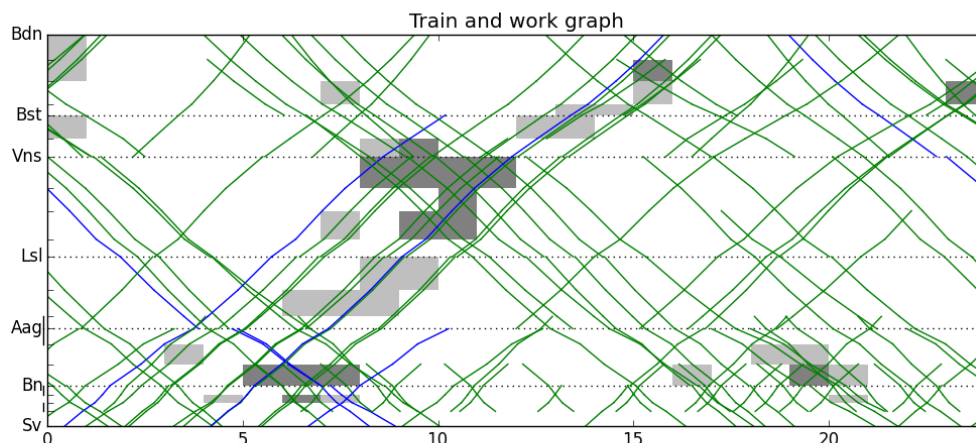


Figur 1: Enbart tåg, ingen kapacitetsgräns, grovt nätverk

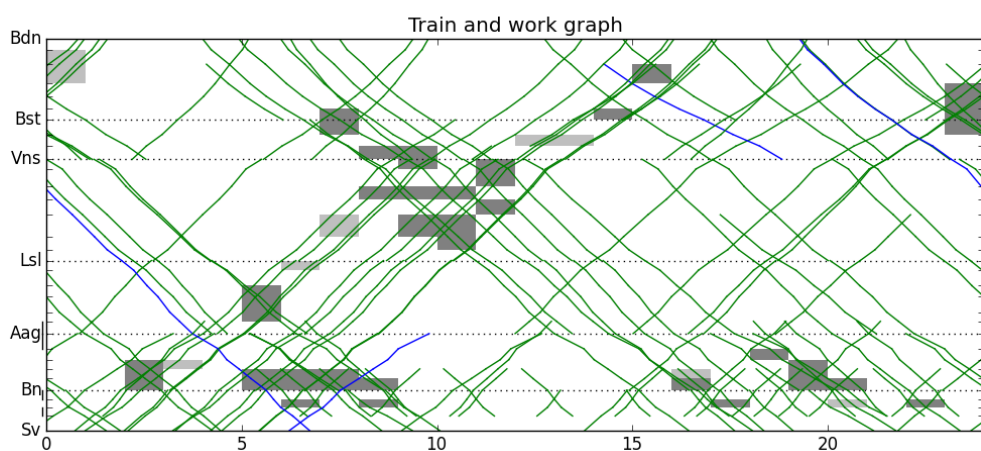


Figur 2: Enbart tåg, ingen kapacitetsgräns, fint nätverk

I Figur 3 och Figur 4 visas resultatet när kapacitetsgränserna har införts. De blå-markerade tågen är sådana som har förändrats 15 minuter eller mer vad gäller önskad avgångs- eller körtid. Det är ett 10-tal tåg som får förskjutna avgångar med upp till 45 minuter. Total tidsförskjutning är knappt tre timmar, vilket i huvudsak drabbar godstågen. Med de kostnadsfaktorer som vi använt (se nedan) blir kostnadstillägget 0.3 respektive 0.4, dvs en marginell effekt.



Figur 3: Bara tågtrafik, med kapacitetsgräns, grovt nätverk



Figur 4: Bara tågtrafik, med kapacitetsgräns, fint nätverk

Enligt ASEK är timpriskostnaden för att köra tåg cirka 2500 SEK. Detta värde är ungefär samma för gods- och resandetåg. Vi normerar därför alla kostnader till att motsvara en timmes tåγκörning. Grundkostnadsfaktorerna har efter dialog satts enligt Tabell 3. Grundkostnaden 0.5 för ett arbetslag per servicefönster-timme motsvarar alltså 1250 SEK/h. Detta stämmer överens med de antaganden som vi gjorde i den samhällsekonomiska studien av servicefönster på sträckan Ockelbo-Ljusdal.

Tabell 3: Kostnadsfaktorer

	Kostnadsfaktor
Tåγκörning per timme	1
Förskjutning från önskad avgång, per timme	
- Regionaltåg	1
- ARE, stål- och persontåg	0.5
- Godståγκ	0.1
Arbetskostnad per timme	0.5
Setup-tid per servicefönster	1h
Extrakostnad	
- Kvällsarbete, 18-22	+ 25%
- Nattarbete, 22-06	+ 60%

Kostnadsmassan för all tågkörningstid är som lägst 448. Om två-timmars fönster schemaläggs dagtid på 16 enkelspår, med en setup-tid på en timme, så kostar detta  $16 * 3 * 0.5 = 24$  om alla fönster bemannas med ett arbetslag. Kostnaden för underhållet är alltså avsevärt lägre än för tågkörningen.

### Underhållsbehov och mängd servicefönster

Det årliga underhållsbehovet för sträckan Ockelbo – Ljusdal har av Trafikverket uppskattats enligt Tabell 4. Nycklar vi ut det på km spårlängd respektive antal stationssträckor får vi ett underhållsbehov per km spår respektive per stationssträcka.

Tabell 4: Årligt underhållsbehov Ockelbo - Ljusdal (20 stationssträckor, 167 km spår)

	Volym [h]	Behov per km	Behov per stationssträcka
Halvtimmes-jobb	$0,5 * 696 = 348$	2.1	17.4
Entimmes-jobb	$1 * 1376 = 1376$	8.2	68.8
Tvåtimmars-jobb	$2 * 843 = 1686$	10.1	84.3
Totalt	3410	20.4	170.5

Om detta är representativt för hela nätverket kan vi använda dessa nyckeltal för att få fram årlig underhållsvolymen på alla länkar. Slutligen ska detta fördelas per underhållsdag. Vi antar här att allt underhåll ska utföras på vardagar under 48 veckor, dvs 240 arbetsdagar, men andra arbetsfördelningar kan övervägas – t ex längre pass på helger eller banarbetsveckor. Resultatet redovisas i Tabell 5 för det grova nätverket.

Tabell 5: Underhållsvolym per länk

Länk-sträcka	Längd [km]	Antal stationssträckor	UH-volym per år (0.5 – 2h jobb)	Snitt-volym per dag
Bdn-Nyf	45	5	850 – 910	3.7
Nyf- Sbi	43	5	850 – 870	3.6
Sbi-Jrn	53	5	850 – 1050	4.0
Jrn-Bst	31	3	510 – 630	2.4
Bst-Hls	64	6	1020 – 1270	4.8
Hls-Vns	47	4	680 – 950	3.4
Vns-Thö	68	9	1370 – 1530	6.0
Thö-Msl	40	6	810 – 1020	3.8
Msl-Ap	47	5	850 – 950	3.7
Ap-Lsl	43	7	870 – 1190	4.3
Lsl-Rob	69	8	1360 – 1380	5.7
Rob-Bä	62	10	1230 – 1700	6.1
Rsö-Ls	48	6	960 – 1020	4.1
Ls-Bn	63	10	1260 – 1700	6.2
Kls-Hsn	16	3	320 – 510	1.7
Ob-Sv	38	4	680 - 770	3.0

Om fönster bara behövs för tvåtimmars-jobben så halveras volymerna. Med två timmars servicefönster räcker det då med ett arbetslag per länk och dag. Detta blir vårt första planerings-alternativ.

Med hela underhållsvolymen enligt Tabell 5 har vi två alternativ. Antingen schemalägger vi bara två timmar långa servicefönster, men då behöver 1 – 3 arbetslag arbeta parallellt per länk, vilket vi modellerar genom att sätta timkostnaden till 0.5 – 1.5. Det sista alternativet är att schemalägga varierande fönsterstorlek per länk men bara ett arbetslag per fönster.

Sammanfattningsvis har jag använt följande alternativ för underhållet:

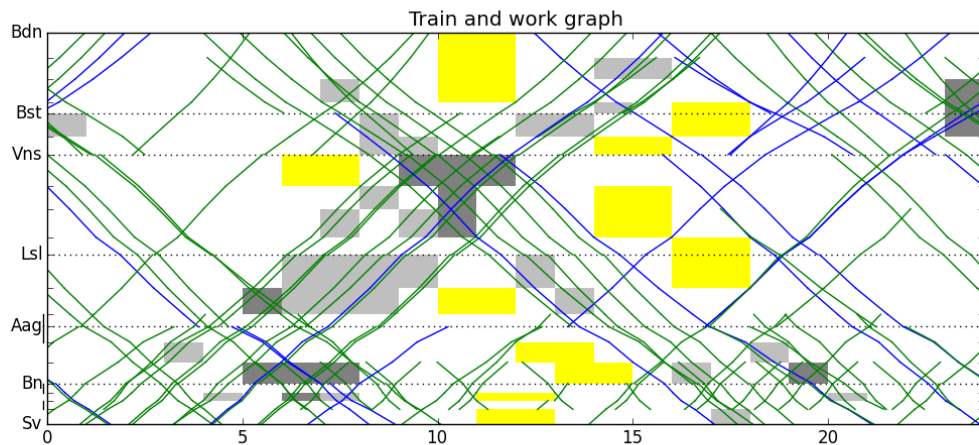
- Låg. Enbart tvåtimmarsjobb, 2h fönster per länk med ett arbetslag (kostnad 0.5).  
Minsta underhållskostnad:  $16 * 3 * 0.5 = 24$ .
- Mellan. Alla jobb, 2h fönster (kostnad 0.5 – 1.5) per länk med 1 – 3 arbetslag (totalt 34 lag). Minsta underhållskostnad:  $3 * 0.5 * 34 = 51$ .
- Hög. Alla jobb, 2 – 4 h fönster (kostnad 0.5), totalt 49 timmar. Minsta underhållskostnad:  $(49 + 16) * 0.5 = 32.5$

De två första alternativen bör ge ungefär samma påverkan på tågtrafiken, men lite olika resultat beroende på de olika vikterna. Det sista alternativet ger större påverkan på tågen eftersom mer tågfri tid schemaläggs. I detta alternativ har vi möjliggjort att schemalägga olika kombinationer av fönsterstorlekar, dvs 1 x 4, 1 + 3, 2 + 2, 1 + 1 + 2 och 4 x 1. Setup-tiden är alltid 1h per fönster.

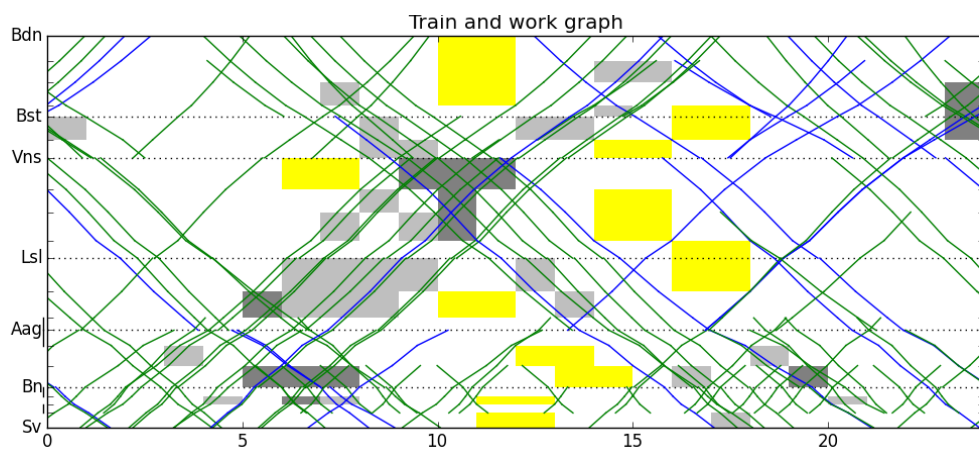
Alla dessa värden gäller för det grova nätverket. Idén med det fina nätverket är att länkarna utformats så att underhållsvolymen ska bli 2 h per arbetsdag och länk. Därefter har jag provat att koppla på resursbegränsningar för arbetslagen, men lösningstiderna blir så långa för det fina nätverket att vi inte kan få fram bevisat optimala lösningar. Därför är det svårt att dra några klara slutsatser av dessa körningar och jag redovisar inte dem här.

## Resultat

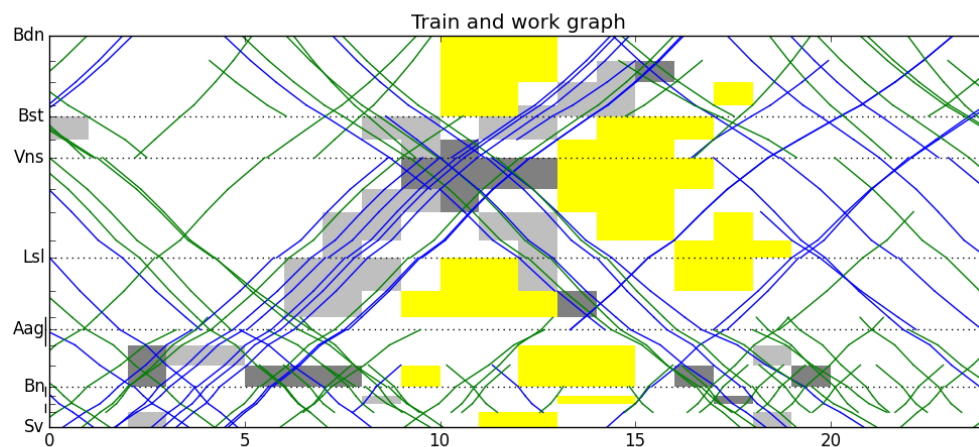
I Figur 5 - Figur 7 visas lösningen för de tre alternativen Låg, Mellan och Hög (för det grova nätverket). I Tabell 6 sammanfattas resultaten på siffer-form. För de två första alternativen är lösningarna i stort sett identiska och vi får den lägsta möjliga fönsterkostnaden medan tågstörningskostnaden ökar med 2.1 jämfört med lösningen utan underhåll (men med kapacitetsbegränsningar). Det relativa kostnadspåslaget för tågen är alltså  $2.1 / 448.4 = 0.5 \%$ . Tågens gångtider är i princip oförändrade medan avgångarna har förskjutits för cirka 24 tåg. Den totala förflyttningen av avgångstiderna är 14 timmar (11 timmar mer än utan några fönster), vilket blir i genomsnitt 34 minuter för de drabbade tågen (det mest drabbade tåget, GC 5906, har flyttats 1:40). Dessa förskjutningar läggs i stort sett endast på godstågen eftersom förskjutningskostnaden för dessa bara är 0.1.



Figur 5: Grundlösning, alternativ Låg



Figur 6: Grundlösning, alternativ Mellan



Figur 7: Grundlösning, alternativ Hög

Tabell 6: Kostnadsjämförelse, grundlösningar

	Inga fönster	Alt. Låg	Alt. Mellan	Alt. Hög
Tågkostnad	448.4	450.5 (+2.1)	450.5 (+2.1)	454.2 (+5.8)
Körtidstillägg	0	0.2 h => 0.2	0	0.3 h => 0.3
Förskjutning	2.9 h = 0.4	13.9 h => 2.3	14.0 h => 2.4	23.4 h => 5.8
Fönsterkostnad		24	51	34.6
Obekväm tid		0	0	0.1
Extra fönster		0	0	4 st => 2



För alternativet Hög har både tåg- och fönsterkostnaden ökat, med 5.8 respektive 2.1. Denna lösning har dock stoppats efter 8 timmars körning med en optimalitetsgaranti på 0.78% (de övriga har nått målet på 0.10%), så det kan finnas bättre lösningar – men den möjliga förbättringen är inte större än 3.8. Det relativa kostnadspåslaget för tågen är  $5.8 / 448.4 = 1.3\%$  och det består i stort sett bara av avgångsförskjutningar. I denna lösning har dock flera ARE och ståltåg drabbats samt även två regionaltåg för X-trafiken, vilket drar upp kostnaden.

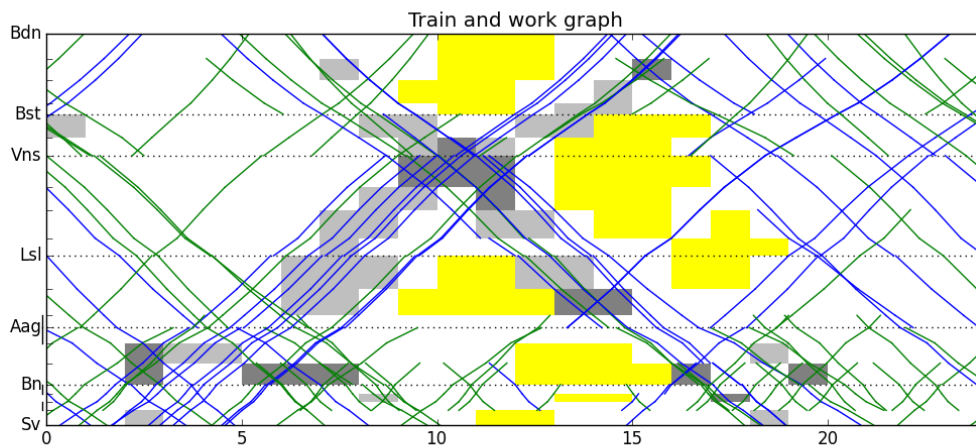
Lösningsstrukturen är alltså densamma i alla fallen, men vi ser att det stora bandet av norr- och sydgående tåg är mer sammanpressat för Hög-alternativet jämfört med Låg och Mellan. Det kan vara svårt att skapa en konfliktfri tidtabell baserat på denna lösning.

### Kostnadskänslighet

Eftersom vi har osäkerhet i hur kostnaderna ska sättas för tåg och underhåll har jag experimenterat med att skala kostnaderna för att se hur det slår på resultatet.

#### Ökad vikt på underhållet

För Låg och Mellan-alternativet har det ingen effekt att öka vikten på underhållet eftersom lösningarna redan har den lägsta möjliga fönsterkostnaden. Däremot kan vi öka underhållsvikten för Hög-alternativet. Figur 8 och Tabell 7 visar resultatet om underhållet viktas dubbelt så högt – siffrvärdena presenteras dock i den ursprungliga skalan för att lättare kunna jämföras. Vi ser att fönsterkostnaden sjunker (från +2.1 till +1.1), men vi har fortfarande inte den lägsta möjliga fönsterkostnaden. Tågstämningen stiger (från +5.8 till +7.1) med lite mer än vad fönsterkostnaden sjunker, vilket är rimligt. Skillnaderna är dock mindre än optimalitetsgarantin så vi kan inte vara säkra på storleksordningarna.



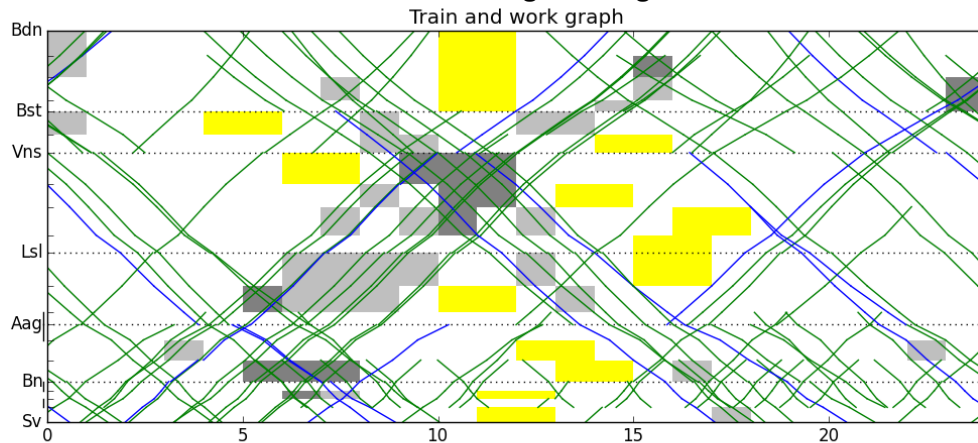
Figur 8: Alternativ Hög med dubblerad underhållsvikt

Tabell 7: Kostnadsjämförelse, Hög med enkel och dubblerad underhållsvikt

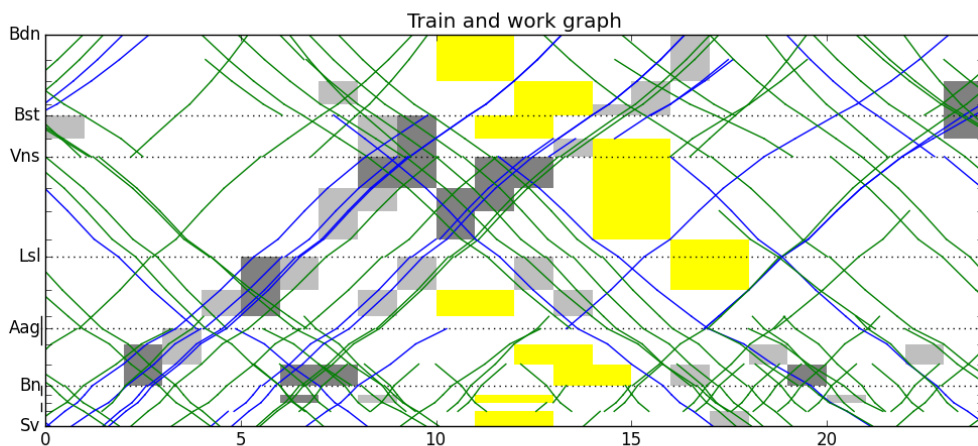
	UH-vikt 1	UH-vikt 2
Tågstämning	454.2 (+5.8)	455.5 (+7.1)
Körtidstillägg	0.3 h => 0.3	1.8 h => 1.8
Förskjutning	23.4 h => 5.8	23.6 h => 5.7
Fönsterkostnad	34.6	33.6
Obekväm tid	0.1	0.1
Extra fönster	4 st => 2	2 st => 1

## Ökad vikt på tågen

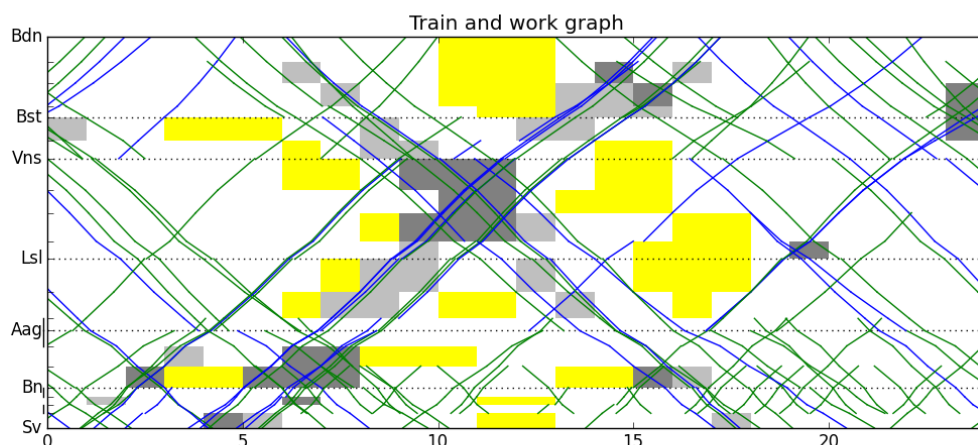
Till att börja med har jag provat att öka vikten för avgångsförskjutningar. Om dessa dubblas får vi resultaten som visas i Figur 9 - Figur 11 och Tabell 8.



Figur 9: Alternativ Låg med dubblerad vikt på avgångsförskjutning



Figur 10: Alternativ Mellan med dubblerad vikt på avgångsförskjutning



Figur 11: Alternativ Hög med dubblerad vikt på avgångsförskjutning

Som förväntat så minskar avgångsförskjutningarna samtidigt som körtidstilläggen ökar. För Låg-alternativet minskar den total tågkostnaden medan fönsterkostnaden ökar (jämför med Tabell 6). För Mellan-alternativet har vi fortfarande lägsta möjliga fönsterkostnad men för Hög så ökar fönsterkostnaden (fler delade fönster och mer arbete nattetid) medan tågkostnaden minskar marginellt. Tågen har nu blivit så sammanpressade att det är mycket tveksamt om det går att få till en konfliktfri tidtabell.

Tabell 8: Kostnadsjämförelse, dubblerad vikt på avgångsförskjutning

	Låg	Mellan	Hög
Tågstkostnad	450.0 (+1.6)	450.6 (+2.2)	454.1 (+5.7)
Körtidstillägg	1.0 h => 1.0	0.7 h => 0.7	3.8 h => 3.8
Förskjutning	7.5 h => 1.0	14.0 h => 1.9	13.8 h => 2.3
Fönsterkostnad	24.9	51	38.1
Obekväm tid	0.9	0	2.1
Extra fönster	0	0	7 st => 3.5

I nästa experiment ökar vi vikten på alla tågstkostnaderna lika mycket. Syftet är att ta reda på hur mycket tågstkostnaderna behöver ökas för att få en ändrad (dyrare) fönsterkostnad. Detta är av intresse för Låg- och Mellan-alternativet eftersom dessa har lägst möjliga fönsterkostnad för sina grundlösningar.

Resultatet visas i Tabell 9. För Låg-alternativet är lösningen oförändrad även om tågstkostnaderna ökas med 30%. Vid en ökning med 40% - 100% så blir den optimala lösningen att flytta ett servicefönster till nattetid så att förskjutningen av tågen kan minskas. För Mellan-alternativet är lösningen oförändrad även om tågstkostnaderna dubblas.

Tabell 9: Känslighet, tågstkostnader

	Låg	Låg	Alt. Mellan
Viktfaktor tågstkostnad, tv	$1 \leq tv \leq 1.3$	$1.4 \leq tv \leq 2$	$1 \leq tv \leq 2$
Tågstkostnad	450.5 (+2.1)	449.7 (+1.3)	450.5 (+2.1)
Körtidstillägg	0.2 h => 0.2	0.2 h => 0.2	0
Förskjutning	13.9 h => 2.3	8.7 h => 1.5	14.0 h => 2.4
Fönsterkostnad	24	24.9	51
Obekväm tid	0	0.9	0
Extra fönster	0	0	0

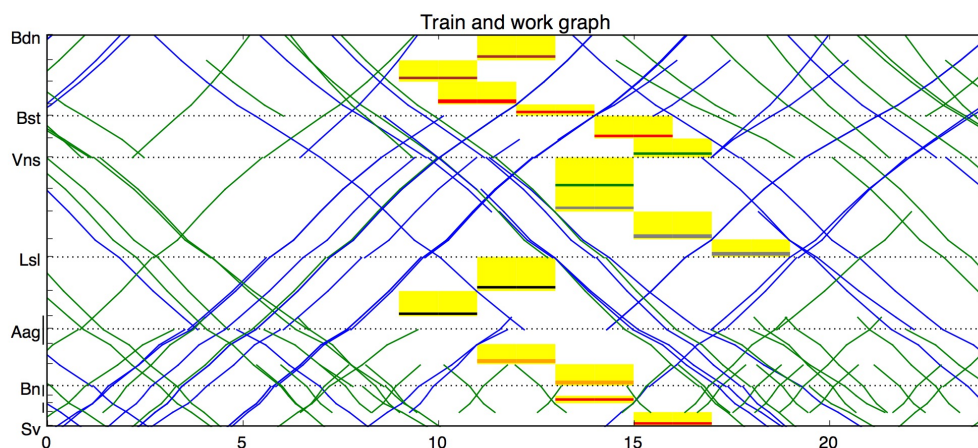
### Resurshänsyn

I detta experiment har jag använt Låg-alternativet och grupperat ihop länkarna i 7 underhållsområden på det sätt som visas i Tabell 10. Arbetstiden per dag har begränsats till 10 timmar och vilotiden mellan två arbetsdagar måste vara minst 12 timmar. Kostnadsfunktionen har ändrats så att hela arbetsdagens längd för personalen räknas (från starten på första servicefönstret till slutet på sista) även om inte hela dagen utnyttjas för effektivt arbete. Fönsterkostnaderna har justerats för att undvika dubbelräkning, men vi har fortfarande en extra setup-kostnad för varje service-fönster (som motsvarar transport- och personal-kostnaden). Varje arbetslag som utnyttjas ger en kostnad på 1 vilket motsvarar en 25% administrationskostnad per 8 timmars arbetsdag.

Tabell 10: Underhållsbaser

Bas	Länkar	Antal arbetslag
Nyf	Bdn-Nyf, Nyf-Sbi	2
Bst/Jrn	Sbi-Jrn, Jrn-Bst, Bst-Hls	3
Vns	Hls-Vns, Vns-Thö	2
Msl/Ap	Thö-Msl, Msl-Ap, Ap-Lsl	3
Rob	Lsl-Rob, Rob-Bä	2
Ls	Rsö-Ls, Ls-Bn	2
Ob	Kls-Hsn, Ob-Sv	2

Med dessa inställningar får vi den lösning som visas i Figur 12 och analyseras i Tabell 11. Denna lösning använder minimalt med personal och alla fönster startar på dagtid. Det är alltså i stort sett en så billig fönsterlösning som över huvud taget är möjligt. Men vi ser också att tågstokostnaden har ökat avsevärt (med 3.5 enheter). Nu är det 36 tåg som påverkats (50% fler än utan resurshänsyn) varav 10 stycken har förskjutningar på mer än 1h (som mest 2:20). Tågen har också blivit sammanpressade och det är tveksamt om det går att skapa en konfliktfri tidtabell med detta fönsterupplägg.

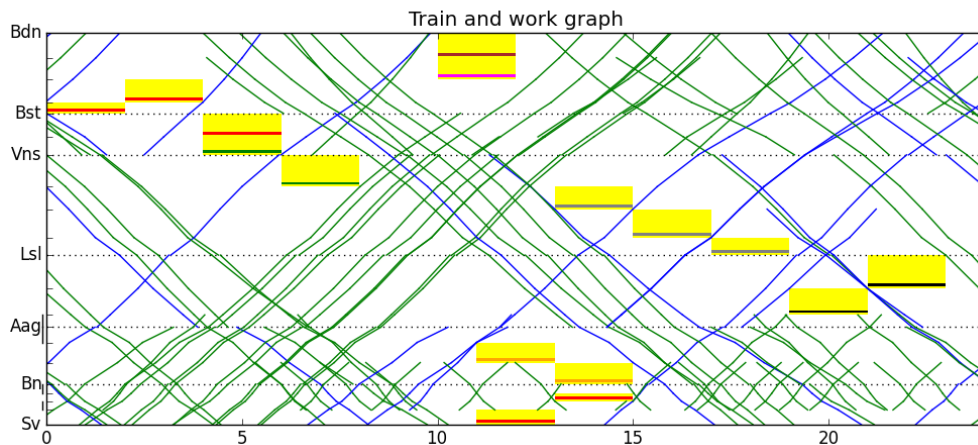


Figur 12: Lösning med resurshänsyn

Tabell 11: Kostnadsjämförelse, utan och med resurshänsyn

	Inga fönster	Alt. Låg	Med resurser
Tågstokostnad	448.4	450.5 (+2.1)	454.0 (+5.6)
Körtidstillägg	0	0.2 h => 0.2	0.5 h => 0.5
Förskjutning	2.9 h = 0.4	13.9 h => 2.3	16.5 h => 5.5
Fönsterkostnad		24	28.7
Obekväm tid		0	0.1
Personal			7 st => 8.6

Därför har jag provat att begränsa påverkan på tågen genom att sätta en maxgräns för tågstokostnaden. Om denna gräns sätts till 452 (dvs en ökning med knappt 1%), samt ger den tidigare bästa resurslösningen som start så hittas ingen bättre efter flera dygns körning. Resultatet visas i Figur 13 och analyseras i Tabell 12 (med korrigerade kostnadsvärden).



Figur 13: Lösning med resurshänsyn och tågstosnad ≤ 452

Tabell 12: Kostnadsjämförelse, utan och med resurshänsyn samt tågstosnad ≤ 452

	Inga fönster	Alt. Låg	Med resurser
Tågstosnad	448.4	450.5 (+2.1)	451.0 (+2.6)
Körtidstillägg	0	0.2 h => 0.2	0.2 h => 0.2
Förskjutning	2.9 h = 0.4	13.9 h => 2.3	15.6 h => 2.8
Fönsterkosnad		24	33.5
Obekväm tid		0	3.9
Personal			8 st => 9.6

Fönstren är nu mer utspridda och flera läggs på natt- och kvällstid. Det behövs bara ett arbetslag per underhållsområden förutom längst i norr. Denna lösning använder 8 arbetslag, vilket ska jämföras med grundlösningen som skulle behöva 14 arbetslag.

Förutom att denna lösning är bättre för underhållsresurserna – vilket också kan leda till att fönsterutnyttjandet ökar – så ser man att längre disptider lätt kan åstadkommas på de flesta ställen genom att ställa in ett fåtal tåg. Det förefaller alltså som ingreppen som behövs för banarbetsveckor etc är ganska små med denna lösning.

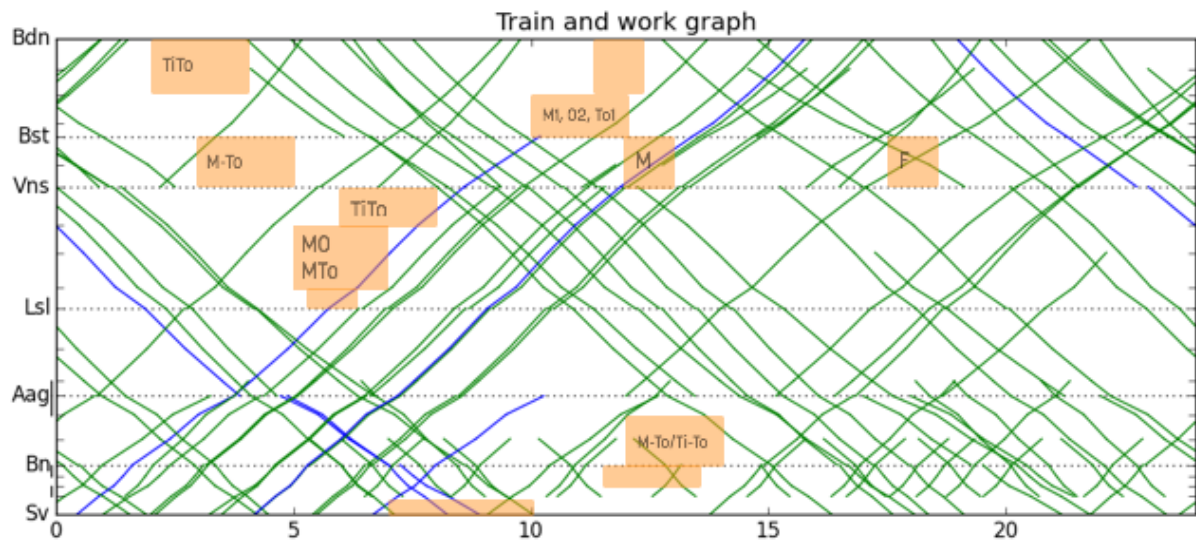
Slutligen har påverkan på tågen blivit mer rimlig och en konfliktfri tidtabell borde kunna åstadkommas. Förskjutningstiden ökar med 1.7 timmar jämfört med Låg-alternativet, vilket ger en tågstosnadsökning på 0.5. 26 tåg påverkas och de två mest påverkade tågen är 5900 (GC) och 41431 (HR) som förskjuts med 2 timmar.

### Jämförelse med servicefönster i T18

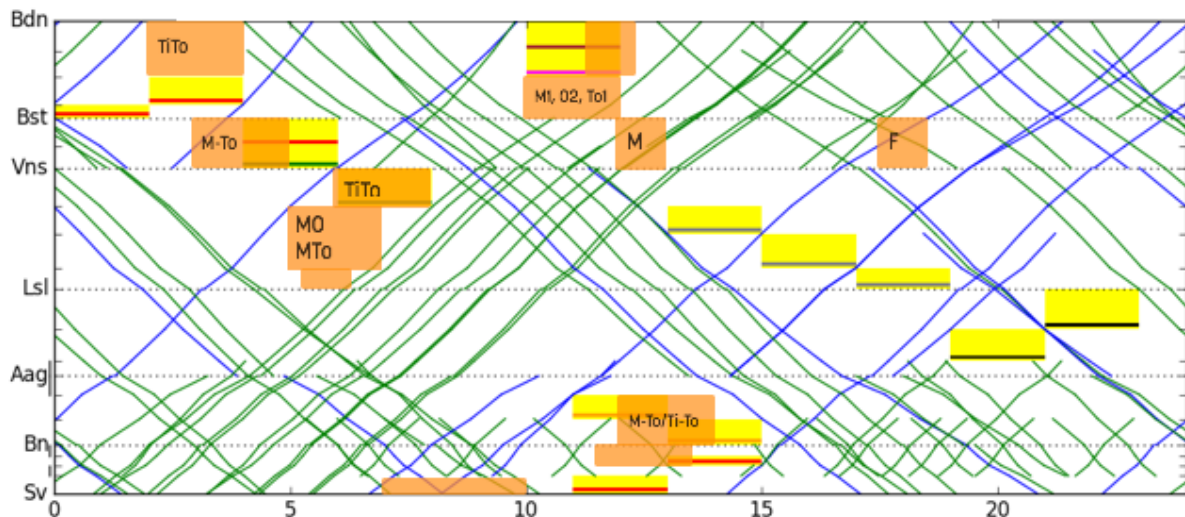
Alla servicefönster som lagts in i T18 för den berörda sträckan visas i Figur 14. Många av dessa fönster gäller bara vissa driftsdagar, vilket indikeras i figuren. Den tågtrafik som visas i figuren är den grundtrafik som vi använt oss av, dvs T17, utan någon justering gentemot fönstren. Detta är alltså inte en giltig plan utan visar bara hur fönstren i T18 matchar den trafik vi arbetat med. Fönstren stämmer relativt väl med trafiken, men vi ser också att ett par möjligheter till eftermiddagsfönster inte har använts (eller inte varit möjliga i T18).

En jämförelse med den resursanpassade lösningen visas i Figur 15, där vi ser att flera eftermiddagstider har använts av optimeringsmodellen. Trots att optimeringsmodellen har

fått lägga in en större volym servicefönster är överensstämmelsen ganska god och det verkar troligt att de lösningar vi fått fram skulle kunna användas som utgångsförslag i Trafikverkets kapacitetsplanering.



Figur 14: Servicefönster i T18 tillsammans med önskad tågtrafik (T17)



Figur 15: Jämförelse av resurslösning och servicefönster i T18

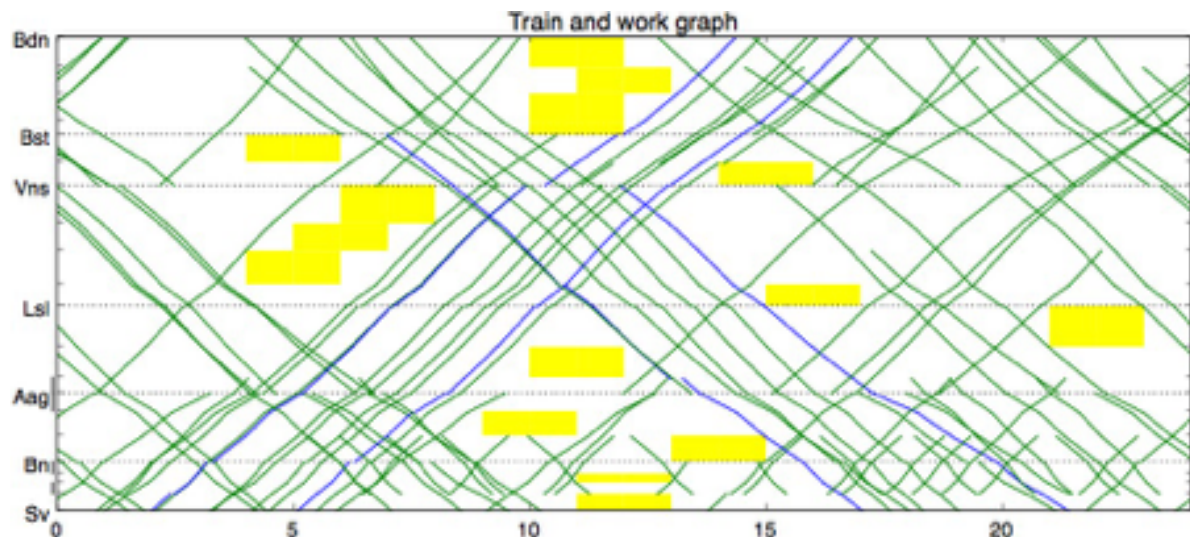
### Sekventiell planering

Detta experiment har gjorts för att studera effekten av att utgå från en existerande tidtabell och göra så små anpassningar som möjligt av tågtrafiken för att bereda plats för servicefönstren. Detta motsvarar dagens process på Trafikverket (där man utgår från föregående års plan) eller en sekventiell planering där tidtabellen läggs först och sedan justeras för servicefönstren. En sådan planeringsprocess kommer att ge dyrare lösningar för underhållet jämfört med en integrerad samplanering, och vi vill ta reda hur stor denna kostnadseffekt kan vara.

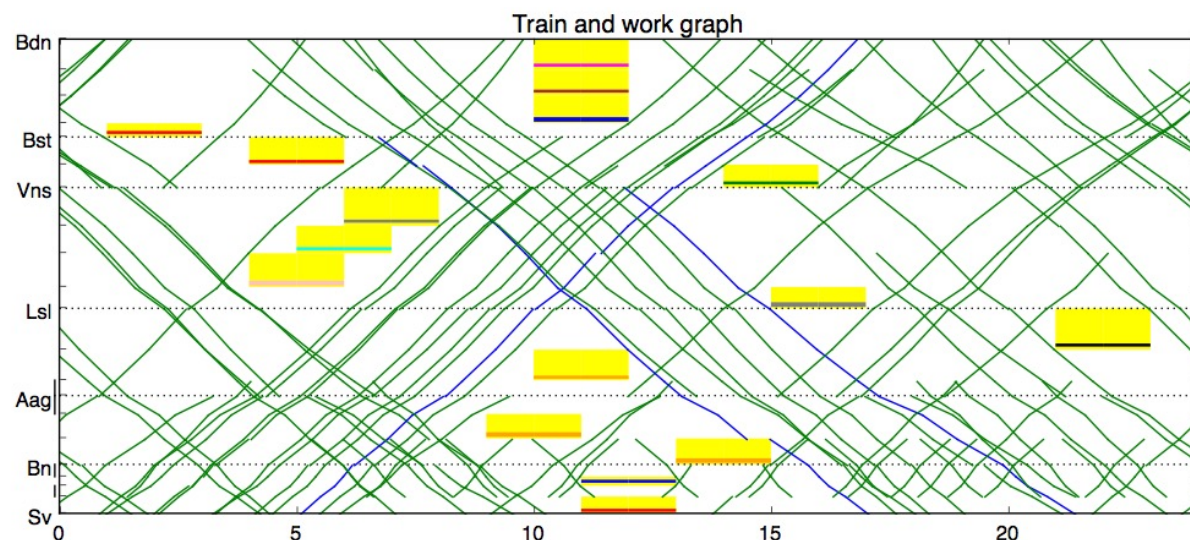
För att åstadkomma detta har kostnadsparametrarna ändrats så att förskjutningskostnaden är densamma för alla tåg. Både denna faktor samt tåγκörningskostnaden har dessutom ökats med en faktor 2 respektive 3 för planeringen utan respektive med resurshänsyn, vilket gör

att det är mycket dyrt för optimeringsmodellen att ändra på tågen. Lösningarna vi får visas i Figur 16 och Figur 17 för planer utan resurshänsyn.

Flera fönster förläggs nu till natt- och kvällstid och dessutom får vi fler samtidiga fönster. Detta driver upp resursbehovet från 8 till 14 arbetslag. Å andra sidan minskar förskjutningen av tågen avsevärt medan körtiderna ökar något.



Figur 16: Tåg planerade före fönstren, utan resurshänsyn



Figur 17: Tåg planerade före fönstren, med resurshänsyn

I Tabell 13 visas kostnadseffekterna av detta (där vi använder de ursprungliga kostnadsfaktorerna för att få en korrekt jämförelse). Vi ser att kostnadseffekten för tågen är ganska liten (även om tågförskjutningarna minskar mycket). Däremot drivs fönsterkostnaden upp avsevärt. Utan resurshänsyn är effekten  $2.9 / 24 = 12\%$ . Med resurshänsyn får vi en ökning på  $7.1 / 33.5 = 21.2\%$ . En sekventiell planering ger alltså en kostnadsökning för servicefönstren på 12 – 21% i detta fall. Det är alltså en stor fördel för underhållet att samplaneras med trafiken.

Tabell 13: Kostnadsjämförelse, samordnad vs sekventiell planering

	Utan resurshänsyn		Med resurshänsyn	
	Samplanerat	Tåg först	Samplanerat	Tåg först
Tågstkostnad	450.5	450.6 (+0.1)	451.0	450.3 (-0.7)
Körtidstillägg	0.2 h => 0.2	1.9 h => 1.9	0.2 h => 0.2	1.5h => 1.5
Förskjutning	13.9 h => 2.3	1.9 h => 0.7	15.6 h => 2.8	1.8 h => 0.8
Fönsterkostnad	24	26.9 (+2.9)	33.5	40.6 (+7.1)
Obekväm tid	0	2.9	3.9	5.0
Personal			8 st => 9.6	14 st => 15.6