

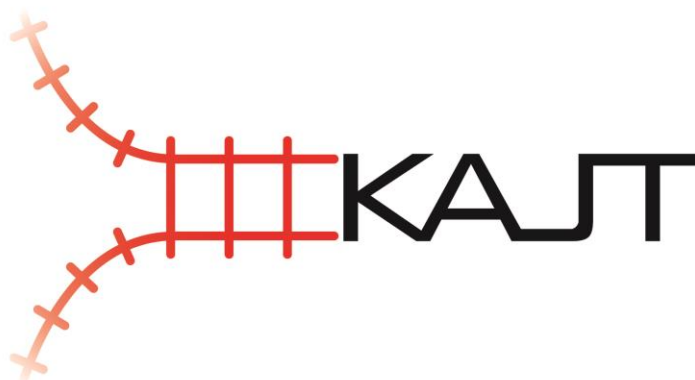
Branschprogram Kapacitet i järnvägstrafiken

Oplanerade stopp och potential för målpunktstyrande system

Om trafikala effekter av att införa målpunktstyrande system för Sveriges godstrafik på järnvägen.
Slutrapport från projekt PUMPS – Punktlighet genom målpunktstyrning

Martin Joborn, SICS Swedish ICT
2014-12-08

Projekt inom ITS Gods, FUD-info nr 5408



Sammanfattning

I denna rapport kvantifieras en del av den förbättringspotential som finns i det svenska järnvägsnätet genom ett eventuellt införande av målpunktstyrning. Målpunktstyrning är ett sätt att förbättra flödet i järnvägsnätet och är infört på LKABs tåg på Malmbanan genom STEG-CATO-systemet och den koppling mellan Trafikledningen i Boden och LKABs lokförare som STEG-CATO innebär. Fokus på analysen i denna rapport är de trafikala effekterna som målpunktstyrning medför genom att tåg kan framföras med bättre framförhållning. Den förbättrade framförhållningen gör att antalet *oplanerade stopp* för restriktiva signaler kan minska, vilket medför många positiva konsekvenser, t.ex. minskad energiåtgång, förbättrad punktlighet, möjlighet till ökat kapacitetsutnyttjande, mindre slitage på banan och mindre slitage på bromsar.

Som *oplanerat stopp* räknas stopp som tåg gör, men som inte finns med i tidtabellen. Genom att studera tidtabellen kan man räkna fram antalet planerade nödvändiga stopp (stopp för möte, förbigång, tillkoppling, avkoppling, förarbyte, etc) och stopp utöver detta räknas som oplanerade stopp. Om ett stopp/möte flyttas från en station till en annan räknas det inte som ett oplanerat stopp, men däremot är det ett oplanerat stopp om tåg A stannar för ett möte men det enligt tidtabellen är tåg B som ska ha stanna. Att eliminera oplanerade stopp är en nyckel i potentialen av målpunktstyrande system, och därför är det viktigt att veta hur många oplanerade stopp som görs. Fokus i studien har varit godstrafiken på de viktigaste banorna, vilka motsvarar 77% av godstrafikarbetet i Sverige.

Resultaten visar att det årligen görs upp emot 292000 oplanerade stopp för godstågen i Sverige. Detta motsvarar att 87% extra stopp görs i förhållande till vad som är planerat och motiverat enligt tidtabellen. Flest oplanerade stopp görs på enkelspår i Norrland, men även på hårt belastade dubbelspår (västra stambanan, södra stambanan) görs många oplanerade stopp. Om ett målpunktstyrande system kan eliminera 50% av dessa oplanerade stopp motsvarar det en tidvinst på 6000 timmar per år, vilket motsvarar ca 10% av den totala årliga förseningen för godstrafiken.

Resultaten visar också att tidtabellen innehåller många tidtabellagda onödiga stopp, dvs stopp som finns i den dagliga grafen, men som för det specifika gångdagen är omotiverade pga att mötande tåg inte går den dagen. Speciellt vanligt är detta på norra stambanan, stambanan genom övre Norrland och Malmbanan. På dessa banor kan cirka 30% av stoppen i tidtabellen karaktäriseras som onödiga med avseende på de enskilda gångdagarna. I praktiken stannar tågen aldrig vid dessa onödiga stopp, men faktumet att de finns i tidtabellen gör dels att godstågen kommer ur sin tidtabell, och dels att kapacitetsutnyttjandet blir lågt. Ett av målen med Trafikverkets utvecklig kring Successiv Planering är att minska dessa stopp och öka effektiviteten.

En enkät har gjorts om godsoperatörernas inställning till målpunktstyrande system. Slutsatsen av enkäten är att man tror på dess potential och att det kan bidra till nytta, men att det finns en skepsis mot nya system och man upplever en risk att systemen innebär en kostnad för operatörerna, medan nyttan av systemet tillfaller någon annan part. Svaren i enkäten kan misstänkas vara färgade av den pågående diskussionen kring ERTMS och dess kostnader.

Studien visar också att det finns en stor potential för djupare studier av trafikflödena genom att använda data från Trafikverkets system TPOS. Att använda TPOS som datakälla kräver dock än så länge ganska stor arbetsinsats och expertkunskap.

Tillkännagivande

Detta projekt har finansierats av Trafikverket inom området ITS Gods.

Magnus Åhlander, Transrail Sweden AB, har gjort databehandlingen för att beräkna stoppmönster för varje tåg genom att kombinera och förädla data från TPOS, BIS och DPP. Varken Magnus Åhlander eller någon annan från Transrail har påverkat slutsatserna eller sammanställningen av resultaten eller innehållet i denna rapport.

Zohreh Ranjbar, SICS Swedish ICT Västerås AB, har gjort statistisk bearbetning och resultatsammanställning.

Innehåll

Sammanfattning	1
Tillkännagivande.....	2
2. Inledning.....	5
Bakgrund	5
Syfte och omfattning.....	5
3. Målpunktsstyrning – beskrivning och effekter.....	6
Vad är målpunktsstyrning	6
Effekter av målpunktsstyrning	7
4. Uppskattning av antal oplanerade stopp under körning	8
Klassificering av stopp	9
I tidtabellen: Planerade nödvändiga stopp och tidtabellaga onödiga stopp	9
I trafiken: Planerade nödvändiga stopp och oplanerade stopp	10
Data	10
Observation 1: Tidtabellen innehåller många tidtabellagda onödiga stopp.....	12
Observation 2: Tåg gör nästan lika många oplanerade stopp som planerade stopp	13
Observation 3: Målpunktsstyrande system reducerar antalet oplanerade stopp.....	15
Observation 4: 40% av tågen har oplanerade stopp.....	16
Observation 4: Vid 15% av mötena på enkelspår stoppar båda tågen	17
Observation 5: Många godståg går före sin tidtabell.....	17
Observation 6: Ju längre tåg kör, desto fler oplanerade stopp.....	18
Analys och slutsats	18
5. Godsmarknadens inställning	19
6. Erfarenheter från Malmbanan	20
7. Slutsatser	21
8. Försatta studier och nästa steg	22
9. Referenser	23
Bilaga 1: Beräkning av antal stopp	24
Datakällor och princip	24
Kriterier för stoppdetektion	26
Kalibrering mot GPS-data	28
Filtrering av tåg.....	28
Brister i TPOS-data och kompensation av detta	28
Filtrering av stopp.....	29

Bilaga 2: State-of-the art inom målpunktsstyrning och förarstödssystem	30
Målpunktsstyrande system i forskningslitteraturen	30
Computer Aided Train Operation (CATO)	30
AutomatikFunktion / AdmiRail (AF)	31
Driving Style Manager (DSM)	33
Adaptive Lenkung (ADL)	34
FARE - Real-time rescheduling	35
GreenSpeed	37
RouteLint	39
Zuglaufregelung (ZLR)	40

2. Inledning

Bakgrund

Målpunktsstyrning är ett sätt att få effektiv samordning av tågrörelser och för att optimera trafikflödet. En målpunkt anger vid vilken tid och med vilken hastighet strategiska positioner skall uppnås. Målpunkter skapas av Trafikverkets fjärrtågklarerare (fjtkl) och skickas till lokförare, som ansvarar för att tåget körs enligt målpunkterna. Därigenom kan en effektiv tågföring erhållas, som påverkar både energianvändning, kapacitetsanvändning och punktlighet på ett positivt sätt.

I Sverige har målpunktsstyrning införts på Malmbanan genom STEG-CATO-systemet, som används av LKAB och Trafikverket och har levererats av Transrail Sweden AB och Trafikverket. Installationen på Malmbanan är bland de första i världen med målpunktsstyrning för fjärrtågstrafik, där det finns en direkt koppling mellan trafikledning och lokförare och där information baseras på aktuellt trafikläge (och alltså inte på statiska tidtabellen). CATO innehåller dessutom ett förarstöd som assisterar lokförare att minimera energiåtgången, något som effektivt möjliggörs genom målpunktsstyrningen. Mer information om CATO finns i [1,2,7]

Det finns många positiva effekter av målpunktsstyrning både för persontrafik och för godstrafik på järnvägen. Därför överväger Trafikverket att införa detta på en större del av Sveriges järnvägsnät än vad som finns idag.

De positiva effekterna har teoretiskt analyserats och delvis empiriskt uppmätts i tidigare studier, främst med fokus på energianvändning [7]. En av de viktigare effekterna av målpunktsstyrning är de trafikala följderna, såsom ökad kapacitet och ökad punktlighet. Tidigare skattningar av det trafikala förbättringarna har varit teoretiska skattningar utan direkt koppling till den verkliga trafiken. Likväl är det så att om de teoretiska skattningarna kan realiseras, är målpunktsstyrning ett mycket kostnadseffektivt medel att öka kapacitet och punktlighet. Ett av huvudsyftena med denna studie har därför varit att ta ett fortsatt steg för att empiriskt kvantifiera de trafikala effekterna av införande målpunktsstyrande system i större skala i Sverige.

Syfte och omfattning

Syfte med denna rapport är att belysa effekterna för godstrafiken av att införa målpunktsstyrning. Det finns sedan tidigare gedigna rapporter om vad målpunktsstyrning är och hur det tekniskt fungerar, och det finns även kommersiellt tillgängliga system som helt eller delvis implementerar konceptet. I Bilaga 2 beskrivs olika målpunktsstyrande system. Det finns även både teoretiska och empiriska studier om de energimässiga effekterna [1, 7]. Detta rapporten avser att ge kompletterande kunskap om dels de trafikala effekterna av målpunktsstyrning och dels om godstrafikoperatörernas inställning och förväntningar kring införandet av ett målpunktsstyrande system.

Huvudsakliga arbetet som gjorts inom projektet har lagts på att utvärdera de trafikala aspekterna av införandet av målpunktsstyrning. Specifikt har ett omfattande analys gjorts för att uppskatta antalet oplanerade (icke-tidtabellagda) stopp för röda signaler. De positiva effekterna av målpunktsstyrning uppkommer nämligen genom att körningen anpassas så att dessa "oplanerade" stopp undviks, se vidare nedan.

Fokus i studien har varit godstrafiken. Det finns dock ingen bakomliggande bedömning att målpunktsstyrande system skulle vara viktigare för godstrafik än för persontrafik, eller vice versa.

Studiens och rapportens huvudsyfte är:

- Att kvantifiera vissa trafikala effekter av införande av målpunktsstyrning
- Att ge en uppfattning om godsmarknadens inställning till målpunktsstyrning
- Att ge en överblick av de målpunktsstyrande system som finns
- Att ge rekommendationer för fortsättning

Det är alltså utanför studiens syfte att, till exempel, i detalj beskriva målpunktsstyrning, beräkna energimässiga effekter av målpunktsstyrning, utvärdera implementationer av målpunktsstyrande system, utvärdera leverantörer av målpunktsstyrande system, utvärdera affärsmodeller och kostnadsdelningsprinciper vid införande av målpunktsstyrande system.

3. Målpunktsstyrning – beskrivning och effekter

Vad är målpunktsstyrning

Målpunktsstyrningens syfte är att förbättra samordningen mellan tågen för att uppnå förbättringar i trafikflödet. Fjärrtågklareraren är spindeln i nätet och styr trafiken genom alltid ha uppdaterade och optimerade trafikplaner som kommuniceras till lokförarna. Därigenom kan trafiken ledas på ett sätt som minimerar störningar och optimerar trafikflödet.

Grunden är att målpunkter kommuniceras från trafikledning till lokförare, se figur 1. Målpunkten innehåller en beskrivning av vid vilken tidpunkt och med vilken hastighet en strategisk position skall uppnås. Målpunkt kan t.ex. ange att tåg skall stanna vid en viss signal vid en viss tidpunkt, eller att en signal ska passeras med linjehastighet tidigast en specifik tidpunkt. Målpunkten baseras på aktuellt och verkligt trafikläge, och inte på den statiska tidtabellen. Positionen anges på ett sätt som är lätt för lokförare att tolka, t.ex. km+meter-angivelse, eventuellt kombinerat med signalidentifikation.

Lokförare kan då anpassa körsätt så att tåget följer målpunkterna. Kopplat till målpunktsstyrningen kan det finnas ett förarstöd, som assisterar lokförare genom att föreslå hastigheter så att målpunkten nås på bästa möjliga sätt, t.ex. så att energiåtgång minimeras.

Tågets framdrift återkopplas till trafikledningen, så att fjärrtågklarerare konstant kan ha en aktuell och optimerad plan för trafiken.



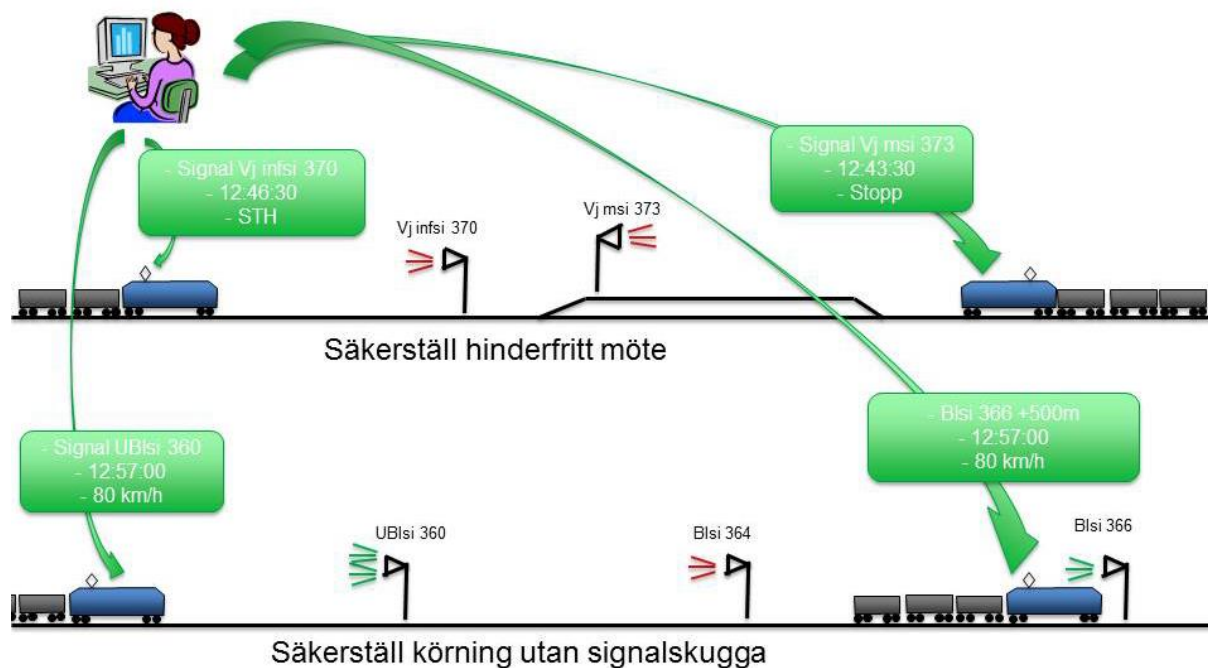
Figur 1: Kommunikation av målpunkter till lokförare och återkoppling till trafikledning.

Effekter av målpunktsstyrning

Genom att tåg kan samordnas på ett detaljerat sätt kan många olika positiva effekter uppnås. Den primära effekten är samordning av möten på enkelspår, samordning av kolonnkörning på enkelspår och dubbelspår och samordning av förbigångar på enkel- och dubbelspår.

Vid ett möte på enkelspår säkerställer målpunkter att möte genomförs hinderfritt. Det ena tåget har som målpunkt den tid som tåget ska stanna vid signal på driftplats. Det andra tågen har en målpunkt som säkerställer hinderfritt möte och att tåget inte för stoppsignal vid infarten till driftplatsen. Se figur 2.

Vid kolonnkörning på dubbelspår eller enkelspår säkerställer målpunkter att efterföljande tåg inte hamnar i signalskugga från det föregående tåget, utan att för den skull avstånd mellan tåg blir onödigt stort.



Figur 2: Samordning genom målpunkter vid möte och kolonnkörning. Målpunkter säkerställer hinderfritt möte respektive att signalskugga undviks.

Samordningen vid möte och kolonnkörning säkerställer alltså att tåg inte onödan behöver stanna för restriktiv signal. Samordningen gör att många sekundära effekter kan uppnås. De potentiella primära och sekundära effekterna är stora:

- Minskade störningar i trafiken, eftersom det blir färre oplanerade stopp.
- Bättre möjlighet för trafikledningen att i detalj planera och styra trafiken.
- Bättre robusthet, dels genom färre oplanerade stopp och dels genom att trafikledning kan göra och kommunicera optimala planer för återställning efter en störning.
- Högre bankapacitet genom att behov av headway mellan tåg kan minska utan att robustheten påverkas negativt.
- Minimerad energiåtgång för tågframdrift, dels genom att det blir färre onödiga stopp och dels genom att lokförare alltid kan anpassa hastighet till aktuellt trafikläge och aktuell tillgänglig körtid.
- Minskat slitage på bromsar genom att möjligheter till planerad mjukkörning (eco-driving) ökar.
- Minskat slitage på bana, dels genom att stopp på olämpliga platser undviks och dels genom förarens mjukkörning.
- Förare har bättre information om aktuellt trafikläge.

4. Uppskattning av antal oplanerade stopp under körning

Potentialen av införande målpunktsstyrning beror på hur mycket situationen kan förbättras utifrån dagsläget. Eftersom en viktig direkt effekt av målpunktsstyrning är att det ger möjlighet till att köra på ett sätt som minimerar antal stopp vid röda signaler (stopp som kunnat undvikas genom ett mer

situationsanpassat körsätt) har vi i denna studie gjort en uppskattning antalet sådana stopp, som vi kallar för oplanerad stopp (eftersom de inte planerats in i tidtabellen).

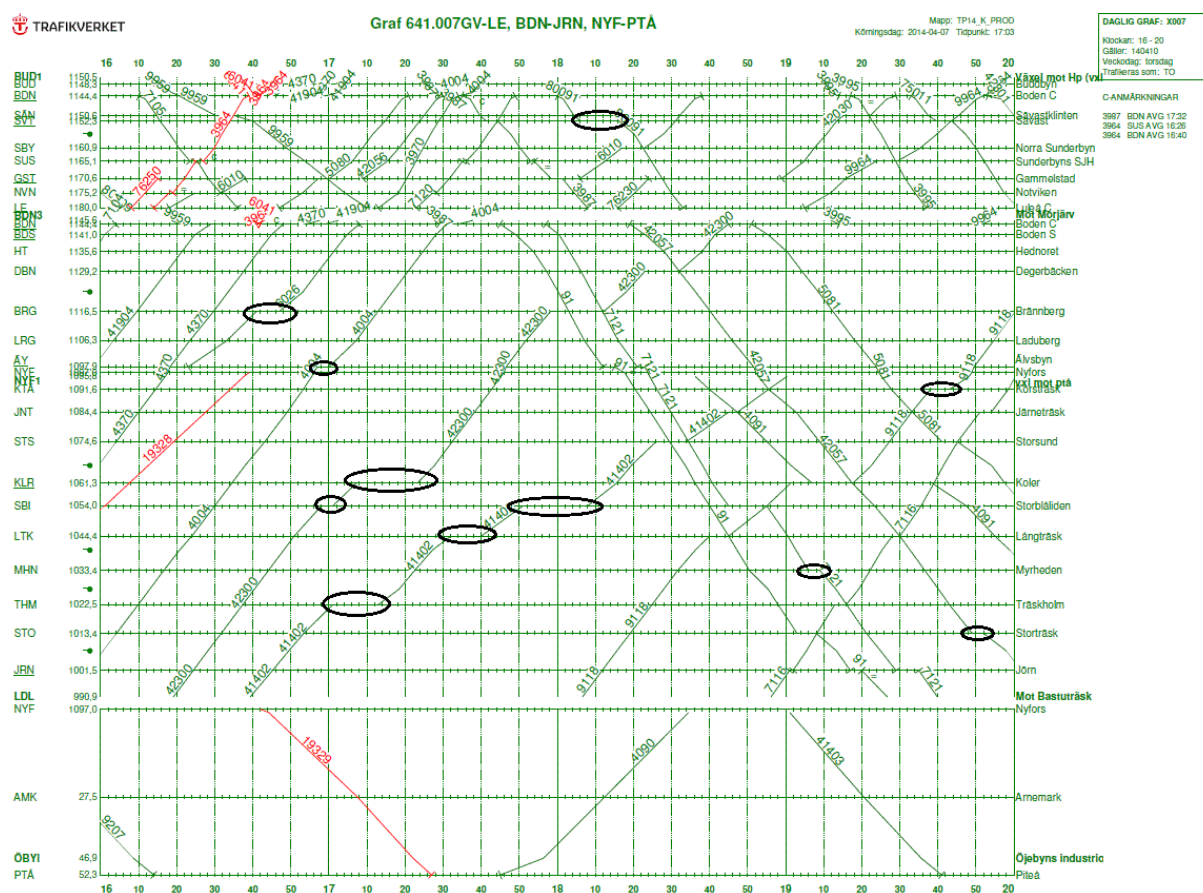
Klassificering av stopp

I tidtabellen: Planerade nödvändiga stopp och tidtabellaga onödiga stopp

Vid analys av stopp kan man göra en klassificering av dem. I tidtabellen finns det dels stopp som är *planerat nödvändiga stopp* och dels stopp som är *tidtabellaga onödiga stopp*. Med ett *tidtabellagt onödigt stopp* menar vi uppehåll som finns i tidtabellen för ett viss tåg en viss gångdag, men som är onödigt en specifik dag på grund av att det inte finns någon anledning att göra stopp. Ett typfall när detta uppstår är att det på ett enkelspår finns ett möte planerat, men under vissa dagar finns inget mötande tåg. Varje *tidtabellagt stopp* kan klassificeras som ett *planerat nödvändigt stopp* eller som ett *tidtabellagt onödigt stopp*.

Tidtabellagda onödiga stopp går ofta under namnet "skogstid", eftersom det (i tidtabellen) är planerat för ett möte, men vid gångdagar då det inte finns något mötande tåg får det stå i "skogen" och vänta på "ingenting". I praktiken släpper trafikledaren fram tåget så att det inte behöver stoppa i onödan, men planeringsmässigt leder det till en stor effektivitetsförlust för både järnvägsoperatör och infrastrukturägare. Ett av de viktigaste syftena med Trafikverkets utveckling kring konceptet *Successiv Planering* ska just komma till rätta med detta problem. Emellertid, inom föreliggande studie gjordes en uppskattning av antalet *tidtabellagda onödiga stopp*.

Figur 3 visar utseende för Daglig Graf under 20140410, där *tidtabellagda onödiga stopp* är inringade. Som *tidtabellagt onödigt stopp* klassas alla uppehåll som inte motsvarar ett möte eller förbigång och inte har någon uppehållskod i DPP (för t.ex. förarbyte, tillkoppling, fråkoppling, etc).



Figur 3: Daglig graf nr 7, Boden-Jörn, 20140410, kl 16-20, med tidtabellagda onödiga stopp markerade med ring.

I trafiken: Planerade nödvändiga stopp och oplanerade stopp

I trafiken delar vi upp stoppen på två kategorier: *planerade nödvändiga stopp* (dvs stopp då man verkligen har möte, tillkoppling, avkoppling, etc. enligt ovan) och *oplanerade stopp*.

Ett *oplanerat stopp* är ett stopp som inte finns planerat i tidtabellen. Ett *oplanerat stopp* kan ha många orsaker, men den direkta orsaken är oftast ett restriktivt signalbesked. Om tågen är utrustade med målpunktsstyrning bör många oplanerade stopp kunna undvikas genom att föraren i stället anpassar hastigheten och kommer fram till signal precis då den slår om till grönt – därmed kan energi sparas. Genom framförhållningen kan signalen passeras med linjehastighet, vilket gör att det blir en tidsvinst.

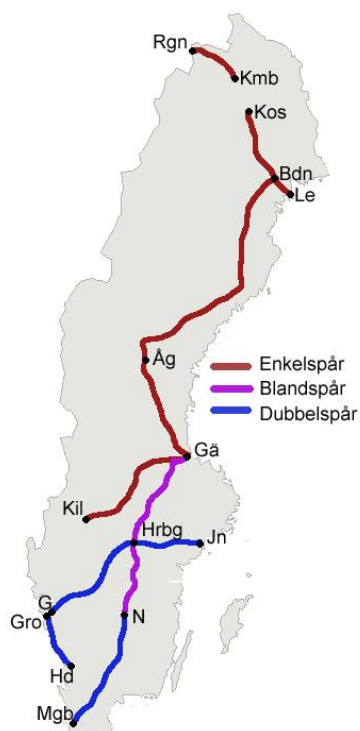
Ett stopp som flyttas från en station till en annan ger inget tillskott i antalet oplanerade stopp utan summeras till noll oplanerade stopp.

Data

Basen för studien har varit data hämtat från Trafikverkets system TPOS, som bland annat innehåller tidpunkter för varje signalpassage. Genom kännedom om signalers position (från BIS) och tidpunkter (från TPOS) kan medelhastigheter på varje delsträcka beräknas, och om variationerna i medelhastighet uppfyller vissa kriterier så kan man anta att tåget har haft ett stopp. Mer detaljer om användningen av TPOS-datat och kriterierna för stoppdetektion beskrivs i Bilaga 1. Tidtabellsdata

hämtas från DPP.

3 olika torsdagar har studerats, 20131107, 20140403 och 20141010 för de viktigaste godsstråken i Sverige. [Tabell 1](#) visar en sammanställning av uppgifter om tågen i grunddatat. Tåg som haft en detekterad körsträcka på mindre än 10 kilometer på respektive sträcka har strukits. De utvalda sträckorna motsvarar ca 77% av det totala godstrafikarbetet (mätt i tågkilometer). Vi känner inte till några uppgifter som tyder på att de valda dagarna inte kan betraktas som normala trafikdagar.



Figur 4: Karta över de sträckor som används i mätningar. Beskrivs även i [Tabell 1](#).

Sträcka	Beteckning	Huvudsaklig typ	Km	Antal godståg (medel)	Tågkilometer (medel)
Riksgränsen-Kiruna	Rgn-Kmb	Enkelspår	121	35	3604
Koskuskulle-Luleå	Kos-Le	Enkelspår	190	44	4371
Boden-Ånge	Bdn-Åg	Enkelspår	654	111	23571
Ånge-Gävle	Åg-Gä	Enkelspår	265	42	7410
Gävle-Kil	Gä-Kil	Enkelspår	337	62	3754
Gävle-Hallsberg	Gä-Hrbg	Blandspår	253	92	6297
Hallsberg-Nässjö	Hrbg-N	Blandspår	183	62	7425
Järna-Göteborg	Jn-G	Dubbelspår	409	122	17420
Gubbero-Halmstad	Gro-Hd	Dubbelspår	146	33	2559
Nässjö-Malmö	N-Mgb	Dubbelspår	265	104	7425

Tabell 1: Beskrivning av dataunderlag. Mätningar avser tåg i båda riktningar. Vissa tåg har fallit bort under hel eller del av sträcka pga. inkompleta data. Endast tåg som går mer än 10 km på sträckan har inkluderats.

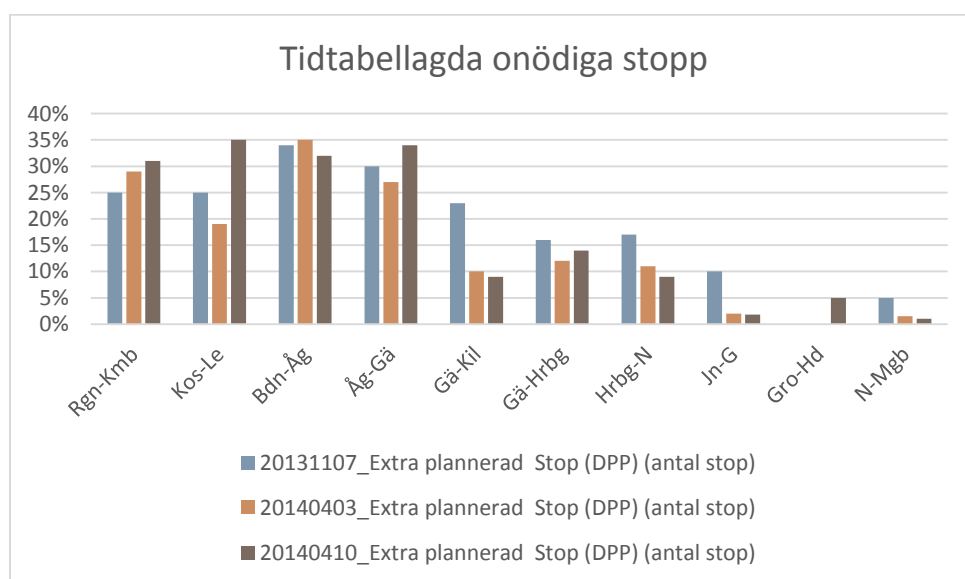
För en av sträckorna (Gävle-Kil) var avsikten att mätning skulle beröra en längre sträcka (Gävle-Kil-Göteborg), men på grund av bristande datakvalitet avkortades sträckan.

Observation 1: Tidtabellen innehåller många tidtabellagda onödiga stopp

Med ett *tidtabellagt onödigt stopp* menar vi uppehåll som finns i tidtabellen för ett visst tåg en viss gångdag, men som är onödigt just den dagen på grund av att det inte finns någon anledning att göra stopp (under just den dagen). Att tidtabellen innehåller *tidtabellagda onödiga stopp* är i sig ingen nyhet, men till vår kännedom har det inte tidigare gjorts någon storskalig uppskattning av deras antal.

Beräkning av antalet tidtabellagda onödiga stopp har gjorts genom att analysera data från DPP, dvs., den specifika tidtabellen under respektive dag, samma data som finns illustrerat i Daglig Graf.

I **Tabell 2** sammanställs antal tidtabellagda onödiga stopp för olika delsträckor. Resultat redovisas som andel av de tidtabellagda stoppen, dvs ett värde på 40% betyder att 40% av stoppen som finns i tidtabellen kan klassas som *tidtabellagt onödigt stopp*.



Figur 5: Diagram över tidtabellagda onödiga stopp som andel av de tidtabellagda stoppen för de olika mätdagarna.

Sträcka	Antal tidtabellagda stopp (medel)	Antal planerade nödvändiga stopp (medel)	Antal tidtabellagda onödiga stopp (medel)
Rgn-Kmb	59	42	17
Kos-Le	56	41	15
Bdn-Åg	277	188	89
Åg-Gä	106	87	19
Gä-Kil	75	64	11
Gä-Hrbg	73	62	11
Hrbg-N	40	35	5
Jn-G	98	93	5
Gro-Hd	16	16	0
N-Mgb	133	129	4

Tabell 2: Tabell över antal tidtabellagda stopp, antal nödvändiga stopp (dvs stopp som behövs den gångdagen) och antal tidtabellagda onödiga stopp (stopp som finns i tidtabellen men som inte

behövs den gångdagen). Värderna motsvarar medelvärden för de tre undersökta dagarna.

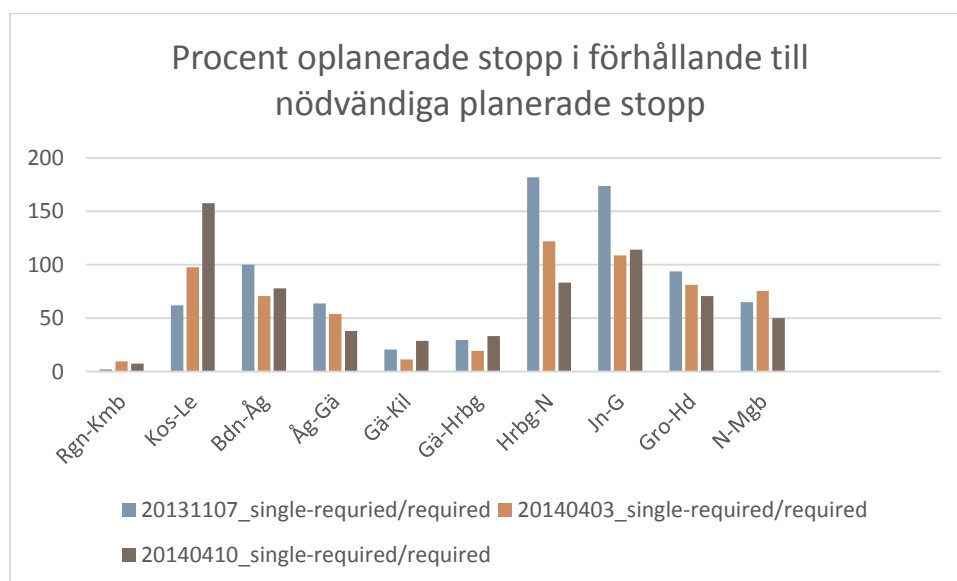
Resultaten visar att det på de studerade enkelspåren i Norrland (norr om Gävle) finns en stor andel tidtabellagda onödiga stopp; mellan 25%-35% av stoppen kan klassas som *tidtabellagda onödiga stopp* på de olika sträckorna. Detta motsvarar ungefär 140 *tidtabellagda onödiga stopp* per dag. På spåren genom Bergslagen är andelen 10-15% och på dubbelspåren i storstadstriangeln är andelen några få procent. Detta tyder på att kapacitetsfrigörandet genom Successiv Tilldelning kommer få störst positiva effekter i Norrland, men även positiva effekter på sträckorna genom Bergslagen, då tidtabellerna bättre anpassas till situationen för respektive gångdag.

Observation 2: Tåg gör nästan lika många oplanerade stopp som planerade stopp

Ett *oplanerat stopp* är ett stopp som inte finns planerat i tidtabellen. Ett *oplanerat stopp* kan ha många orsaker, men den direkta orsaken är oftast ett restriktivt signalbesked. Om ett *planerat nödvändigt stopp* flyttar från en station till en annan (t.ex. till följd av ändrad mötesplats) räknar vi det inte som ett oplanerat stopp.

Som jämförelsevärde för antal *oplanerade stopp* använder vi antal *planerade nödvändiga stopp* enligt Observation 1 ovan.

Figur 6 och **Tabell 3** nedan visar hur många *oplanerade stopp* som gjordes på de olika sträckorna i förhållande till antalet *planerade nödvändiga stopp*. För de flesta sträckorna är antalet *oplanerade stopp* 50%-100% av antalet planerade stopp, dvs. 50%-100% extra stopp görs på dessa sträckor som delvis hade kunnat undvikas med målpunktsstyrning.



Figur 6: Procent oplanerade stopp jämfört med antal nödvändiga planerade stopp.

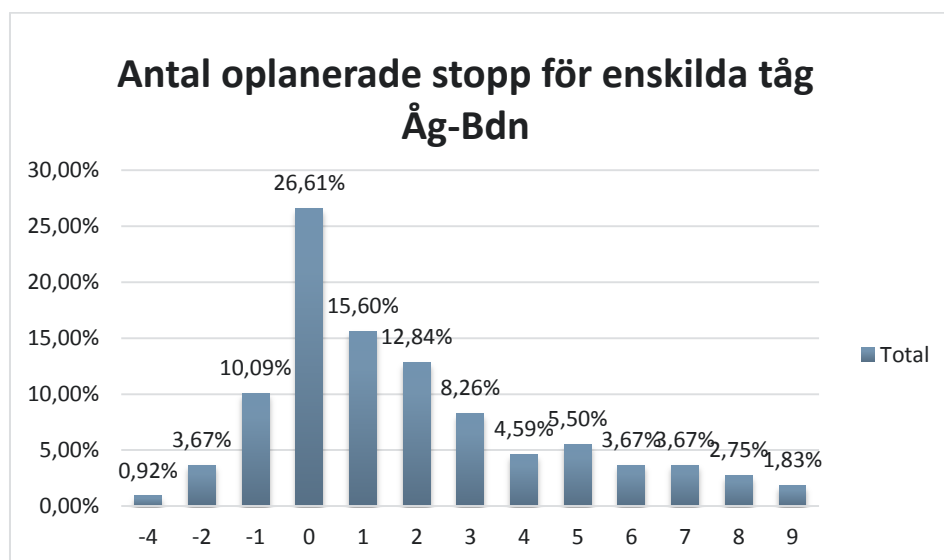
Sträcka	Antal oplanerade stopp (medel)	Antal planerade nödvändiga stopp (medel)
Rgn-Kmb	2	42

Kos-Le	41	41
Bdn-Åg	156	188
Åg-Gä	44	87
Gä-Kil	13	64
Gä-Hrbg	16	62
Hrbg-N	48	35
Jn-G	121	93
Gro-Hd	13	16
N-Mgb	82	129

Tabell 3: Medelantal oplanerade stopp respektive planerade nödvändiga stopp för de olika sträckorna.

Resultaten visar att det på de analyserade sträckorna gjordes i genomsnitt 536 oplanerade stopp per dag, vilket motsvarar 70% fler stopp än som planerat.

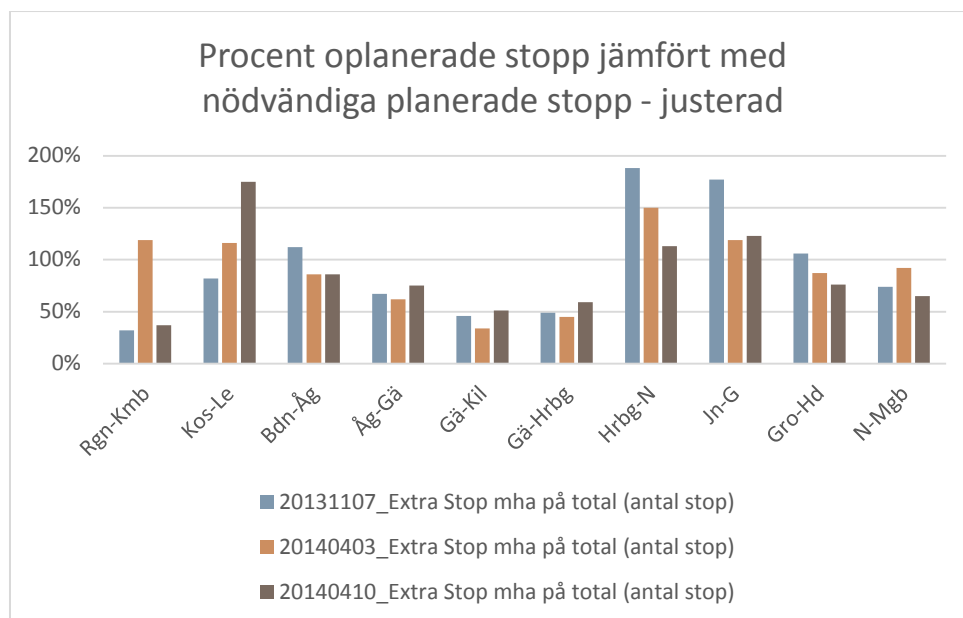
Figur 7 visar hur antalet *oplanerade stopp* fördelar sig mellan tåg för sträckan Åg-Bdn under en dag (20131107). Notera att antalet oplanerade stopp kan vara negativt, vilket betyder att tåget gör färre stopp än dess *planerade nödvändiga stopp* (enligt DPP-data). Detta kan t.ex. uppstå på ett enkelspår om tåg A har ett möte med tåg B, och i tidtabellen är tåg A planerat att stoppa, men i drift stoppas tåg B i stället. För tåg B registreras mötet då som ett oplanerat stopp, och för tåg A räkas det som minus ett oplanerat stopp. För varje tåg summeras sedan alla oplanerade stopp som uppstår, vilket illustreras i **Figur 7**, och summeras för alla tåg på respektive delsträcka i Tabell 4. Det betyder också att om ett tåg är planerat att stoppa på driftplats D, men i stället stoppar vid driftplats E, så summerar antal *oplanerade stopp* till noll. Resultatet visar att det finns en stor spridning av antalet oplanerade stopp mellan tågen, där vissa tåg har upp till 9 extra stopp under körningen.



Figur 7: Antal oplanerade stopp för enskilda tåg, dvs andel av tågen som har ett visst antal oplanerade stopp. Antal oplanerade stopp kan vara negativt, se ovan. Data visar sträckan Bdn-Åg 20131107.

Ur punktlighetsaspekt kompenserar *inte* ett tåg med ett negativt antal oplanerade stopp att andra tåg har positivt antal oplanerade stopp. Om tåg A har 2 oplanerade stopp och tåg B har -2 oplanerade

stopp, så påverkas punktligheten för tåg A negativt, vilket inte kompenseras av att tåg B får en positiv påverkan i sin punktlighet. Därför är det ur punktlighetssynvinkel relevant att mäta antal oplanerade stopp, men negligera tåg som har negativt antal stopp. I [Figur 8](#) och i [Tabell 5](#) sammanställs antal oplanerade stopp som har negativ inverkan på punktligheten, dvs tåg med negativt antal oplanerade stopp ansätts värdet noll oplanerade stopp. I medel ger detta att antal oplanerade stopp är på de studerade sträckorna är 662 per dag, vilket motsvarar att det görs 87% fler stopp än vad som är planerat och nödvändigt.



Figur 8: Andel oplanerade stopp varje sträcka i förhållande till antal planerade stopp - negativt antal stopp ansätts till nulloplanerade stopp.

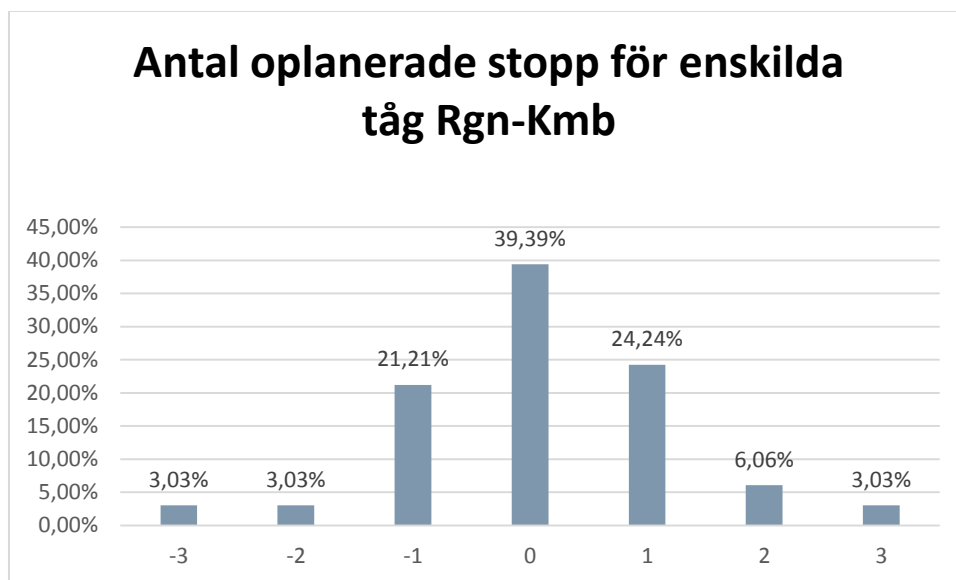
Sträcka	Antal oplanerade stopp > 0 (medel)	Antal planerade nödvändiga stopp (medel)
Rgn-Kmb	26	42
Kos-Le	49	41
Bdn-Åg	179	188
Åg-Gä	51	87
Gä-Kil	28	64
Gä-Hrbg	32	62
Hrbg-N	53	35
Jn-G	129	93
Gro-Hd	15	16
N-Mgb	100	129

Tabell 5: Antal oplanerade stopp på respektive sträcka, där tåg med negativt antal oplanerade stopp fått värdet 0.

Observation 3: Målpunktsstyrande system reducerar antalet oplanerade stopp

På en av de undersökta sträckorna, Rgn-Kmb, är 60% av tågen utrustade med det målpunktsstyrande systemet STEG-CATO. På sträckan Kos-Le har 20% av tågen målpunktsstyrande system.

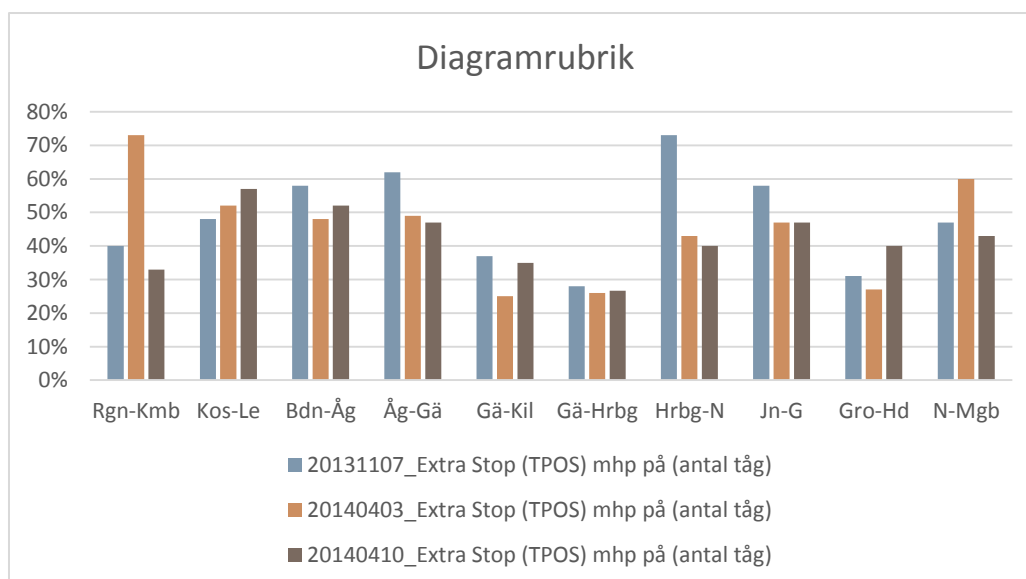
Tåg på sträckan Rgn-Kmb uppvisar en annan karaktäristik för oplanerade stopp än övriga sträckor i landet, trots att detta är en mycket högt belastad sträcka. På denna sträcka sker en omfördelning av stopp mellan tåg, utan att totala antalet stopp väsentligen ökar jämfört med de nödvändiga stoppen, se [Figur 9](#) och [Figur 8](#). Det målpunktstyrande systemet visar alltså en förmåga att kunna reducera totala antalet oplanerade stopp, men för enskilda tåg uppstår det även här oplanerade stopp. I dagsläget finns dock en stor potential till förbättring i handhavandet av det målpunktstyrande systemet, se avsnitt 6.



Figur 9: Antal oplanerade stopp för enskilda tåg, dvs andel av tågen som har ett visst antal oplanerade stopp. Antal oplanerade stopp kan vara negativt, se ovan. Data visar sträckan Rgn-Kmb 20131107, dvs en sträcka där 60% av tågen har målpunktstyrning. Stoppens fördelning mellan tåg visar en annan karaktäristik än på övriga sträckor, genom en omfördelning snarare än ökning av antalet oplanerade stopp.

Observation 4: 40% av tågen har oplanerade stopp

[Figur 10](#) nedan visar att på majoriteten av sträckorna har mellan 30% och 50% av tågen oplanerade stopp.

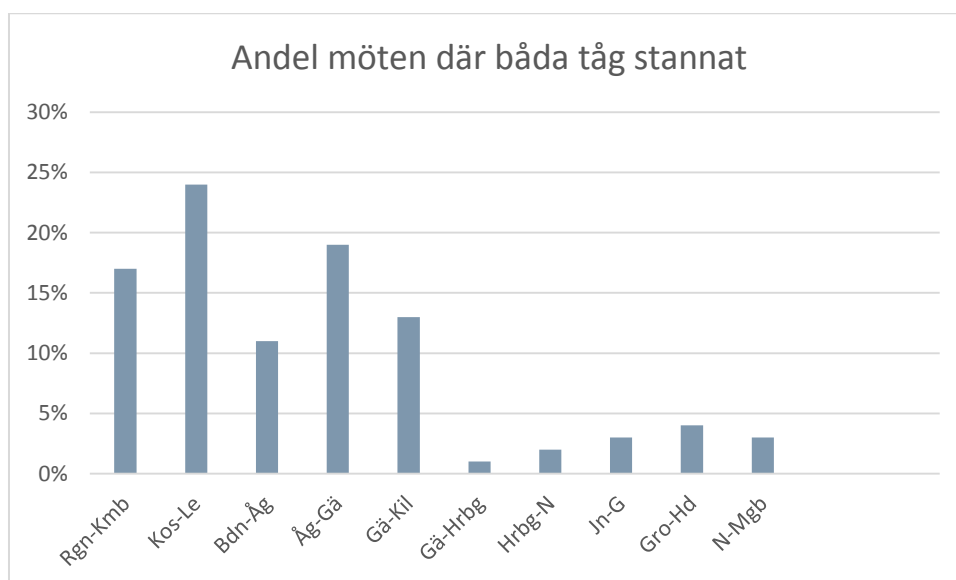


Figur 10: Andel av tågen som har ett eller fler oplanerade stopp.

Observation 4: Vid 15% av mötena på enkelspår stoppar båda tågen

I tidtabellen planeras möte på enkelspår så att ett av tågen ska stanna medan det andra tåget ska kunna köra igenom med linjehastighet. Om tågen inte har perfekt tidhållning i förhållande till varandra kan detta dock vara svårt att åstadkomma - åtminstone utan målpunktstyrande system.

I [Figur 11](#) visas vid hur stor andel av mötena som båda tågen stoppade. Detta är mest intressant för enkelspårssträckor, eftersom det är mer svårtolkat för dubbelspår. Mätningen inkluderar alla möten med minst ett godståg inblandat i mötet (dvs ej möten mellan två persontåg) och visar att vid i genomsnitt 15% av mötena (på enkelspår) har båda tågen fått stopp.



Figur 11: Andel av möten (med minst ett godståg) där båda tågen stoppade. Mätning mest relevant för enkelspår.

Observation 5: Många godståg går före sin tidtabell

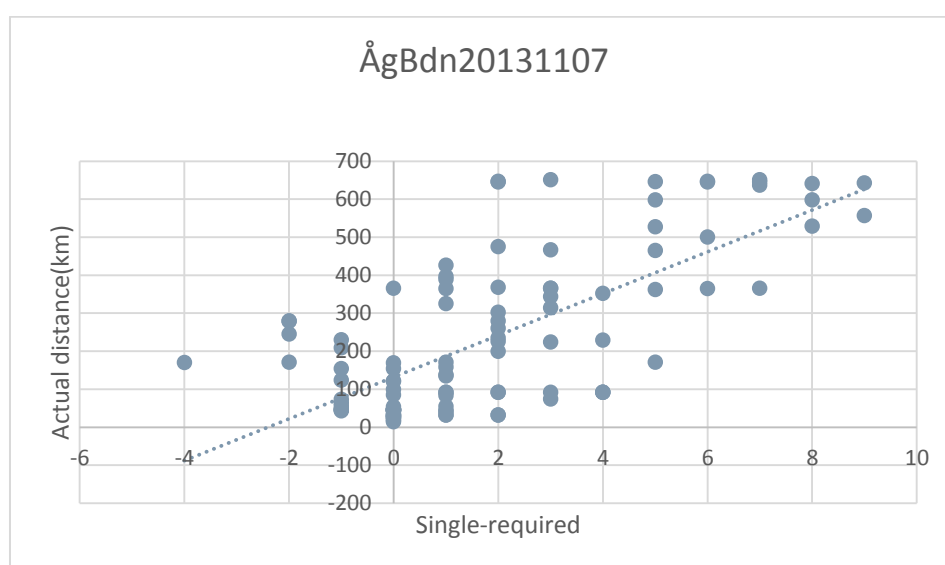
Det är ett känt att godståg ofta går före sin officiella tidtabell. Det bekräftas även i denna studie, där

ett stickprov på sträckan Bdn-Åg visar att 43% av tågen låg med än 5 minuter före sin tidtabell då respektive mätområde lämnades. Detta gör att det är svårt att finna ett samband mellan uppmätt försening och antal oplanerade stopp. Tåg som får oplanerade stopp tappar tid, men vi har inte kunnat uppskatta hur mycket tid som tåg som är före sin tidtabell tappar på grund av oplanerade stopp. I stickprovet låg 42% av tågen mer än 5 minuter efter sin tidtabell och således låg 17% av tågen inom en marginal av +/-5 minuter från sitt tidtabellsläge.

Att många tidtabellagda planerade stopp är onödiga (se Observation 1) kan vara en av orsakerna till att många godståg går före sin tidtabell.

Observation 6: Ju längre tåg kör, desto fler oplanerade stopp

Ju längre körsträcka ett tåg har, desto fler oplanerade stopp får det. Detta samband är inte väldigt starkt, men ändå tydligt, se [Figur 12](#).



Figur 12: Samband mellan körsträcka och antal oplanerade stopp (sträckan Bdn-Åg).

Slutsatsen av detta är att långväga godståg inte har någon stark prioritet så att man i trafikledningen försöker undviker oplanerade stopp för de långväga transporterna. De operativa prioriteringskriterierna innehåller heller inte någon sådan regel utan snarare motverkande regel – att rättidigt tåg har prioritet. Och genom att kortväga tåg har lättare att hålla sin tidtabell än långväga [6], så finns risk att långväga "straffas" ytterligare genom oplanerade stopp.

Analys och slutsats

Det är svårt att dra säkra slutsatser om hur mycket förseningar beror av de oplanerade stoppen och hur mycket förseningarna skulle minska om det oplanerade stoppen minskar. Man kan däremot konstatera att det finns en rejäl potential till förbättring eftersom de oplanerade stoppen är så många så de har en trafikal påverkan.

Om godståg skulle kunna tajma signaler genom målpunktsstyrande system så kan stilleståndstid omvandlas till tid för ecodriving och accelerationstid efter stopp kan elimineras. På de studerade sträckorna gjorde 662 oplanerade stopp per dag, vilket uppskalat till hela Sveriges godstrafik motsvarar 292000 oplanerade stopp per år. Antag att varje oplanerat stopp skapar en fördröjning på

2,5 minuter och att hälften av dessa stopp kan elimineras med hjälp av målpunktstyrande system. Det ger en total tidsbesparing på 6000 timmar per år, vilket motsvarar 10% av godstrafikens totala årliga försening [4].

En annan slutsats är att användning av TPOS-data för uppföljning och analys ger en helt annan detaljeringsgrad än att t.ex. använda LUPP-data. Potentialen för användning av TPOS-data kan betraktas som mycket stor för detaljerade analyser. Emellertid är hantering av TPOS-data komplext då det dels är stort, inkomplett och innehåller fel. En generell erfarenhet som är giltig även för TPOS är att data är av den kvalitet som är nödvändig, och eftersom TPOS hittills har få användare som nyttjat data på den detaljnivå som vi gjort i detta projekt, så upptäcker man många brister i data.

5. Godsmarknadens inställning

Inom projektet gjordes en enkel enkät om godstransportmarknadens inställning till införande av målpunktsstyrning. Syftet var att förstå operatörernas generella inställning till denna typ av stödsystem och vilka effekter som är högst prioriterade. Notera att resultaten från analys av antal stopp i järnvägsnätet inte var kända då denna enkät gjordes. Alla då aktiva godsoperatörer inbjöds att delta i enkäten (12 stycken) och 7 svarade¹. Frågor i enkät var:

- Uppgifter om järnvägsbolaget
- Nyttan av målpunktsstyrning
- Värdering av målpunktsstyrningens olika aspekter
- Prioriterade sträckor för införande
- Betalningsvilja för målpunktsstyrande system
- Övriga kommentarer

Nästan alla operatörer anser att målpunktsstyrning skulle medföra stor nytta för järnvägssystemet. Det finns alltså en gemensam syn om att målpunktsstyrning är en god idé för att vidareutveckla järnvägssystemet. Emellertid är värderingen av den egna nyttan något lägre, vilket dels kan kopplas till att man anser att nyttan för systemet som helhet är större än den ekonomiska egennyttan. Dessutom finns en "oro" att vinsterna av införande av sådant system inte främst skulle komma operatörer till del, se nedan.

I enkäten fick operatörer värdera de uppskattade effekterna av målpunktsstyrning. Avsikten var att för operatörens syn på vilka effekter som är mest viktiga.

Effekt för operatör	Värde på femgradig skala
Minskad energiförbrukning med 15%	4
5-10% förbättrad punktlighet	3,5
Ökad bankapacitet med 5-10%	4,2
Minskat bromsslitage	3,8
Minskat slitage på bana	3,2

Slutsats av detta är att operatörer bedömer alla de effekter som målpunktsstyrning kan åstadkomma

¹ Eftersom LKAB Malmtrafiken redan har infört målpunktsstyrning genom CATO deltog de inte i enkäten. Deras erfarenheter redovisas i avsnitt 6.

som relevanta och av värde. De viktigaste förbättringarna anses vara en möjlig ökning av bankapaciteten och en minskad energiförbrukning. Även minskat bromsslitage och förbättrad punktlighet anses värdefullt, medan minskat slitage på banan anses vara av något lägre nytta. Man borde alltså prioritera att införa målpunktsstyrning på banor där kapaciteten är en viktig frågeställning (och då finns ofta en koppling till punktligheten), snarare än banor där den viktigaste effekten är minskad energiförbrukning. Konkret betyder det att operatörer prioriterar införande på banor med kapacitetsproblematik där vi kan vänta oss en på både energi och kapacitet/punktligghet, snarare än mindre belastade banor, där energipotentialen kan vara större.

Att fråga operatörer om deras betalningsvilja för denna typ av system är naturligtvis vanskligt, eftersom svaren kan tolkas som inlägg i en politisk och affärsmässig diskussion, snarare än sanna uppskattningar om värdet för respektive operatör att denna typ av system införs. Operatörernas kännedom om de enskilda konsekvenserna och nyttorna av införande är också än så länge begränsad. Svaren i enkäten fördelar sig lika mellan att betalningsviljan är under 10KSEK per lok och år, och i intervallet 10-50 KSEK. En rimlig tolkning av detta är att även om man ser systemnyttan med målpunktsstyrande system som högt, värderar man egna ekonomiska nyttan som relativt liten.

Kommentarer i enkäten visar på en tydlig oro att detta skulle bli ett nytt system som operatörer tvingas att införa, medan vinsterna av införandet inte kommer operatörer till del, utan främst hamnar hos Trafikverket och leverantörer. En operatör vägrade att svara på frågorna innan de affärsmässiga förhållandena kring ett införande var klarlagt. Operatörer hänvisade till erfarenheter från diskussioner kring och införande av energimätare och ERTMS, som de tyckte var belastningar utan att ge direkt nytta för operatörer. Om ett målpunktsstyrande system införs, bör man vara noggrann i formuleringen av "affärsmodellen" så att alla parter gynnas att samverka för systemets bästa.

En slutsats av denna enkät är framför allt att det hos godsmarknadens aktörer finns en viss misstänksamhet mot införandet av nya stödsystem i allmänhet, eftersom man är osäker vilken part som får betala och vilken part som drar nytta av systemen. Däremot kan aktörerna tro på att ett målpunktsstyrande system kan medföra förbättringar, och kapacitetsökning och minskad energiförbrukning anses vara viktiga komponenter, liksom även ökad punktlighet.

6. Erfarenheter från Malmbanan

Det målpunktsstyrande systemet STEG-CATO är sedan 2012 infört på LKAB:s malmtåg och trafikledningen i Boden på trafiken mellan Luleå-Malmberget-Kiruna-Narvik. Det ligger inte inom denna studies ramar att närmare granska eller kvantifiera effekterna av denna implementation. Däremot har intervjuer genomförts med personal med insikt i Malmtrafiken. Det finns viktiga lärdomar att dra inför ett framtida införande av målpunktsstyrande system.

Efter ca 2 år i drift har systemet ännu inte nått upp till sin potential. För att systemet ska fungera som tänkt krävs en god samverkan mellan lokförare och tågledning så att respektive part fullföljer sin del i systemet som tänkt: Trafikledare skall planera trafiken med god framförhållning och därmed skapa bra målpunkter och lokförare ska framföra tågen så att de givna målpunkterna möts, men denna samverkan sker inte på ett fullgott sätt så att man verkligen nyttjar systemets potential.

Intervjuer med inblandade parter visar ändå att det definitivt finns goda erfarenheter av systemets

införande och att man fortfarande tror att systemet kan ge de effekter som man har eftersträvat. Förtroendet för systemets potential kan därmed sägas vara orubbat, men de praktiska svårigheterna med införandet är betydligt större än vad man förväntat sig. Det gäller dels de tekniska utmaningarna men framför allt de mänskliga utmaningarna. De tekniska utmaningarna har komplicerats av att införandet av CATO gjorts samtidigt som förändringar i tågledningssystemet ARGUS, och så länge som inte de senare förändringarna är helt på plats försvåra arbetet med STEG-CATO. Likaså har organisatoriska förändringar gjorts inom Trafikverket, vilken kan ha påverkat trafikledningens agerande och motivation att tillgodogöra sig det ny arbetssätt som krävs i samband med införande av målpunktsstyrande system.

Förslag till förbättringar av installationen av STEG-CATO är utanför omfattningen av denna studie, men ett konstaterande är att Trafikverket och LKAB i den installationen har ett världsunikt system, och det är helt klart att dess hela potential inte ännu har nåtts, men stora förbättringar kan antagligen uppnås med relativt liten insats.

7. Slutsatser

Resultaten visar att det årligen görs upp emot 292000 oplanerade stopp för godstågen i Sverige. Detta motsvarar att 87% extra stopp görs i förhållande till vad som är planerat och motiverat enligt tidtabellen. Flest oplanerade stopp görs på enkelspår i Norrland, men även på hårt belastade dubbelspår (västra stambanan, södra stambanan) görs många oplanerade stopp.

En av de viktigaste funktionerna av ett målpunktsstyrande system är att man ska kunna undvika oplanerade stopp genom en körstil som anpassas efter aktuella trafikala förhållanden. Om ett målpunktsstyrande system kan eliminera 50% av dessa oplanerade stopp motsvarar det en tidvinst på 6000 timmar per år, vilket motsvarar ca 10% av den totala årliga förseningen för godstrafiken.

Tidtabellen innehåller många tidtabellagda onödiga stopp, dvs stopp som finns i den dagliga grafen, men som för det specifika gångdagen är omotiverade pga att mötande tåg inte går den dagen. Speciellt vanligt är detta på norra stambanan, stambanan genom övre Norrland och Malmbanan. På dessa banor kan cirka 30% av stoppen i tidtabellen karaktäriseras som onödiga med avseende på de enskilda gångdagarna. I praktiken stannar tågen aldrig vid dessa onödiga stopp, men faktumet att de finns i tidtabellen gör dels att godstågen kommer ur sin tidtabell, och dels att kapacitetsutnyttjandet blir lågt. Dessa tidtabellagda onödiga stopp kan också vara en anledning till att godståg väldigt ofta kommer ur sin planerade tidtabell.

En enkät har gjorts om godsoperatörernas inställning till målpunktsstyrande system. Slutsatsen av enkäten är att man tror på dess potential och att det kan bidra till nytta, men att det finns en skepsis mot nya system och man upplever en risk att systemen innebär en kostnad för operatörerna, medan nyttan av systemet tillfaller någon annan part. Svaren i enkäten kan misstänkas vara färgade av den pågående diskussionen kring ERTMS och dess kostnader.

Studien visar också att det finns en stor potential för djupare studier av trafikflödena genom att använda data från Trafikverkets system TPOS. Att använda TPOS som datakälla kräver dock än så länge ganska stor arbetsinsats och expertkunskap.

8. Försatta studier och nästa steg

Det finns många intressanta uppslag till fortsättningar på denna studie. Inte minst ger det analysmaskineri som skapats genom behandling och förfining av TPOS-data nya möjligheter till att göra analyser på en mer detaljerad nivå än tidigare. Här beskrivs några idéer på fortsatta studier.

Utvidgning: Mer underlag

Denna studie omfattade 3 trafikdagar och 77% av tågtrafiken. För att få ännu bättre underlag kan omfattningen utökas till att omfatta fler trafikdagar och ännu större del av järnvägsnätet.

Persontåg

I denna studie begränsades analysen till att gälla godståg. En motsvarande analys av trafikflödet kan naturligtvis göras för persontrafiken.

Effekterna av stopp

I denna studie kvantifierades främst antalet oplanerade stopp i järnvägsnätet. Däremot gjordes ingen djupare konsekvensanalys av stoppen, t.ex. av tidsmässiga, punktlighetsmässiga och energimässiga kostnaden av dessa stopp. Sådan analys är naturligtvis av stort värde inför beslut av införande av målpunktstyrande system.

Nästa steg inför målpunktstyrning

Om Trafikverket ska införa målpunktstyrning i större skala än på Malmbanan måste rätt stödsystem finnas både i trafikledning och i lok. Förutsättningar förändras också delvis genom införande av NTL. En viktig analys är vilka kompletterande delar och stödsystem som är nödvändiga om ett målpunktstyrande system ska införas på nya platser i Sverige.

Detaljerade gångtidsanalyser

Det ramverk för noggranna analyser av trafikmönster som byggts upp baserat på TPOS/BIS/DPP kan användas för diverse studier, studier som betraktar järnvägssystemet på en annan noggrannhetsnivå en vad man kan göra med t.ex. Lupp-systemet, som traditionellt används för uppföljning. Vi bedömer att det kan vara av stor värde i många sammanhang.

Hotspots för förseningar

Ett exempel på mer detaljerad studie genom användning av TPOS/BIS/DPP är att på ett noggrann nivå analysera var förseningar uppstår. Man skulle kunna identifiera enskilda blocksträckor där tåg tappar i sin tidhållning, och därefter få ett nytt sorts underlag till förståelse till var och varför förseningar uppstår.

Vidareutveckling STEG-CATO-Malmbanan

I rapporten har det nämnts att det målpunktstyrande systemet STEG-CATO på Malmbanan i dagsläget inte nyttjas till sin fulla potential. Den initiala bedömningen är att detta beror både på tekniska och mänskliga skäl. Att analysera och förbättra både teknik och handhavande kan vara av stort värde, både för operatören som använder systemet, kapacitetsutnyttjandet på Malmbanan och

för lärdomar inför framtiden.

9. Referenser

- [1] Lagos, M., Leander, P. (2006) CATO (Computer Aided Train Operation) the future art of train operation, Transrail report BVF3R3.1_061024.
- [2] Lagos, M., Eriksson, E., Leander, P. (2009) Energy Efficient Train Operation System Requirement Specification, Lagos, Eriksson, Leander, Transrail report NRG-TRR-D-2.3-021.09)
- [3] Panou C., Stergidou A., Emery D., Tzieropoulos P., Goverde R., Toth P., Cacchiani V., Albrecht T., and A. Binder (2013), "Task 3.1 Assessment of State-of-Art of Train Timetabling", ONT-WP03-I-EPF-008-03, European Commission, Brussels.
- [4] Gummesson, M. (2014) Tillsammans för Tåg i Tid, Resultatrapport 2014, Trafikverket Publikation 2014:116
- [5] Östlund, J. (2013) Bantrafik 2013, Trafikanalys 2014.
- [6] Peterson, A. (2012) "Towards a robust traffic timetable for the Swedish Southern Mainline", in: COMPRAIL 2012 13th International Conference on Design and Operation in Railway Engineering, New Forest, UK, September 11–13, 2012. (Published as WIT Transactions on the Built Environment 127, pp 473–484.)
- [7] Joborn, M., Leander, P. (2011) Slutrapport för FUD-projekt CATO, Energoptimerad tågstyrning, Transrail rapport BVX2R1.4.

Bilaga 1: Beräkning av antal stopp

Huvudfokus i denna studie har varit att uppskatta antalet oplanerade stopp, enligt beskrivning och motivering tidigare i rapporten.

En direkt effekt av målpunktsstyrning är att man (försöker) undvika oplanerade stopp. Ett sätt att få uppfattning om den effekt som målpunktsstyrning kan ge är alltså att uppskatta antalet oplanerade stopp. De oplanerade stoppen kan undvikas om förare har bättre information om trafikläget och därmed kan anpassa sin hastighet på ett sätt så att stoppet undviks. Att undvika dessa oplanerade stopp kan i sin tur ge sedan de positiva effekter som beskrivits tidigare i rapporten (bättre trafikflöde, bättre kapacitetsutnyttjande, bättre punktlighet, minskad energiåtgång, etc.).

Datakällor och princip

Data har hämtats från flera av Trafikverkets system:

- BIS: Från baninformationssystemet BIS hämtas t.ex. infrastrukturens layout, STH, blocksträckor, signalbeteckning, signalpositioner (latitud/longitud samt bandel/kilometer/meter), signaltyp.
- TPOS: Från systemet TPOS hämtas t.ex. Signal-ID enligt TMS-systemen, signalbeteckning enligt BIS, tidpunkt då ett tåg belägger en blocksträcka, tidpunkt då ett tåg lämnar en blocksträcka. I vissa fall finns även positioner/hastighet för tåg insamlade med GPS ombord på tåg.
- DPP: Från systemet som innehåller den dagliga produktionsplanen, DPP, hämtas den tidtabell som är aktuell för respektive gångdag. Tidtabellen från DPP ska i stort sett vara konfliktfri.

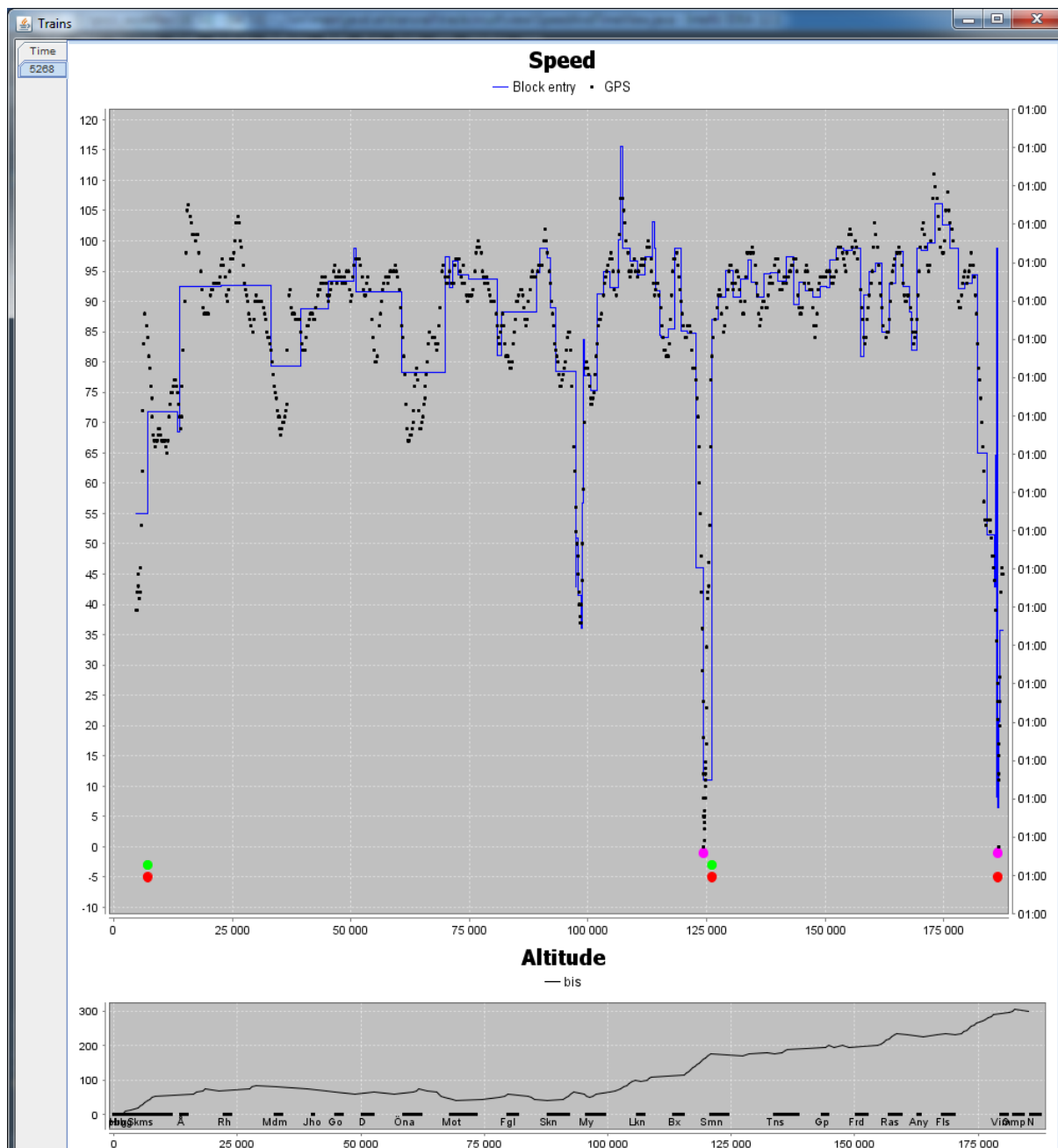
Inget system innehåller explicit information om tåg har gjort ett stopp. En mindre del av tågen (ca 10%) har GPS som med 10 sekunders intervall registrerar position och hastighet. Eftersom så få tåg har GPS kan inte GPS-registreringarna användas för att dra storskaliga slutsatser om antalet stopp. Däremot används GPS-registreringar för att kalibrera algoritmerna för stopp-detektion.

Ett typiskt stopp sker i slutet av en blocksträcka, strax innan infarten till nästa blocksträcka. Om ett tåg stannar vid en blocksignal påverkas således gångtiden dels på den blocksträckan där stoppet sker och på efterföljande blocksträcka. Det tidstillägg som uppstår till följd av stoppet påverkas bland annat av tågets bromstal och accelerationsförmåga. Bromsförlopp och accelerationsförlopp ger därmed ett minimalt tidstillägg som tåget får på respektive blocksträcka i samband med stopp.

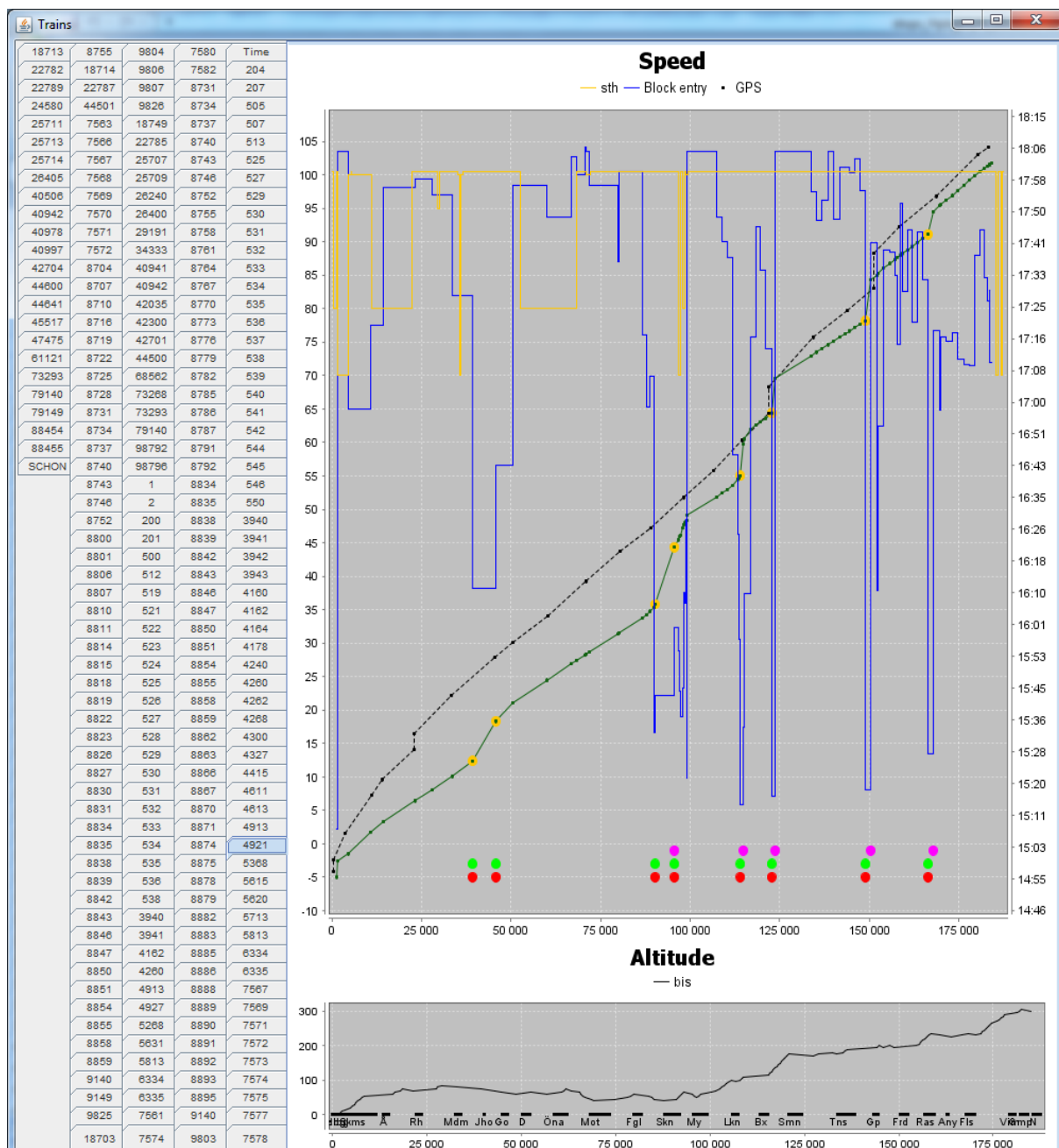
GPS-data visar också att tåg ibland gör stopp mitt i en blocksträcka och accelererar till linjehastighet innan nästa block. Då hamnar alltså både stopp- och starttilläggen på samma blocksträcka.

[Figur 13](#) och [Figur 14](#) illustrerar användningen av data för detektion av stopp. I [Figur 13](#) visar den blå linjen medelhastigheter mellan händelser registrerade i TPOS. Viss tvättning har redan gjorts av dessa hastigheter för att kompensera för mindre slumpmässiga fördröjningar i tidsregistreringar. De svarta punkterna motsvarar hastigheter uppmätta med GPS för detta tåg. GPS-data finns bara för en mindre andel av tågen, men användes för kalibrering och komplettering av data (se nedan). De färgade prickarna motsvara positioner där den utvecklade stoppdetektionsalgoritmen detekterat

stopp för tåget, baserat på medelhastigheter uträknade från TPOS-datat. De olika färgerna på prickarna motsvarar att olika kriterier för stoppdetektion har blivit uppfyllt. [Figur 14](#) illustrerar medelhastigheter utifrån TPOS och de detekterade stoppen (färgande punkter). Dessutom illustreras banans STH med en gul linje. Det sneda strecken tvärt genom figuren motsvarar tågen planerade tidtabellsgraf (prickad) och den körda (heldragen).



Figur 13: Medelhastigheter genom TPOS-händelser och momentana GPS-hastigheter för ett tåg på sträckan Hrbg-N. Detekterade stopp markeras med en eller flera färgade prickar.



Figur 14: Medelhastigheter genom TPOS (blå linje), banans STH (gul linje) samt detekterade stopp (färgade prickar). För detta tåg detekterades alltså 8 stopp på denna sträcka.

Kriterier för stoppdetektion

Vid beräkning av minimal tidsförlust för vid ett stopp har vi antagit att ett tåg har ett konstant bromstal respektive accelerationstal och att hastighetetsökning/minskning alltså är proportionell mot tiden. Antag att ett tåg stannar i slutet av blocksträcka 0 och att både blocksträcka 0 och 1 är tillräckligt långa för att helt rymma en inbromsning respektive en acceleration. Enkel härledning från Newtons rörelsekvationer ger sambanden nedan:

Parametrar:

Vlinje : Tågets hastighet innan och/eller efter inbromsning/acceleration (m/s).

B: Tågets bromstal (m/s^2)

A: Tågets accelerationstal (m/s^2)

L1: Längden på blocksträcka 1 (före stoppet)

L2: Längden på blocksträcka 2 (efter stoppet)

Samband: (under förutsättning att L1 resp L2 är längre än bromssträcka resp accelerationssträcka)

Bromstid = V_{linje} / B

Bromssträcka = $B * Bromstid^2 / 2 = V_{linje}^2 / 2B$

Körsträcka på linje innan bromsning = $L_B = L1 - Bromssträcka$

Körtid till bromspunkt = $(L1 - Bromssträcka) / V_{linje}$

Total körtid vid bromsning = Körtid till bromspunkt + Bromstid = $(L1 - V_{linje}^2 / 2B) / V_{linje} + V_{linje} / B$

Samband för acceleration blir helt symmetriskt med sambanden för broms, med skillanden att bromstal B ersätts med accelerationstal A.

Total körtid vid acceleration = accelerationstid + Körtid efter acceleration = $(L2 - V_{linje}^2 / 2A) / V_{linje} + V_{linje} / A$

Stoppkriterium

Stopp vid slutet av sträcka D1 anses detekterat om:

Körtid D1 > $(1-m_1) * \text{minkörtid D1} + m_1 * \text{körtid med broms på D1}$, där $0 < m_1 < 1$

samtidigt som

Körtid D2 > $(1-m_2) * \text{minkörtid D2} + m_2 * \text{körtid med acc på D2}$, där $0 < m_2 < 1$

Vi har använt $m_1 = 0,8$ och $m_2 = 0,6$

Korta blocksträckor

Om längden på sträcka D1 respektive D2 är så korta att man inte hinner bromsa/accelerera inom respektive sträcka modifieras samband för körtid på sträcka D1 och D2 till:

Bromstid: $\text{Sqrt}(2*L1/B)$

respektive

Accelerationstid: $\text{Sqrt}(2*L2/A)$

vilket kan användas i stoppkriterierna ovan.

Beräkning av linjehastighet

Tågets linjehastighet V_{linje} uppskattas som

Min {banans STH på blocksträckan, tågets STH},

där tågets STH skattas som medianen av tågets hastighet på alla blocksträckor där banans STH ≥ 100 km/h.

Medelhastighetskriterium

Ett kompletterande kriterium (som behövdes i enstaka fall) var att stopp även detekteras om:

Medelhastighet på blocksträckan $< 0,25 * \text{tågets STH på blocksträckan}$

Stopp som inte görs i slutet av en blocksträcka

I standardfallet görs stopp i slutet av en blocksträcka så att bromsförlopp hamnar inom en sträcka och accelerationsförlopp hamnar inom efterföljande sträcka. Vi noterade (vid granskning av GPS-signal) att det även förekom stopp inom en blocksträcka så att större delen av både inbromsning och acceleration hamnar inom en och samma blocksträcka. Dessa stopp kan fångas upp genom medelhastighetskriteriet ovan. Vi använde även en modifiering av stoppkriteriet ovan genom att om sträckans körtid var så lång att den kan inrymma både en start och ett stopp så registrerades ett stopp.

Kalibrering mot GPS-data

Genom att vissa tåg har GPS-registreringar av position/hastighet har detta kunnat användas för att finjustera och kvalitetsgranska algoritmer och kriterier för stoppdetektion som bygger på TPOS-registreringar av signalpassager. Successiva förbättringar har gjorts tills en tillräckligt bra matchning har erhållits. Vid enstaka tillfällen detekteras stopp med TPOS-datat som inte motsvaras av verkliga stopp, och vice versa. Uppskattningsvis är detta problem mindre än 10% av totala antalet detekterade stopp.

Filtrering av tåg

Vid sammanställning av antal stopp har följande tåg filterats bort:

- Resandetåg
- Tåg som går mindre än 10 km på sträckan
- Tåg med TRV som registrerad operatör

Brister i TPOS-data och kompensation av detta

Data som varit underlag för studien har varit behäftade med en del brister och stort arbete har lagts

på att på olika sätt kompensera för detta.

Datakällor:

Från TPOS: Tekniskt Signal-ID, tågnummer, tidpunkt för händelser

Från GPS-data: Tågnummer, tidpunkt, position (longitud/latitud)

Från BIS: Officiell signalbeteckning, signalposition (bandel/kilometer/meter), översättning longitud/latitud till bandel/kilometer/meter

En av TPOS funktioner är att "översätta" det tekniska signal-ID som används i tågledningssystemen (EBICOS, TMS, ARGUS) till de officiella signalbeteckningar som används i BIS. Denna översättning mellan signalidentiteter har dock stora brister och i många fall saknas uppgift i TPOS och vilken BIS-identitet som en viss signal har. För att återskapa denna koppling använder vi i denna studie GPS-registreringar från de tåg som har GPS. Genom att matcha tidpunkter för signalpassager enligt TPOS med GPS-registrerad position från tåg och signaler och deras positioner enligt BIS återskapades en koppling mellan signalhändelse (enligt TPOS) och vid vilken signal (enligt BIS) som registrerat händelsen. Som slutlig position för en händelse (för beräkning av t.ex. medelhastighet inom ett block) används position registrerad från GPS då det gav bättre värden än om position från BIS används.

TPOS innehåller flera olika händelser, t.ex. tidpunkt då blocksträcka beläggs ("E-händelser") och tidpunkt då blocksträcka lämnas ("F-händelser"). F-händelser visade sig vara belagda med en slumpvis fördröjning och kunde inte användas. Endast E-händelser används alltså som passagertidsregistrering.

Även E-händelser från TPOS verkar ha en mindre slumpmässig fördröjning, vilket i vårt fall yttrar sig genom att gång gångtiden på en blocksträcka blir för lång och för kort på en annan och de beräknade medelhastigheterna på sträckorna pendlar onormalt och blir för hög på en sträcka och för låg på en annan. Detta var särskilt tydligt på korta blocksträckor (t.ex. inom driftplatser). Detta kompenseras genom att gångtid "flyttas" från en sträcka till en intilliggande så att medelhastigheten jämnas ut på ett relevant sätt.

Filtrering av stopp

I vissa fall registreras stopp vid två mycket närliggande signaler. Detta kan t.ex. vara fallet om ett tåg först stannat vid en infartssignal till en driftplats och sedan vid efterföljande mellansignal. Om avståndet mellan två detekterade stopp är mindre än 2 km betraktas dessa som ett stopp, eftersom tåget inte kan komma upp till linjehastighet mellan stoppen.

Bilaga 2: State-of-the art inom målpunktsstyrning och förarstödssystem

Målpunktsstyrande system i forskningslitteraturen

Detta avsnitt är en översikt av beskrivningar av målpunktsstyrande system som man kan hitta i forskningslitteraturen. Beskrivningen innehåller endast system som är "connected", dvs som är byggda för en koppling mellan trafikledning och lokförare, eftersom "unconnected" system inte är att betrakta som målpunktsstyrande utan endast som förarstöd. Sammanfattningen bygger på rapporten [3].

De enda målpunktstyrande system som till vår kännedom är införda i reguljär drift är CATO på Malmbanan i Sverige och Automatikfunktion (AdmiRail) i Lötschberg Basis Tunnel i Schweiz.

Computer Aided Train Operation (CATO)

CATOs mål är energieffektivitet och att optimera kapaciteten i nätverket. Visionen för systemet är att inga tåg ska behöva stanna vid en signal på sin planerade rutt.

CATO består av två delar, CATO-TRAIN och CATO-TCC (Traffic Control Centre). Delarna sammanlänkas genom en GPRS-koppling via GSM-R. Tåget systemet skickar position, hastighet och prestandadata till CATO-TCC. Utifrån den operativa tidtabellen beräknar CATO-TCC målpunkter (tid, position och hastighet) och sänder målpunkter tillbaka till tåget. Det fordonsbaserade systemet beräknar då det effektivaste körsättet för att uppnå målpunkterna och ger föraren hastighetsförslag som minimerar energiåtgång.

Förargränssnittet innehåller all information som föraren behöver för att förstå och tolka målpunkter och köranvisningar. Skärmen kan vara en fristående display integrerad i förarbordet, men avsikten är att den också ska kunna integreras med en ERTMS / ETCS standard display, med några mindre ändringar. Informationen som visas innehåller position för tåget, aktuell hastighet, målhastighet, lutningar, kommande möten, med mera. Data om tågets längd och vikt hämtas ur Trafikverkets system, men kan också uppdateras av lokföraren. CATOs förargränssnitt illustreras i [Figur 15](#).



Figur 15: CATO:s förarränsnitt och installation i förarbrord.

CATO-TRAIN fångar i realtid upp fordonets position och hastighetsdata. I Malmbaneimplementationen hämtas data från GPS, men det skulle även kunna vara från odometer eller ERTMS-baliser. CATO-TRAIN känner också till tågparametrar såsom tågprestanda, vikt, längd och STH.

CATO-TCC data inkluderar tågplanen (för alla tåg), rutter, och en spårdatabas. Utifrån tågledningens realtids-tidtabeller skapar CATO-TCC målpunkter som kan vara optimerade inom de gränser som tågledare anger och tågplanen tillåter. TCC förmedlar sedan målpunkter (tid, position, hastighet) tillbaka till tågen.

CATO-TRAIN använder målpunkterna från CATO-TCC mål för att beräkna optimal hastigheten till nästa mål. Systemet är dynamiskt och gör kontinuerlig uppdatering inom de ramar som anges i tidsplanen.

Systemet är inte säkerhetskritiskt utan kan ses som ett lager över befintlig signalering, ATP och ERTMS. Om kommunikation avbryts mellan tåg och TCC kan CATO-TRAIN fortfarande ge köranvisningar utifrån tillgängliga statiska tidtabellsdata. Systemet har införts fullt ut LKABs malmtåg på Malmbanan. Uppmätta energibesparingar är i storleksordningen 15-20%.

För mer information, se [7].

AutomatikFunktion / AdmiRail (AF)

AutomatikFunktion (AF) är det system som Thales köpt från Systranis som en del av sin installation av Lötschberg Basis Tunnel i Schweiz, vilken öppnades under 2007.

AF byggdes för den 35-km långa Lötschberg Basis Tunnel, varav ca 21 km är enkelspår utan mötesspår. En grundläggande funktion i AF är att lösa spår konflikter, i syfte att undvika stopp i tunneln, minimera tidsåtgång, tjäna tid i händelse av konflikt, uppnå fritt flöde i tunneln.

För att uppnå dessa mål ger AF-systemet dels en rekommenderad tågordning genom tunnelns

enkelspåriga sektion, och dels en rådgivande hastighetsrekommendation för förare som närmar sig det enkelspåriga avsnittet så att kapacitetsutnyttjandet av enkelspårssträckan maximeras.

För att beräkna den rådgivande hastigheten, använder AF-systemet följande indata: tidsplan, tågvägar, tågidentitet och position, tågdata (vikter, längder, makt, etc.), uppgifter i tågledningssystemet och förreglingsstatus för tågvägar.

Med hjälp av ovanstående data, beräknar AF den optimala hastigheten för varje tåg som närmar sig den enkelspåriga tunnelsektionen och skickar den till installationen på tåget, som i sin tur presenterar hastighetsrekommendationen som ett textmeddelande på ETCS-enhetens display. Textmeddelandet anger antingen rekommenderad hastighet eller högsta tillåtna varvtal. Den rekommenderade hastigheten avser endast nuet. Det finns ingen information om framtida rekommenderade hastigheter.

Källor för statiska data är:

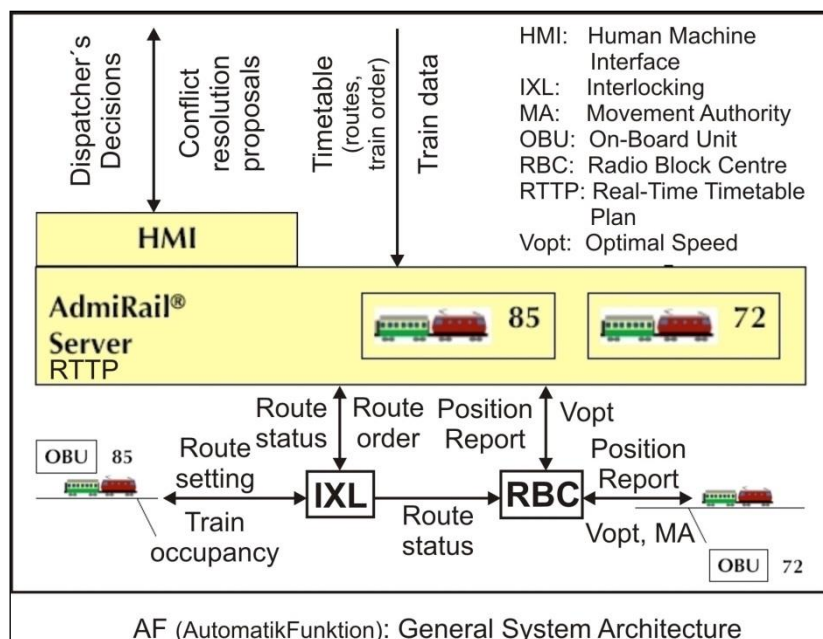
- Tågledningssystem: tidsplan, vägar, tågidentifierare
- RBC och andra BLS-system: dynamiska tågdata. Normalt matas inga data in manuellt. Tågdata (såsom vikter, längder, makt och andra egenskaper) är mer eller mindre olika för varje tåg.

Källor för dynamiska uppgifterna (i realtid):

- Förreglingar: status för tågvägar
- RBC: kontinuerligt uppdaterade uppgifter om tågnummer, position och hastigheter som krävs för ETCS
- Position/tid vid passage av blockgränser.

Hittills är AF:s enda installation i och omkring Lötschberg Basis Tunneln på BLS-järnvägen i Schweiz. Tekniken kan tillämpas på annat håll. Ett grundkrav är kontinuerliga, exakta tågpositionsdata som tillhandahålls av ETCS - men tekniken kan användas med något annat system som kan ge dessa sådana uppgifter. Särskilda problem som rapporterats har varit relaterade till dålig kvalitet på uppgifter om tågets sammansättning och tågtyp.

Systemet är i skarp drift.



Figur 16: Arkitekturöversikt för AF

Driving Style Manager (DSM)

Driving Style Manager (DSM) är en del av Bombardiers EBI Drive 50. Systemet ger rekommendationer till föraren om hastighet, acceleration och retardation för att minimera den energi som behövs för att köra tåget med en viss tidsplan.

DSM ger föraren rekommenderad/aktuell dragkraft, rekommenderad/aktuell hastighet och förseningsinformation. Bombardier föredrar att visning av körrekommendationer integreras i standard ETCS-displayen.

En förinstallerad omborddatabas innehåller ett digitalt "route atlas" (inklusive hastighetsprofiler, lutningar, tunnlar och kurvor) och tidtabellen (tågvägar och tidtabeller). Basstationen kommunicerar uppdateringar till "route atlas" och även tillfälliga ändringar i tidtabellen till den inbyggda enheten via GSM, SMS eller GPRS (alternativt även GSM-R, VHF, WLAN).

Den inbyggda enheten innehåller också tågdatabas (längd, vikt, lokegenskaper, högsta hastighet och acceleration, rullmotstånd och dragkraftskurva). Grundläggande lok- och tåguppgifter lämnas av tillverkaren. Faktiska data, såsom tåg vikt och längd, kan anges manuellt av föraren.

I Bombardiers standardlösning, är GPS tillräckligt för positioneringskrav. Om högre noggrannhet eller bättre tillgänglighet krävs (t.ex. i tunnlar), kan tågmonterade sensorer tillhandahållas.

Bombardier planer för förbättring av DSM inkluderar hantering av tillfälliga eller dynamiska hastighetsangivelser och signalinformation; företagets fordon kommer snart att uppgraderas för att behandla sådana uppgifter.

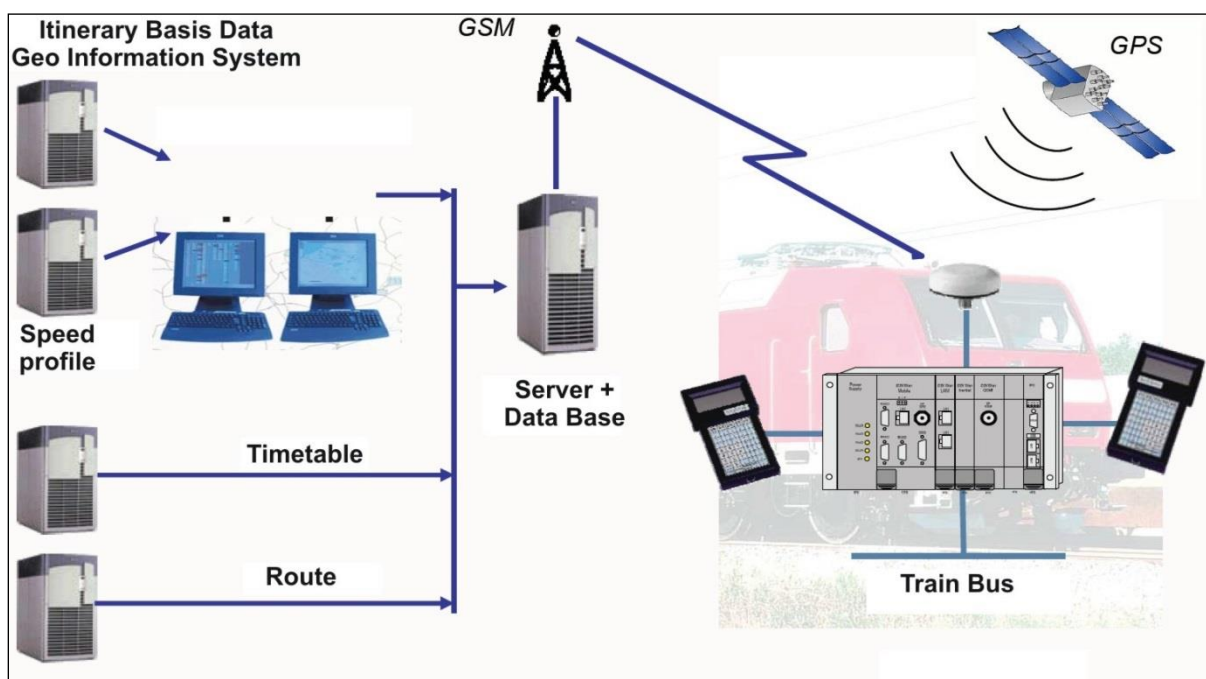
Tester av DSM har utförts i Schweiz på Zürich - S:t Gallen linjen 2001, där bättre tidtabell följsamhet och mindre energiförbrukning observerades. DSM har också provats som en del av EBI Drive 50 på SNCB i Belgien och på ett RENFE lok i Spanien. Systemet uppges fungera lika bra med EBIStar 1000 onboard-enheten som är kopplad till sensorer för att upptäcka onormal bränsleförbrukning.

Bombardier noterar ingen särskild skillnad i energibesparing mellan länder eller typer av lok

(el/diesel) och säger att besparingar har bekräftats vara upp till 20%.

DSM och dess underliggande delar har också utvecklats inom EU-forskningsprojektet Railenergy (2006-2010). Algoritmen för energieffektiv körning har testats i en demonstrator och specifikationer för körstils-förarstödsystem har utvecklats.

DSM tillvägagångssätt är intressant eftersom det är utvecklat som extrautrustning för lok som säljs över hela världen. Detta till skillnad från de flesta andra förarstödsystem som utvecklats med fokus på ett visst land.

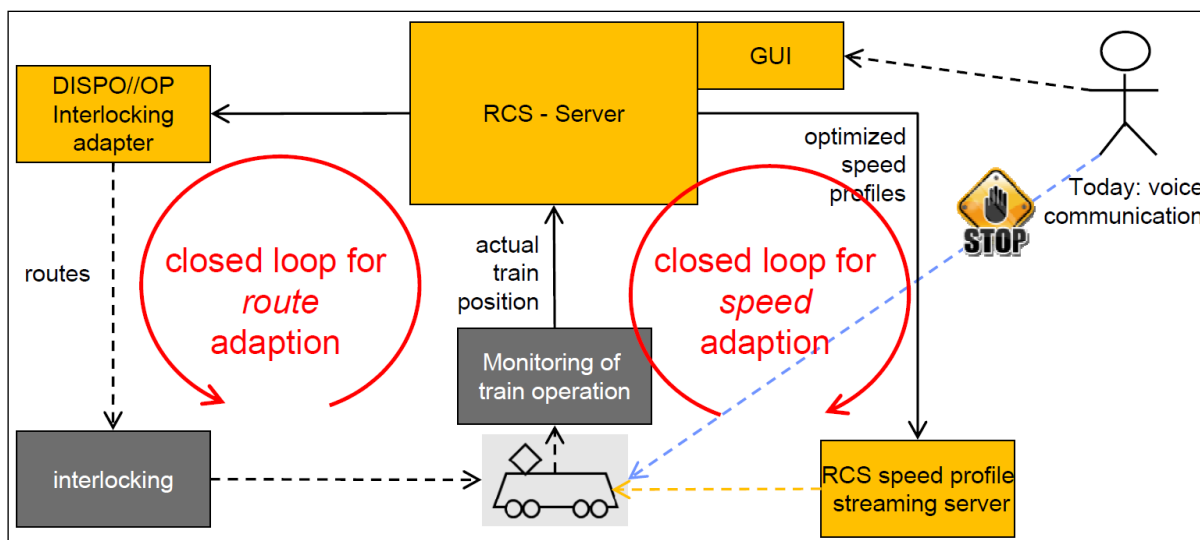


Figur 17: Arkitekturöversikt DSM

Adaptive Lenkung (ADL)

Adaptiv Lenkung (ADL) är det system som SBB är utvecklats som en efterföljare av FARE systemet (se nedan) för att täcka hela järnvägsnätet med hastighetsråd till förare. Med hjälp av "gröna vågen"-konceptet, är dess främsta mål att uppnå bra trafikflöde som i sin tur leder till optimerat kapacitetsutnyttjande, stabil tidtabell och energibesparingar.

Baserat på information om aktuell tågvägläggning, ska RCS (Rail Control Centre, det vill säga den TMS i bruk på SBB) kontinuerligt beräkna den optimala hastighetsprofilen för varje tåg och sedan skicka hastighetsråden direkt i förarhytterna (se [Figur 18](#)). Eftersom systemet är fortfarande under utveckling, finns det många öppna frågor och alternativa lösningar, särskilt de som rör kommunikation samt förargränssnitt (se [Figur 19](#)).



Figur 18: ADL som en del av tågledningsprocessen vid SBB



Figur 19: Möjliga förargränssnitt till ADL (till vänster: smartphone, till höger läsplatta).

FARE - Real-time rescheduling

Omplaneringen i realtid är baserat på "Global Service Intention" (GSI), ett uttalande om den tjänst som SBB avser att tillhandahålla passagerare på varje par av origin-destination i järnvägsnätet. GSI är grunden för den publicerade tidtabellen och för alla anslutningar. När en störning inträffar, är målet att fatta beslut om omplanering av tåg för att kunna uppfylla GSI i största möjliga utsträckning.

Det är noterbart att det finns många likheter mellan det tillvägagångssätt som beskrivs här och med strategin för realtidsomplanering som utvecklas inom FreeFloat-programmet vid Deutsche Bahn (se beskrivning av FreeFloat).

Varje tåg motsvarar alltid en tidtabellslinje som kan illustreras i en tid-sträcka-graf. Föraren tillåts att köra ett visst antal sekunder före eller efter tidtabellslinjen, vilket illustreras som ett tidtabellsband centrerat kring tidtabellslinjen. Så länge tåget stannar inom tidtabellsbandet, anses det vara i tid. Om tåget lämnar detta toleransband, beräknas en ny tidtabell för den och de anslutande tågen.

Innan tågen kan omplaneras måste beslut fattas om de drabbade anslutningarna. Hittills har besluten fokuserat på huruvida en anslutning ska bevaras eller om den ska brytas. Med GSI som grund för omplanering, baseras beslutet hur man ändrar anslutningar och omplanerar tågen i realtid på hur man ska uppfylla hålla GSI så mycket som möjligt för alla berörda OD-par. För att uppfylla GSI, kan

tågledningen exempelvis besluta att:

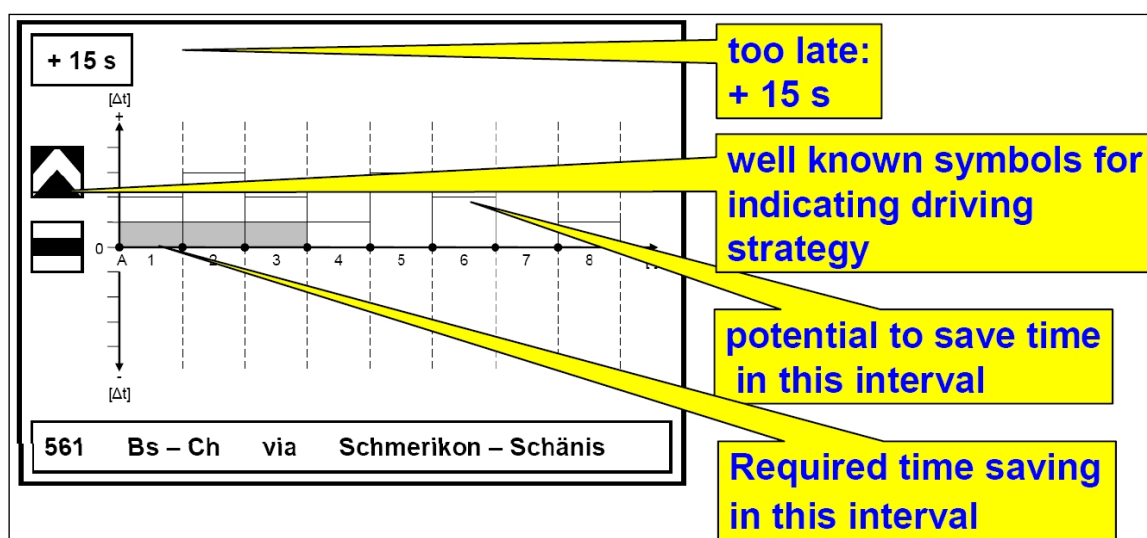
- Hålla ett tåg för anslutning av passagerare,
- tilldela passagerare till en nytt anslutande tåg (kanske inte på samma station),
- anordna en ersättningsbuss eller (mer sällan) göra ett oplanerat stopp med ett tåg.

Beslut om ändring av anslutningarna tar allmänhet hänsyn till antalet passagerare på de olika OD-paren. I den aktuella versionen av realtidsomplanerings-systemet, bestämmer trafikledare manuellt hur man ändrar anslutningar för att upprätthålla GSI (ETH Zürich arbetar för att automatisera dessa beslut). Omplaneringssystemet genererar sedan automatiskt en ny tidtabell för alla drabbade tåg.

Baserat på GSI och den uppdaterade anslutningsplanen, finns en interaktiv kontroll algoritm (ICA) som genererar den nya tågplanen i två steg:

- På makronivå genererar ICA en tidtabell som tar hänsyn krävd körtid, anslutningar och headways.
- På mikronivå, använder ICA den uppdaterade makrotidtabellen och hittar konfliktfria tågvägar som respekterar de säkerhetsbegränsningar som finns inbyggda i signalsystemet.

Med täta mellanrum, dvs ungefär med intervall 2-5 minuter, beräknas en ny konfliktfri tidtabell med hjälp av en Resource Tree Konflikt Graph (RTCG) - en modell som utvecklats av Institutet för Operations Research vid ETH Zürich. Den nya tidtabellen presenteras sedan för föraren av varje tåg och till systemen för passagerarinformation. Positioneringsdata bestäms ombord med ometri och kalibreras med jämna mellanrum genom markbaserad utrustning. I prototypen görs kommunikation via GSM - Public / Roaming.



Figur 20: FARE-systemet

Förarens gränssnitt illustreras ovan (Figur 20). Denna display, som kallas FARE (Fahrregelung, dvs körreglering), har följande information:

- Hur tidigt eller sent (i antal sekunder) tåget för närvarande ligger i förhållande till tidtabellslinjen (som kan vara antingen den publika tidtabellen eller resultatet av realtidsomplanering).
- Symboler som visar den rekommenderade körlägen, vilket kan ha någon av fem värden: stark acceleration, måttlig acceleration, stabil hastighet, måttlig retardation, stark retardation.
- Den maximala inhämtningen av försening, mätt som antalet sekunder inom de närmaste

åtta minutrarnas körtid, om föraren skulle välja att köra så snabbt som möjligt inom de tekniska hastighetsgränserna.

- Det rekommenderade justeringen av antal avvikelse-sekunder inom de närmaste tre minutrarna för att uppnå en gradvis och energibesparande återgång till tidtabellslinjen.

GreenSpeed

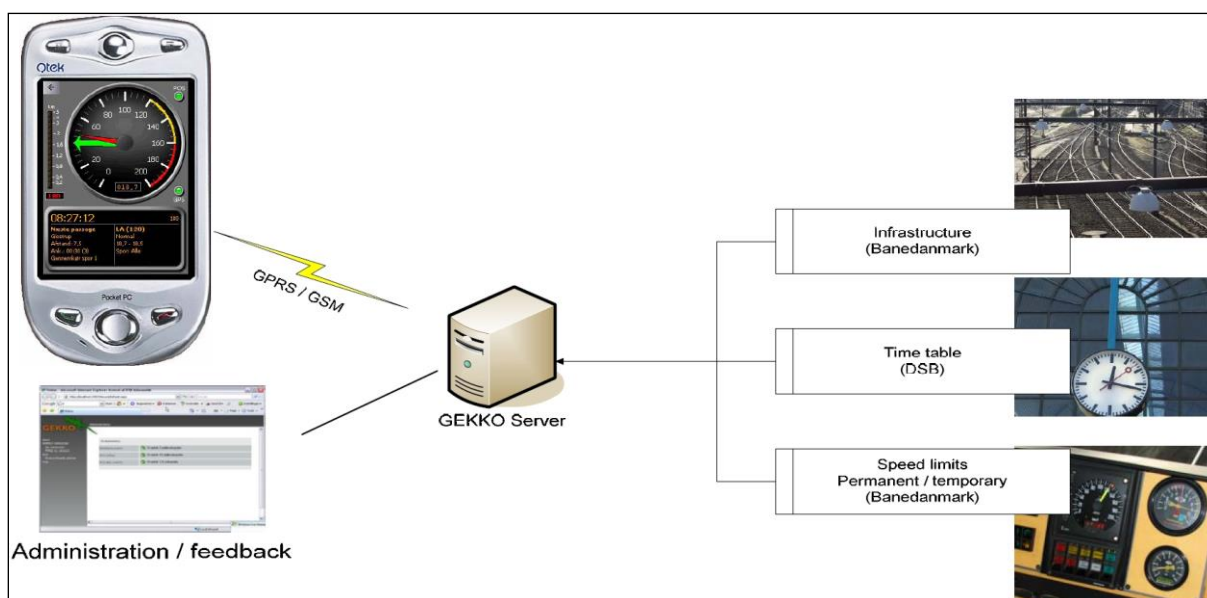
Greenspeed är efterföljaren GEKKO, en dansk akronym som står för guide för energisnål körning och tidtabelloptimering. Det utvecklades av DSB som ett medel att informera förarna om de kör i rätt tidtabellskanal.

En GEKKO server innehöll all nödvändig information om tidtabeller, rutt och tågegenskaper. Föraren hade en handdator (PDA) i vilken han matade in tågnummer. PDA hämtade tidtabell och färddata från servern och beräknade den optimala hastighetsprofilen för att komma fram till nästa station i tid.

GEKKO implementerades på en handdator som placerades framför föraren. Huvuddisplayen var en bild av en hastighetsmätare med två nålar – rekommenderad hastighet i grönt och den verkliga hastigheten i rött. Den tillåtna linjehastigheten och tillfälliga hastighetsnedsättningar visades runt kanten på hastighetsmätarens display, som i ETCS DMI. GEKKO gränssnittet visas till vänster i [Figur 21](#).

GEKKO servern samlade alla nödvändiga data från TCC och infrastrukturförvaltaren. DSB och SNCF har provat enheten. Det är för oss inte känt i vilken utsträckning järnvägen har använt GEKKO.

GEKKOs tillvägagångssätt visade tydligt potentialen av en bärbar enhet kopplad till en central server. Det fanns dock funderingar kring de mänskliga aspekterna av informationsvisningen, som till exempel att föraren ägnade för mycket uppmärksamhet åt att följa de kontinuerligt uppdaterade hastighetsråden.



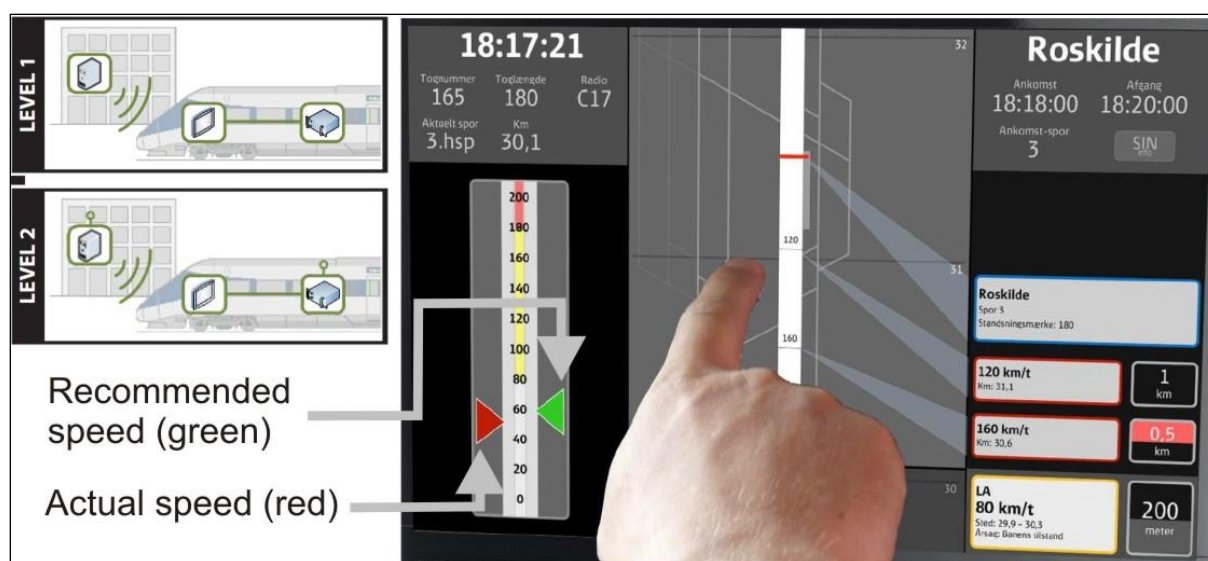
Figur 21: GEKKO systemet

Being the successor of GEKKO, GreenSpeed is available in three different levels according to the way data is delivered:

GEKKOs uppföljare Greenspeed finns i tre olika nivåer beroende på hur data levereras:

- Nivå 0 ("Portabel"): Systemet är begränsat till enbart förarhytten och har ingen integration till andra system. Den är 100% fristående, mycket enkel att implementera och kräver ingen ytterligare hårdvara eller installation. All data matas manuellt in i enheten genom en enkel fil som innehåller all relevant information. Förarens gränssnitt kan vara en Tablet PC, PDA eller liknande, och positionering görs genom en integrerad GPS-mottagare. Denna nivå är avsedd för test och verifiering av systemets nytta.
- Nivå 1 ("Dynamisk"): Denna nivå inkluderar en hårdvaruplattform på tåget för att kontinuerligt hålla en live anslutning till marksidans-serverar och för att leverera positionsdata från den inbyggda GPS-mottagaren. Data levereras trådlöst på begäran från förarhyttsenheten och har därmed alltid uppdaterade data. Förarens gränssnitt kan vara en dator med pekskärm eller liknande och kommunikation sker via inbyggt modem (GPRS / 3G) och / eller WiFi.
- Nivå 2 ("Intelligent"): Servern är ansluten till datakällan system på marksidan för att enkelt ge centralt hanterade uppdateringar av data. Uppdateringar av data (t.ex. tidtabell) kan överföras till tåget i realtid. Plattformen är integrerad med befintliga system på tåget, som ger realtidsinformation om position, aktuellt spår och signaler liksom detaljerad information om tågegenskaper och aktuell status. Denna nivå kan även integreras med ERTMS.

Beroende på nivå, samlas den nödvändiga informationen in från GreenSpeed-enheten själv eller från marksidans server. När en tåγκörning inleds inhämtar GreenSpeed alla relevanta data (tidtabell, hastighetsbegränsningar och tågegenskaper) baserat på aktuellt tågnummer. Från tidtabellen och den förväntade spår användningen, extraheras rätt väg ur infrastrukturdata. Baserat på den aktuella positionen, beräknas kontinuerligt den optimala hastighetsprofilen på GreenSpeed enheten, och den rekommenderade hastigheten och körtyp (t.ex. utrullning) presenteras för föraren. GreenSpeed har ett öppet gränssnitt till hastighetsalgoritmen för att möjliggöra skraddarsyddna anpassade för specifika körstilar och andra kriterier. Om kritiska data är ändrade kommer uppdateringar att sändas till tåget och återspeglas omedelbart i beräkningarna. Vid avslutande av tåγκörningen lagras en fullständig loggfil GreenSpeed-enheten eller sänds till marksidans server. Loggfilen innehåller GPS-positioner och hastigheter för den verkliga körningen samt information om alla händelser och åtgärder. GreenSpeed-systemet innehåller en uppsättning verktyg som kan simulera körningen precis som det inträffade utifrån loggfilen. Verktygen gör det också möjligt att göra avancerade beräkningar och analyser om enskilda körningar eller hela flottan.

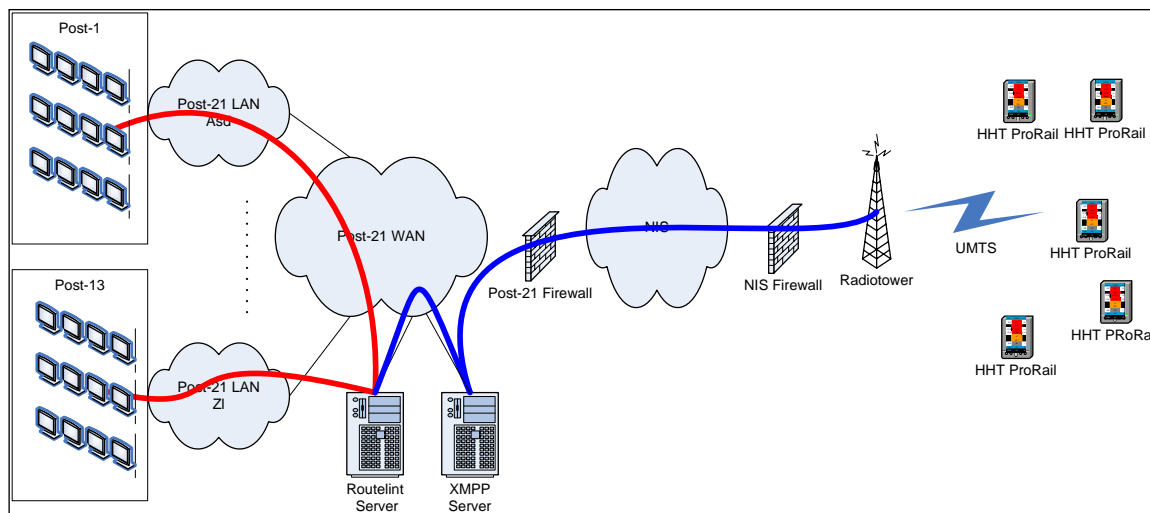


Figur 22 Greenspeed- systemet (till vänster: nivåerna 1, 2; till höger; förarrgränssnittet)

RouteLint

Syftet med RouteLint är att förbättra kommunikationen mellan föraren och trafikledare på ett sätt som gör det möjligt för föraren att köra på ett mer energieffektivt sätt och att förbättra punktligheten. RouteLint har utvecklats av ProRail (infrastrukturförvaltaren för de nederländska järnvägarna).

Systemet har en höghastighetsdatalänk mellan tåg och TCC; men även om det inte direkt anges är troligen GPRS (se [Figur 23](#)).



Figur 23: Teknisk översikt av RouteLint

Data från TCC innehåller planerad färdväg framför tåget och andra tåg på sträckan framöver. Med kunskap om hur läget är framåt, kan föraren justera hastigheten på tåget för att minimera väntetiden vid signaler, t.ex. genom utrullning.

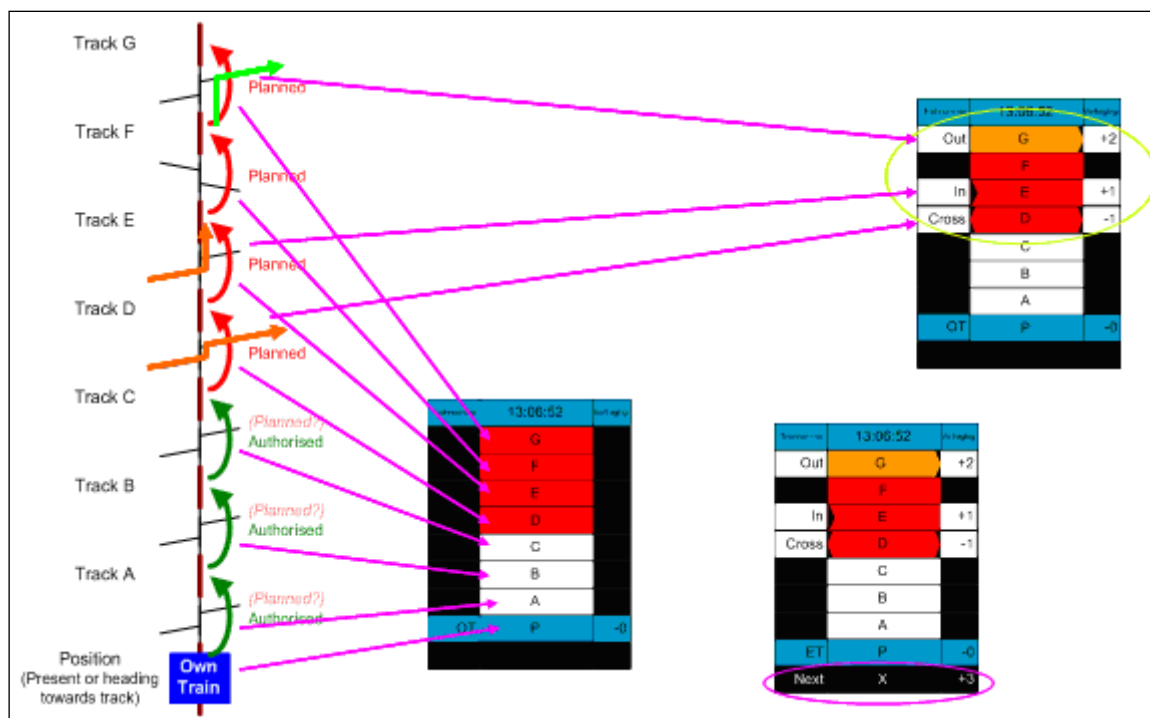
Föraren har en handdator som visar tågen framöver och hur tågväg kommer att läggas, såsom visas i [Figur 24](#).

Alla data kommer från TCC. Ett förslag finns för att utveckla systemet ytterligare, vilket kommer att använda GPS ombord på tåget.

Ett pilottest gjordes 2009 Sedan dess har det inte skett någon betydande vidareutveckling av RouteLint, eftersom ProRail krävde ytterligare utredning av systemets affärsnytta innan någon större investering görs i systemets utbyggnad.

Från pilotinstallationen rapporteras en energibesparing på cirka 2%. Några problem observerades med samtidig data- och röstöverföring, förmodligen på grund av begränsningar i den använda tekniken (den tidens PDA). Ny 4G smartphone skulle tydligen lösa dessa problem.

Lärdomar från pilottillämpning av RouteLint indikerar god kommunikation mellan förare och tågledare, färre oplanerade stopp, ökad säkerhet. Förarnas trivsel visade sig öka genom att förarna känner sig mer informerade och i kontroll.



Figur 24: Förargränssnitt på RouteLint

Zuglaufregelung (ZLR)

Zuglaufregelung (ZLR) är en del av det strategiska forsknings- och utvecklingsprogrammet FreeFloat hos DB Netz AG (den tyska järnvägsinfrastrukturförvaltaren). FreeFloat-programmets syfte är att maximera användningen av infrastrukturkapacitet utan att göra stora investeringar i infrastruktur. Utöver ZLR hanterar Freefloat t.ex. konfliktlösningsskript, längre godståg och utveckling av algoritmer för optimering av trafiken vid banunderhåll.

Huvudsyftet med ZLR är att i realtid vägleda tåg under körning för att undvika konflikter med andra tåg. Tågen styrs så att signaler blir gröna innan tåget anländer. Denna vägledning förbättrar punktligheten genom att minska förseningar som uppkommer vid konfliktlösning, mildrar flaskhalsar och minskar energiförbrukningen.

Tillvägagångssättet går således utöver befintliga metoder för energibesparing, som vanligtvis inte utnyttjar information från trafikledningssystem (TMS) och därmed kan uppnå begränsade energibesparingar genom att använda endast den publicerade schemats återhämtningstid när tåg är i tid.

ZLR bygger på automatisk detektering konflikter och halvautomatisk konfliktlösning (omplanering). Konflikter upptäcks upp till 30 minuter i förväg. Även om det bara finns risk för konflikt genomförs omplanering för att säkerställa att konflikt inte uppstår. Det innebär att omplanering och kommunikationen av den nya tidsplanen till förarna via ombord-enheten inte inträffar alltför ofta.

I början av omplaneringsprocessen finns en operativ bufferttid mellan tågen. Dessa bufferttider måste vara mindre än de bufferttider som anges i den publika tidtabellen och måste kalibreras genom tester. Efter varje omplaneringsprocess, vilket resulterar i nya tider för passage av viktiga punkter såsom stationer och korsningar, kan realtidstidtabellen optimeras ytterligare för passagetider vid mellanliggande punkter för att spara ytterligare energi.

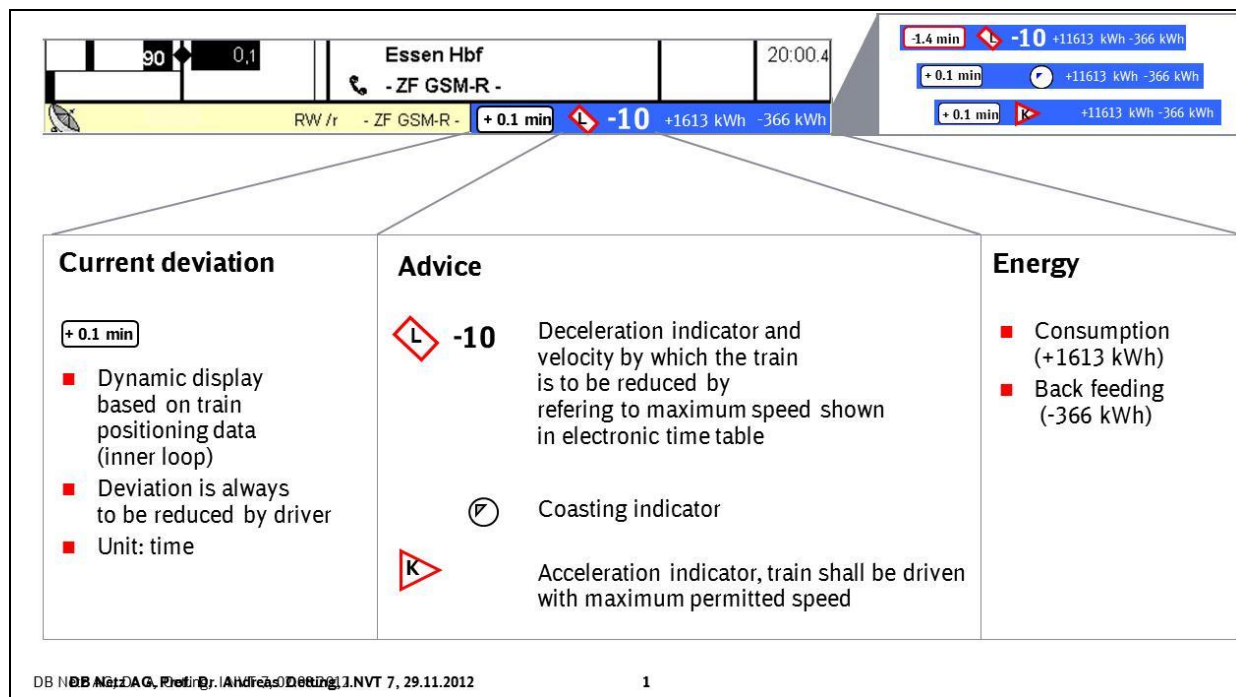
TMS-komponenten i ZLR beräknar och skickar automatiskt en optimerad tidtabell (som en tid/positions bana) via SMS över GSM-R till föraren, baserat på den beräknade konfliktlösta tidtabellen. Den kodade tidtabellen rekonstrueras av det inbyggda komponenten i ZLR och

körrekommendationer visas för föraren på EBUa systemet (se [Figur 25](#)). Ombordsystem (t.ex. odometrar, ERTMS baliser, GPS) informerar kontinuerligt ombord-enheten om tågets position.

Köranvisningarna som visas på EBUa består av:

- aktuell avvikelse från de råd (rekonstruerade tid-position-banor) och
- rådgivning som "minska hastigheten genom utrullning" eller "kör med högsta tillåtna hastighet".

Så länge föraren håller sig inom den tillåtna avvikelsen, är han fri att besluta om sin körstrategi.



Figur 25: Förargränssnitt på ZLR

ZLRs reglerloop fungerar så här: när avvikelser från den omräknade tidtabellen uppstår, reagerar föraren med hjälp av att avvikelseinformationen visas (inre kontroll-loop). Om föraren inte klarar av att respektera de begränsningar, måste en ny omplanering utföras i TMS (utanför ZLR systemet - yttre kontroll-loop). Den inre slingan agerar mycket oftare än den yttre. Resultaten från den yttre loopens omplanering överförs automatiskt via GSM-R till det fordonsbaserade systemet som nya rekommendationer.

Detta tillvägagångssätt skiljer sig från de flesta energisparande metoder, som har följande brister jämfört med ZLR koncept:

- De tar inte hänsyn till andra tåg som kan påverkas av eller kan påverka ett tåg som kör annorlunda än prognostiserat.
- De kräver kontinuerlig omdefiniering av körrekommendationer.
- De ger ingen frihet för föraren och ger honom därmed ingen chans att tillämpa sin erfarenhet av att hantera nuvarande förhållanden (ZLR s tillåtna avvikelse ger denna frihet).

Värt att notera om ZLR är att, genom att det är baserad på omplanerad tidtabell, det fungerar även om tågen inte kör enligt publika tidtabellen. Den metod tillåter också att man kan dra nytta av

förarens erfarenhet av att hantera nuvarande förhållanden, som väder och tågets aerodynamik.

ZLR är för närvarande i en förbättringsprocess. Övergripande mål är att också göra det möjligt för alternativa ombord-enheter och mobila enheter för att ta emot körrekommendationer.

Järnvägsoperatören ska ha egen frihet gällande förargränssnitt. Även alternativa kommunikationskanaler är utvärderas. Den nya strategin skulle också leda till en mer flexibel fördelning av intelligens mellan TMS och ombordenhet.