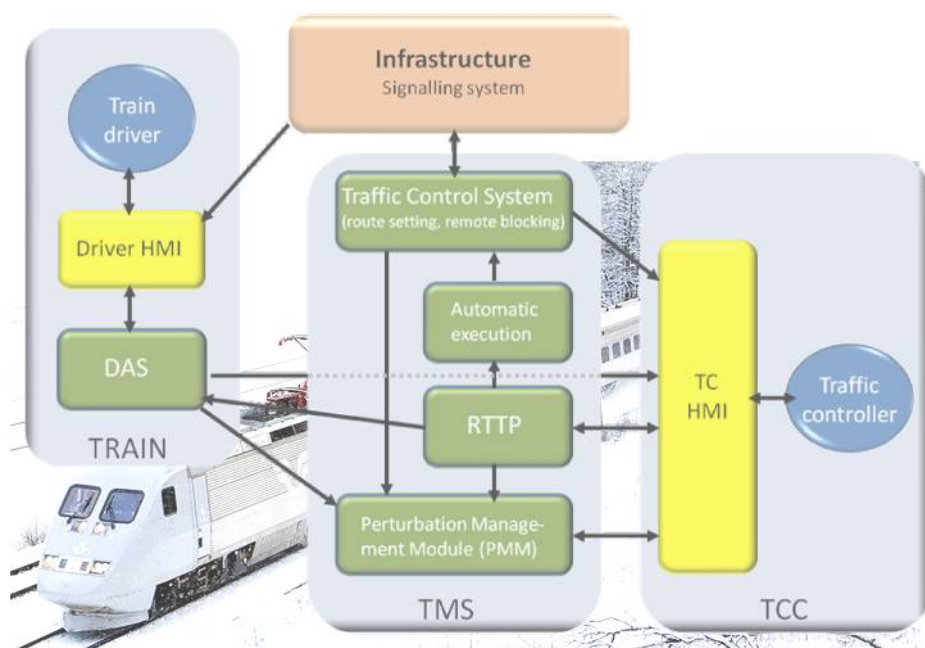


Beslutstöd och automation i operativ tågtrafikstyrning (BAOT)



Slutrapport
2016-05-24

Arne W Andersson
Bengt Sandblad

Innehåll

1	Förord	4
2	Projektbeskrivning, uppdrag	5
2.1	Syfte.....	5
2.2	Projektplan.....	5
3	Inledning – behoven av beslutsstöd	6
3.1	Några projekt om beslutsstöd	7
3.2	Det framtida behovet och kraven.....	7
4	Resultat från tidigare forskning.....	8
4.1	Projektet ONTIME	8
4.2	Projektet framtida tågtrafikstyrning och FOT	9
5	Om automation och beslutsstöd	14
6	Organisationen som helhet	17
7	Situationer där trafikledaren har behov av beslutsstöd.	20
7.1	Några typsituationer	20
7.2	Trafikledares mål med omplanering.....	22
7.3	Hinder för god omplanering	23
8	Generella förutsättningar och krav	24
8.1	Kvalitetssäkrade indata ger valida gångtider.....	24
8.2	Körbara gångtider	24
8.3	Marginaler, robusthet och resiliens	24
8.4	Prioritet, transportuppgift och deadlines	25
8.5	En optimerad ursprunglig tidtabell	25
9	Kvalitet i planen	26
9.1	Viktiga egenskaper hos planen	26
10	Hur bra är dagens omplanering?	28
10.1	Tidigare studier	28
10.2	Orsaker till brister i omplaneringen	28
10.3	Hur åtgärda problemen?.....	30
10.4	En lärande organisation.....	30

11	Interaktionskrav	33
12	Beslutsstöd för lokförare	36
12.1	Begreppet körbarhet.....	36
12.2	Tidigare forskning.....	36
12.3	Befintliga stödsystem, DAS och CGTO	37
12.4	Rekommendationer från tidigare forskning	38
13	Utvärderingar, återkoppling och framtida utveckling	39
13.1	Ett användarcentrerat perspektiv.....	39
13.2	Utvärderingar	39
13.3	Den framtida utvecklingen.....	40
14	Fortsatt arbete	41
15	Samarbeten	43
16	KAJT branschprogram	44
17	Forskningspersonal.....	45
18	Publikationer och referenser.....	46
18.1	Akademiska avhandlingar.....	46
18.2	Artiklar i tidskrifter och på internationella konferenser	46
18.3	Tekniska rapporter	47
18.3.1	Rapporter från EU-projektet ONTIME	47
18.3.2	Andra projektrapporter	48

1 Förord

Syftet med BAOT-projektet (Beslutsstöd och Automation i Operativ Tågtrafikstyrning) har *inte* varit att utveckla nya beslutsstöd, utan att ta fram kunskap om behov, förutsättningar och krav på framtida beslutsstöd. Resultatet av projektet ska stödja den pågående och kommande utvecklingen av sådana.

Sedan tidigare har forskning om nya styrprinciper, användargränssnitt och beslutsstöd för tågtrafikledning bedrivits i samverkan mellan institutionen för informationsteknologi, Uppsala universitet och Trafikverket. År 2015 presenterades en slutrapport från denna forskning: Sandblad B, Andersson AW, Tschirner S.: *Framtida tågtrafikstyrning. Sammanfattande forskningsrapport samt slutrapport från FOT-projektet.*

(<http://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/pages/PublikationVisa.aspx?PublikationId=2848>)

Det tidigare forskningsarbetet har resulterat i en kunskapsbas om samspelet mellan människor i olika roller och de tekniska stödsystemen samt i en grundläggande analys av arbetet med att styra tågtrafik. Tillsammans med arbetsgrupper inom Trafikverket har förslag till nya principer och gränssnitt för operativ styrning, ”trafikstyrning genom omplanering i realtid”, tagits fram. Prototyper av de nya styrprinciperna och en ny generation av användargränssnitt har utvecklats.

Grundläggande studier av praktiskt fungerande beslutsstöd för trafikledare har varit en del av denna tidigare forskning. Frågeställningar om krav på och nyttan av algoritmbaserade optimerande beslutsstöd har även studerats inom EU-projektet ONTIME. Slutsatser har dragits från detta arbete för att finna lämpliga svenska ansatser.

Inom projektet BAOT har behov av, och krav på, framtida avancerade beslutsstöd för operativ trafikstyrning studeras, särskilt hur de kan integreras i aktuella svenska koncept för operativ tågtrafikstyrning. Det vid trafikledningen i Boden införda systemet STEG utgör en grund för dessa studier. Det material som presenteras i denna rapport är avsett att utgöra en bas för fortsatt forskning.

Det material som presenteras i denna rapport grundar sig på samverkan med andra forskningsprojekt, de kunskaper som genererats inom vår tidigare forskning samt på analyser och intervjuer genomföra med hjälp av erfarna trafikledare vid trafikledningen i Boden.

Projektet ingår i branschprogrammet KAJT, Kapacitet i Järnvägstrafiken, <http://www.kajt.org/>

Uppsala maj 2016

Arne W Andersson

Bengt Sandblad

2 Projektbeskrivning, uppdrag

2.1 Syfte

BAOT-projektets syfte har varit att utreda förutsättningarna för en högre nivå av automatiserade beslutstöd för trafikledningen genom att identifiera situationer och omständigheter där sådana kan bli aktuella. Vidare syftar projektet till att undersöka villkoren för implementering av sådana automatiserade beslutstöd genom att på ett generellt plan kartlägga hur sådana beslutstöd kan och bör realiseras enligt etablerad kunskap inom vetenskap och praktisk erfarenhet.

2.2 Projektplan

Projektet BAOT utförs av Uppsala universitet på uppdrag av Trafikverket och är ett projekt inom branschprogrammet KAJT. Kontaktperson på Trafikverket är Peter Hammarberg.

Projektet har genomförts i samverkan med KAJT-projektet FLOAT som utförs av Blekinge tekniska högskola (BTH) under ledning av Johanna Törnquist Krasemann.

Uppdraget är enligt projektplanen att utifrån tidigare forskningsresultat, och däri framtagna principer och metoder, vidareutveckla dessa för att stödja Trafikverkets framtida behov när det gäller beslutstöd inom operativ tågledning. Här ingår bl.a.

- Att forska om behovet att automatisera inom operativ tågtrafikledning. Påvisa exempel på behov, samt visa principer och metoder för automatisering i dessa fall.
- Att forska kring behovet av beslutstödjande funktioner inom operativ tågtrafikledning, samt visa principer och metoder för detta.
- Forskningen skall fokusera på tågtrafikledningens framtida behov med en generell ansats, dvs. resultaten skall inte vara systemberoende.
- Syfte är inte att nu vidareutveckla befintliga system, utan att specificera och diskutera principer och koncept.
- I möjligaste mån ska man ha en helhetssyn på system och organisation, och inte bara föreslå system som stödjer en enskild aktör.

3 Inledning – behoven av beslutsstöd

Det har sedan lång tid tillbaka pågått en omfattande forskning kring beslutsstöd i tågtrafikstyrning. Den mesta forskningen har handlat om möjligheten att utveckla matematiska algoritmer som kan lösa ett komplext omplaneringsproblem. Den finns en omfattande teoretisk grund för att ta fram algoritmer för problem med resursallokering, vilka potentiellt kan vara tillämpbara för operativ omplanering.

Målet med att utveckla sådana algoritmer är att förbättra kvaliteten och snabbheten i den operativa omplaneringen. I sådana situationer där människan har svårt att hitta bra och optimala lösningar snabbt nog, t ex på grund av problemens komplexitet och tidsbrist, skulle avancerade algoritmer kunna prestera bättre.

Man kan särskilja två olika principiella utgångspunkter för att ta fram algoritmbaserade beslutsstöd. Den ena är för att automatisera och på sikt *ersätta* så mycket som möjligt av de mänskliga operatörernas beslutsfattande och arbete med omplanering och styrning. I förlängningen kan målet till och med vara en total automatisering av hela tågtrafikstyrningen. Den andra är att ta fram sådana system som *stödjer* trafikledaren i de situationer där algoritmerna är bättre på att snabbt hitta optimala lösningar, men att i övrigt överlåta till människan att ta ställning till de framräknade förslagen och ansvara för beslut och genomförande. Självklart kan man också tänka sig kombinationer och mellanting mellan dessa två huvudprinciper.

Historiskt har det visat sig mycket svårt att införa mer eller mindre automatiserade system baserade på algoritmiska beslutsstöd. Orsakerna till detta är säkert flera. Några problem är:

- Det finns ingen tradition av system av sådan art, så de berörda är skeptiska till hela konceptet.
- De försök som gjorts har fallit på att de modeller man utvecklat och de data som fordras för att göra beräkningarna inte varit nog exakta. Då modellerna eller resultatens kvalitet varit får låg har de framräknade lösningarna inte varit giltiga. Algoritmerna har inte kunnat hantera alla de komplikationer som förekommer i praktiken.
- Ibland, åtminstone tidigare, har beräkningstiderna för att få fram resultaten varit för långa och därmed inte fungerat i praktiken. Genom smarta algoritmer och genom att avgränsa problemen kan man nu oftast klara av detta.
- De lösningar som algoritmerna tagit fram har inte varit begripliga för trafikledarna. Då man inte förstår resultaten, och vilka förutsättningar de baserar sig på, har man inget förtroende för dem. Man har ibland uppfattat utfallet av algoritmernas beräkningar som antingen självklara, och då behöver man inga algoritmer, eller som orealistiska, och då ställer de till med mer skada än nytta.
- De system man har haft för den manuella trafikledningen har inte möjliggjort en integrering med avancerade beslutsstöd. Man har inte klarat av att få det till en fungerande helhet i praktiken.

- Organisationen, internationellt ofta med en uppdelning mellan planerande och exekverande roller, gör integrationen svår eller omöjlig.

3.1 Några projekt om beslutsstöd

Flera olika grupper nationellt och internationellt har genom åren arbetat med forskning om beslutsstöd och optimerande algoritmer för operativ omplanering. Vi ska här kort beskriva några sådana, men hänvisar till de olika projektens rapporter för mer utförlig information.

Inom CATD-projektet (Computer Aided Train Dispatching) i slutet av 1990-talet gjorde Peter Hellström ett arbete som resulterade i hans licentiatavhandling. Projektet gick ut på att analysera sådana algoritmer som utvecklats av andra forskare, anpassa dessa till svensk tågtrafikledning och utvärdera hur de där skulle fungera som beslutsstöd. Resultatet blev att man teoretiskt kunde klara av det, att det fanns stora problem med modeller och kvalitet i indata, samt att trafikledarna inte såg att det skulle innebära något större stöd för dem i praktiken. Se rapporter från CATD-projektet.

I en sedan länge pågående forskning vid Blekinge Tekniska Högskola har en grupp under ledning av Johanna Törnquist Krasemann arbetat med bl a algoritmer för optimerande operativ omplanering. Deras ansats har varit att utveckla modeller som kan bli fungerande i praktiken samt att se till att dessa kan nyttiggöras för trafikledare. Inom ramen för projektet FLOAT pågår nu denna forskning i samarbete med vårt eget projekt BAOT, vars syfte är att bidra till integrationen mellan optimerande beslutsstöd och den operativa omplaneringen enligt STEG-systemets principer. Se t ex publikationen:

<http://bth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A809425&dswid=7588>.

3.2 Det framtida behovet och kraven

Det finns utan tvekan ett behov av att utveckla sådana beslutsstöd som i praktiken hjälper de framtida trafikledarna i deras arbete. Det handlar då, enligt vår mening, inte om att totalt automatisera beslutsfattandet utan att stegvis utveckla och införa sådana beslutsstöd som fungerar enligt de koncept som styr utvecklingen av andra system för operativ trafikledning i Sverige, dvs i samverkan med de mänskliga aktörerna. Beslutsstöd ska införas och användas där de tillför kvalitet och nytta. Då kommer de att bli accepterade, stödda trafikledarna och bidra till förbättrade prestationer. I annat fall är risken stor att de uppfattas som mindre nyttiga eller störande och inte används i praktiken – så som det ofta blivit historiskt sett.

Vår ansats i forskningen har därför varit att ta fram grundläggande krav på framtida beslutsstöd för tågtrafikledningen som:

- Löser de omplaneringsproblem som trafikledarna verkligen upplever.
- Stödjer den operativa trafikledningen och tågföringen i ett helhetsperspektiv.
- Inte minskar trafikledarnas situationsmedvetenhet, *situation awareness*, utan ser till att de bibehåller kontrollen över omplaneringen.
- Kan integreras i de system de använder för omplanering och trafikledning i övrigt.
- Givet det ovanstående, bidrar till förbättrad kvalitet, snabbhet och utvecklad kompetens för de inblandade.

4 Resultat från tidigare forskning

Förutom de referenser till tidigare projekt som nämnts ovan, finns några andra forskningsprojekt som utgör en grund för vårt arbete.

4.1 Projektet ONTIME

EU-projektet ONTIME avslutades i oktober 2014. Vår forskargrupp har varit mycket engagerad i det arbetet, tillsammans med Trafikverket. Arbetet i ONTIME och slutsatserna för svenskt vidkommande kan kort sammanfattas som följer.

Inom projektet ONTIME lade man ner stora resurser på att utveckla algoritmer för optimerande omplanering och för att skapa generella datastrukturer för sådana system. För att utveckla principer och beslutsstöd för omplanering valde man att skilja mellan två olika typer av störningar:

- Mindre störningar (perturbations), som innebär att trafikledningen har mandatet att planera om utan att man behöver involvera externa parter, t ex järnvägsföretagen. Sådana mindre störningar ska inte innebära några mer omfattande förändringar i trafikeringen, utan har som mål att hantera förseningar och konflikter inom de avtalade ramarna.
- Större störningar (disruptions) som innebär att man måste interagera med järnvägsföretagen och att även deras beslutsprocesser inkluderas. Sådana störningar kan handla om att vända tåg, ställa in tåg, omdirigera tåg, ändra prioriteter eller anslutningar m.m. Här handlar optimeringen inte bara om en optimering av körplaner utan också om järnvägsföretagens resursplanering och optimering, t ex omlopp av personal, lok och vagnar. Denna typ av störningar inkluderar vi nu inte i vårt forskningsarbete.

För de mindre störningarna utvecklade man en särskild modul, PMM (perturbation management module) som kontinuerligt identifierar behov av omplanering, gör omplaneringen och uppdaterar realtidsplanen, RTTP. Som grundprincip ligger PMM och ”snurrar” kontinuerligt och planerar om vid behov. Trafikledarens kan då i normalläget vara ”out-of-the-loop”, men ska kunna gå in och ändra i planen om man ser detta som nödvändigt.

Inom projektet ONTIME kom man inte så långt i arbetet med att verkligen implementera beslutsstöd i en interaktiv miljö. Orsakerna till detta var flera, bl a att man fick lägga väldigt mycket resurser på att utveckla fungerande simulatorer, strukturer för att integrera olika systemdelar m.m. Det system som kom att implementeras var ett batchsystem helt utan interaktivitet. Ett störningsscenario genererades i förväg och en batchvis simulering kunde sedan genomföras. De skapade algoritmerna beräknade kontinuerligt en optimal omplanering som automatiskt genomfördes och det slutliga resultatet kunde i efterhand analyseras. De av oss skapade grundstrukturerna blev således implementerade, se figur 2 nedan, men all interaktivitet samt kopplingen till den mänskliga trafikledaren uteblev i testerna. Några slutsatser om hur beslutsstöden fungerar i verklig operativ trafikstyrning kan man därför egentligen inte dra från försöken inom ONTIME.

4.2 Projektet framtida tågtrafikstyrning och FOT

Inom ramen för projekten FTTS (tidigare forskning) och FOT (avslutat under 2015) har vi inte direkt arbetat med att ta fram krav för optimerande beslutsstöd. Detta gjordes tidigare inom CATD-projektet. Vi har dock tydligt sett ett behov av nya mer avancerade beslutsstöd i vissa situationer. Dessa frågor har överlämnats till projekten FLOAT och BAOT.

För att tydligare förklara skillnaderna mellan de olika ansatserna beskriver vi här kort deras principiella uppbyggnad i följande figurer (fig. 1-4).

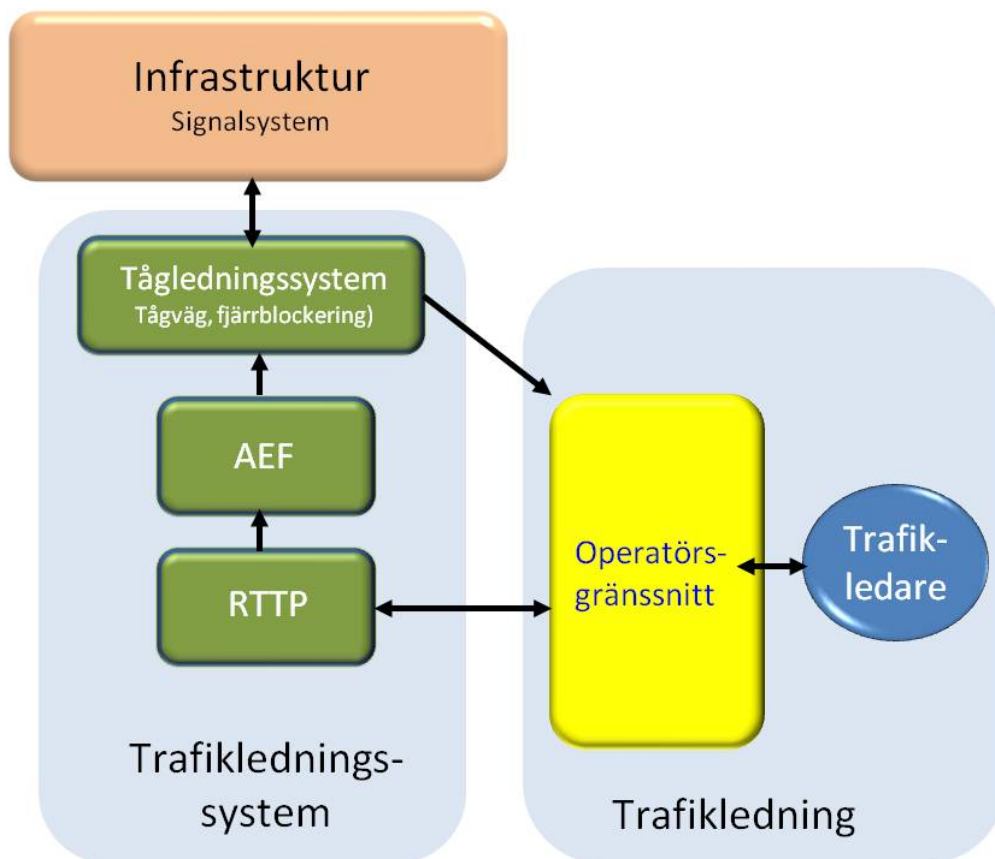
Begreppen RTTP och AEF är centrala i det koncept för operativ omplanering och styrning som vi utvecklat, och kan kortfattat förklaras på följande sätt. Begreppen beskrivs mer utförligt i rapporter från FOT-projektet.

RTTP (real time traffic plan, realtidsplanen)

RTTP är den gemensamma och ständigt aktuella trafikplanen, realtidsplanen, enligt vilken all trafik ska utföras. Det är trafikledarna, som i samverkan med andra aktörer inom den operativa trafikledningen, är ansvariga för att vid behov kontinuerligt uppdatera RTTP. Trafikledarna måste vara ständigt uppdaterade om vad som sker, tidigt kunna identifiera störningar och konflikter, hitta bra lösningar i god tid innan problemen fått besvärliga följder, kunna se effekterna av alternativa lösningar samt kunna fokusera på problemlösning även under störda tillstånd. Informatörer ansvarar för att informera främst passagerarna om trafiken, ändrade planer m.m. Ursprunget till RTTP är den för dagen gällande tidtabellen, trafikplanen. All omplanering ska verka mot en och samma realtidsplan. Trafikplanen ska ha en så hög precision och vara så optimal som förhållandena medger. Den information som planen innehåller ska vara tillräcklig som utgångspunkt för andra aktörers planering.

AEF (automatisk exekveringsfunktion)

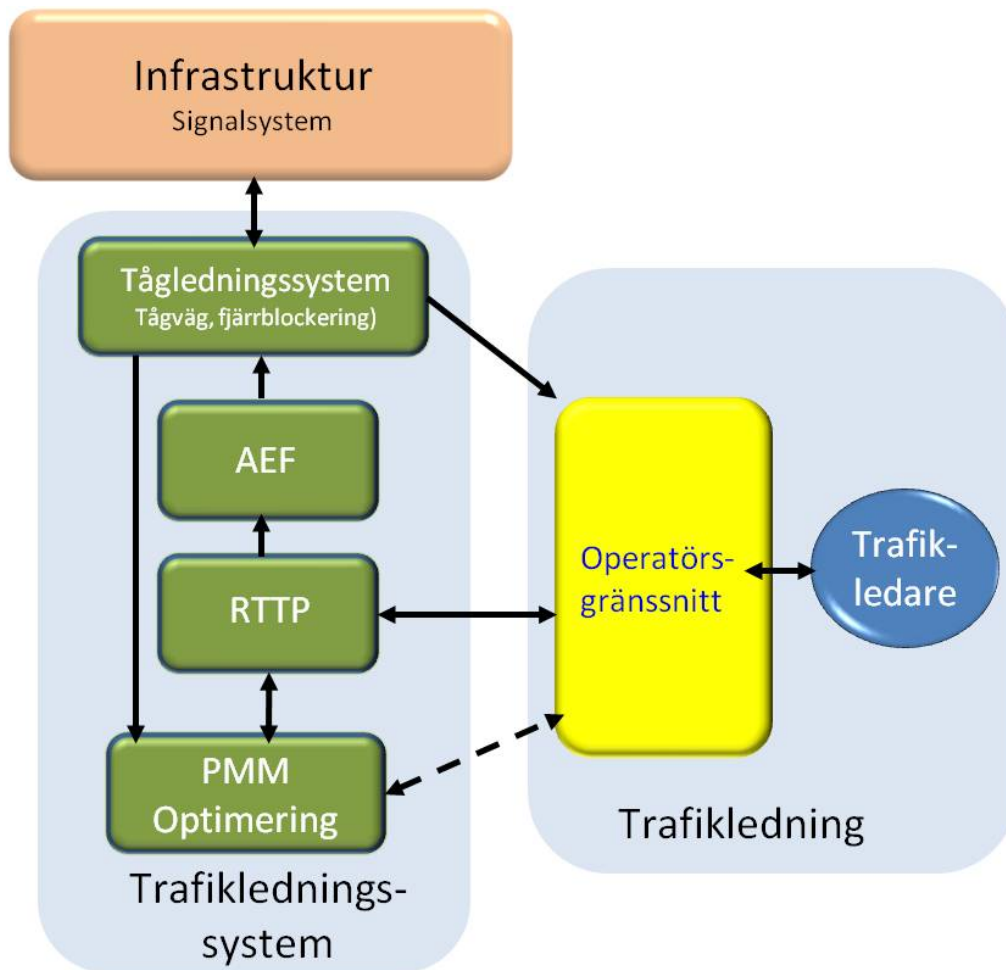
Enligt det framtida konceptet verkställs planen genom automatisk exekvering så nära realtid som möjligt. Omplanering kan ske fram till dess att planen låses för exekvering. Exekveringen sköts av en automatisk exekveringsfunktion (AEF), även kallad planstyrd exekveringsfunktion (PEF). AEF exekverar planen mot trafikledningssystemet (tågledningssystemet) exakt som den är formulerad då den låses, och inget tillåts sedan ändra planen.



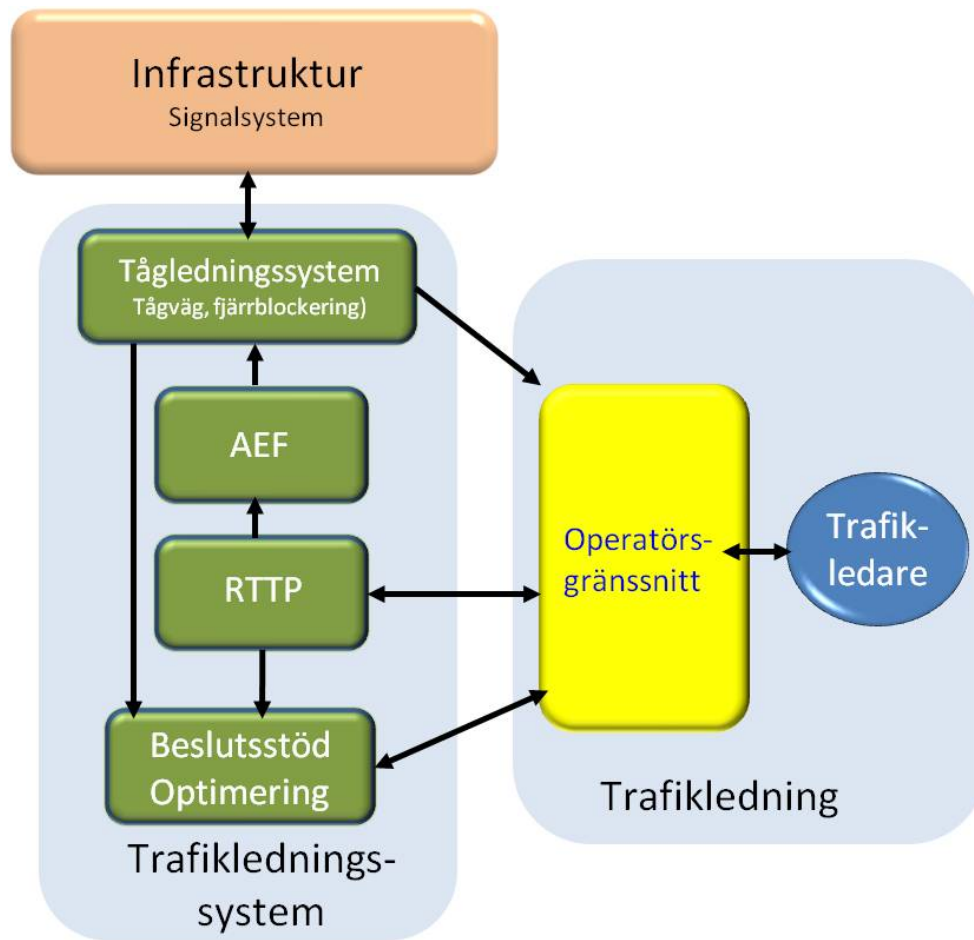
Figur 1. Den grundläggande strukturen i STEG-konceptet, utan separata optimerande beslutsstöd. Det är denna princip som införts i det STEG-system som idag används i t ex Boden. Trafikledaren ansvarar själv med hjälp av de inbyggda hjälpmedlen för den operativa omplaneringen.

Det bör påpekas att STEG redan idag innehåller en hel del beslutsstödande funktioner. Dessa är avsedda att stödja trafikledaren i att följa trafikens dynamiska förlopp, identifiera behov av omplanering, genomföra omplaneringen, se effekterna av alternativa beslut samt att se effekterna av genomförd omplanering. Innehåll och utformning av dessa stödfunktioner framgår av dokumentation av STEG i andra rapporter.

Däremot innehåller STEG idag inte den typ av algoritmbaserade stöd för optimerad omplanering som denna rapport avser att diskutera förutsättningarna för.



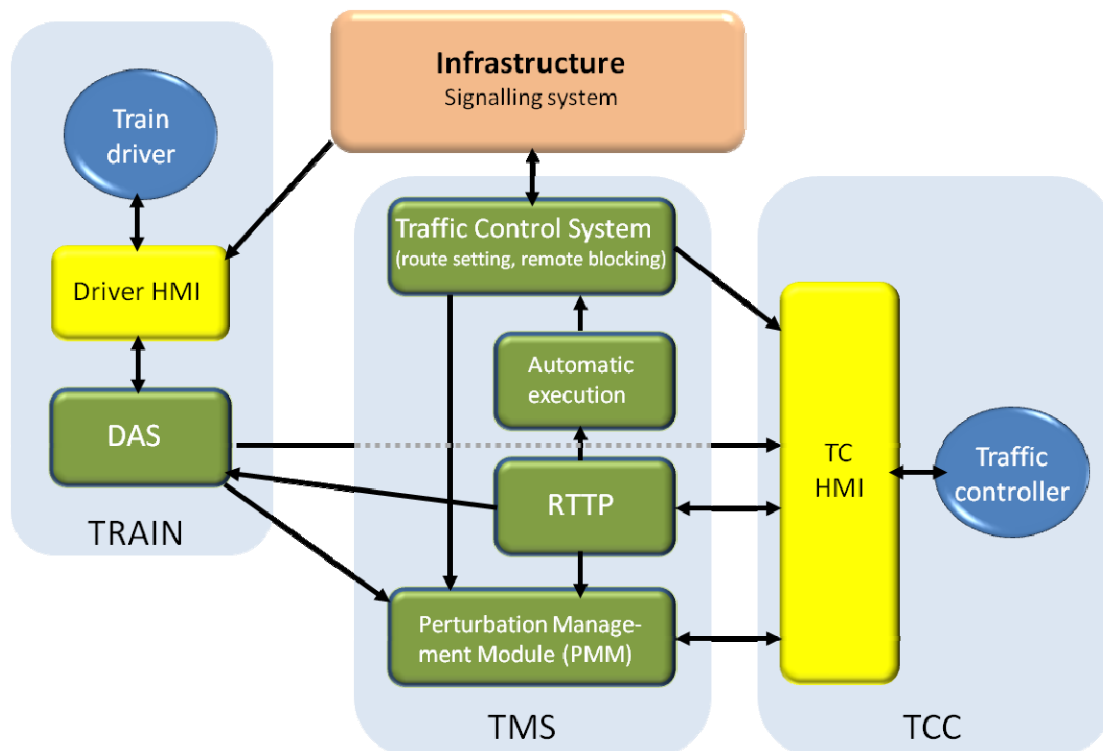
Figur 2. Den principiella strukturen för beslutsstöd enligt ONTIME för små störningar (perturbations) vilket definierats som att besluten kan tas av trafikledningen internt, utan samråd med järnvägsföretagen och inom gällande trafikplan. Den omplanerande och optimerande modulen PMM (perturbation management module) är kontinuerligt aktiv, identifierar behov av omplanering t ex på grund av förseningar eller konflikter, räknar ut en optimal omplanering och verkställer denna automatiskt genom att uppdatera RTTP, vilken senare exekveras på vanligt sätt. Trafikledaren kan eventuellt ingripa och påverka PMM genom att fixera vissa bivillkor, ge prioritet åt vissa tåg, låsa spåranvändningen etc.



Figur 3. Strukturen för beslutsstöd enligt det grundkoncept som FLOAT- och BAOT-projekten arbetar med. Skillnaden mot ONTIME ovan är att beslutsstödet inte automatiskt kan uppdatera RTTP, utan detta sker, som huvudmodell, genom beslut av trafikledaren. Beslutsstödet integreras med trafikledarens system för omplanering.

En viktig aspekt som skiljer sig åt mellan de olika principerna är hur självständigt det optimerande beslutsstödet tillåts arbeta. Blir beslutsstödet mer eller mindre autonomt eller har trafikledaren i alla läget kontroll över situationen, eller något mellanting? I ONTIME-lösningen är grundprincipen att PMM är en autonom och kontinuerligt gående maskin. I FLOAT och BAOT-lösningen är grundprincipen att beslutsstödet ska vid behov stödja trafikledaren med beslut som just då löser det aktuella problemet.

En mer komplett bild av det framtida systemet, då även lokförarna kommer med i loop, har den struktur som visas nedan i figur 4. Här introduceras också begreppet CGTO (Centrally Guided Train Operation). Med CGTO menas att tågen har en dubbelriktad realtidskontakt med trafikledningen så att de dels kan vara ständigt uppdaterade om den gällande realtidsplanen (RTTP), dels att de kan lämna sådana meddelanden om tågets status och framfart som trafikledningen behöver för bättre omplanering i tid. Dessa begrepp diskuteras mer i slutrapporten från FOT-projektet.



Figur 4. Detta är den huvudstruktur vi föreslår för operativ omplanering och trafikstyrning inom BAOT. Det optimerande systemet (algoritmerna) ligger här inte automatiskt ständigt aktivt, utan initieras när så behövs. I figuren är pilen mellan RTTP och PMM enkelriktad, dvs PMM genererar inte automatiskt en ny RTTP som exekveras. Resultaten från algoritmernas omplanering utgör i normalfallet trafikledarnas underlag för förnyad omplanering. Här finns även tågen och lokförarna med i bilden, så att den genererade realtidsplanen (RTTP) hela tiden kan utgöra ett underlag för tågkörningen (CGTO). Kan inte tågen köra enligt plan måste detta meddelas till såväl algoritmer som trafikledare. I vissa situationer kan man troligen hitta lösningar där algoritmerna tillåts vara mer autonoma, vilket vi ska diskutera mer senare i rapporten. Här är inte järnvägsföretagen med i bilden, något som också måste tas med i framtida lösningar.

5 Om automation och beslutsstöd

Våra utgångspunkter för arbetet, som diskuterats kortfattat ovan, innebär att man bör utveckla sådana beslutsstöd som i praktiken stödjer trafikledarna i deras arbete, inte försöker att ersätta dem. Det handlar inte om att totalt automatisera beslutsfattandet och sträva mot en automatisk trafikledning utan att skapa sådana beslutsstöd som fungerar i samverkan med de mänskliga aktörerna. Detta innebär inte att vi ska undvika automatisering, utan tvärt om ska utnyttja automatisering där det fungerar bra i praktiken och där det inte leder till försämrade möjligheter för de mänskliga aktörerna. Vad som kan automatiseras och hur olika slags automation och beslutsstöd ska utformas är delvis situationsberoende. I framtiden, då man har en mer stabil infrastruktur och bättre möjligheter att få hög precision i indata, kan säkert mer avancerade former för automation bli aktuella.

Beslutsstöd kan ses som en form av automation. Beslutsstöd kan antingen vara så utformade att den av algoritmer genererade lösningen automatiskt genomförs, med trafikledarens kunskap och godkännande eller ej, eller bara levereras som en möjlig lösning för trafikledarens eget ställningstagande och agerande. En beskrivning av nivåer på automation har diskuterats av bl a Parasuraman¹ m fl, baserat på forskning redan under 1970-talet. De beskriver följande nivåer från låg (1) till hög (10):

Levels of automation

1. The computer offers no assistance, human must take all decisions and actions
2. The computer offers a complete set of decision/action alternatives, or
3. Narrows the selection down to a few, or
4. Suggests one alternative, and
5. Executes that suggestion if the human approves, or
6. Allows the human a restricted veto time before automatic execution
7. Executes automatically, then necessarily informs the human, and
8. Informs the human only if asked, or
9. Informs the human only if it, the computer, decides to
10. The computer decides everything, acts autonomously, ignores the Human.

En annan intressant forskning om automation inom tågtrafikstyrning har genomförts av bl a Nora Balfe m fl i England. Vi har sett att hennes resultat är mycket relevanta även för svensk trafikstyrning, även om mycket tekniskt och organisatoriskt skiljer sig mellan länderna. En jämförelse mellan svensk och engelsk automation har diskuterats i en publikation gemensam mellan vår forskning och den engelska². Balfe³ studerade engelsk trafikstyrning och hur

¹ Parasuraman R, Sheridan TB, Wickens CD. A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Trans Syst Man Cybern A Syst Hum*. 2000 May;30(3):286-97

² Golightly D, Andersson AW, Dadashi N, Sandblad B, Sharples S, Tschirmer S (2013). A sociotechnical comparison of automated traffic control between GB and Sweden. In: Dadashi et al, ed.: *Rail Human Factors: Supporting reliability, safety and cost reduction*. Taylor & Francis, 2013.

³ Balfe, N., Wilson, J.R., Sharples, S. & Clarke, T. (2012). Development of design principles for automated systems in transport control. In *Ergonomics*, Vol. 55, No. 1, January 2012, 37–54. Taylor & Francis.

planen genomförs bl a med hjälp av s.k. automatic route setting (ARS). Hon kom fram till ett antal rekommendationer om hur man bör utforma beslutsstöd och automation i den operativa trafikstyrningen. Dessa är:

Principles of automation

<i>Principle</i>	<i>Description</i>
Reliable	The automation should function consistently
Competent	The automation should perform tasks correctly given the information that is input
Visible	All decision relevant information for a given situation should be available to the operator
Observable	Automation should provide effective and immediate feedback to the operator allowing him/her to maintain awareness of system state
Understandable	Decisions made by the automation should be understandable to the operator given the current state of the system and environment
Directable	The operator should be able to direct the automation easily and efficiently
Robust	The automation should be able to perform under a variety of conditions, not just normal operating conditions
Accountable	The operator should be responsible for overall performance and therefore in charge of the automation
Proactive Control	The system should support the operator in predicting and controlling ahead rather than controlling reactively
Skill Degradation	The automation should incorporate a method to guard against operator skill degradation

Som en parentes kan det nämnas att man inom Trafikverket i en studie har analyserat det system, STEG, som införts vid trafikledningen i Boden och funnit att alla 10 rekommendationer är uppfyllda där. Detta betyder givetvis inte att man kan nöja sig med detta, utan mer forskning och införandet av nya beslutsstöd måste fortsätta.

I slutrapporten från FOT-projektet diskuterar vi vår ansats, och där säger vi följande:

I det forskningsarbete som vi bedrivit, inom FTTS, FOT m fl projekt, har vi inte hittills arbetat aktivt med att införa någon form av mer avancerade beslutsstöd. STEG-systemet i sig erbjuder ett antal beslutsstödjande funktioner, t ex:

- Konflikter identifieras och visas för trafikledaren i realtid.
- Viktig information om trafikeringssläget, t ex aktuella förseningar och skillnader mellan ursprunglig och aktuella plan, visas tydligt.
- Tågens aktuella och historiska rörelser visas i gränssnittet.
- Information om aktuella minimala gångtider för tåg kan ibland visas.
- Information om planerade och aktuella banarbeten visas.

- Detaljerad tåginformation är tillgänglig.
- De strukturella resurserna som trafikledaren kan utnyttja visas i spårplanen.
- Trafikledaren får omedelbar feed-back på effekterna av försök till omplanering, genom att konsekvenser, i form av nya konflikter, förseningar m.m., visas direkt i gränssnittet.

Det finns idag inga färdiga och i praktiken utvärderade förslag till utformning av framtida beslutsstöd. Det är viktigt med fortsatt forskning kring detta. För den fortsatta utvecklingen av beslutsstöd, som kan integreras i de operativa systemen, ser vi följande aspekter som viktiga:

- De beslutsstöd som utvecklas och införs bör vara kongruenta med det grundläggande konceptet som STEG-systemet bygger på, dvs att stödja och höja kompetens och prestation hos de mänskliga operatörerna.
- Beslutsstödjande funktioner måste integreras i trafikledarnas gränssnitt och vara utformade så att de stödjer deras situationsmedvetenhet (SA).
- Det ovanstående förhindrar inte att det kan finnas situationer där mer autonoma delsystem kan vara viktiga och effektiva. Sådana situationer bör identifieras genom fortsatt forskning. Exempel kan vara väl avgränsade områden med begränsad kapacitet, ”flaskhalsar” etc.
- Det är viktigt att ge trafikledarna kontinuerlig återkoppling om kvaliteten i den omplanering som sker, vare sig den sker manuellt eller med hjälp av beslutsstöd. Lärdomarna från specifikation av de kriteriefunktioner som beslutsstöden använder kan därför vara viktiga även för utformning av sådan återkoppling. Återkopplingen kan dels stödja kvaliteten i omplaneringen, dels stödja lärande och utveckling av trafikledarnas kompetenser.
- Några viktiga situationer där trafikledare kan ha behov av mer avancerade och optimerande beslutsstöd är t ex (mer om detta senare i rapporten):
 - Lösa konflikter efter synkronisering av planen mot hur tåg kör.
 - Optimera planen i ett längre tidsperspektiv och över längre sträckor än det egna behörighetsområdet.
 - Prioritera tåg. Det måste gå att prioritera mellan tåg och få konsekvenserna beräknade.
 - Ställa och starta tåg vid och efter totalstopp och stora störningar.
 - Hålla tågen rullande, nära nutid och vid plötsliga störningar.
- Viktiga interaktionskrav kan vara (mer om detta senare i rapporten):
 - Visa båda planerna, gamla och den nya beräknade, samtidigt för jämförelse.
 - Visa enbart den nya beräknade men med kritiska beslut markerade.
 - Kvalitetsparametrar, hur bra blev omplaneringen?
 - Kvalitetsmått måste definieras. Exempel på kvalitetsmått kan vara:
 - avvikelser från körplan, robusthet/marginaler, kritiska marginaler, marginal till deadline, marginal till spårbrist, kritiska noder, marginal till anslutningar, marginal till minimal gångtid, marginal till minimal uppehållstid, dvs. marginal till ”nära målpunkt”, marginal till påverkan på andra tåg (mötande respektive förbigående, anslutande etc.)

6 Organisationen som helhet

Den totala trafikorganisationen och trafikprocessen är mycket komplex. Det är ett flertal olika aktörer som ska samverka såväl i trafikplaneringen som i det operativa arbetet. När det gäller frågor om hur beslutsstöd kan och bör utformas och införas tar vi här främst upp den operativa delen av processen, dvs det som sker i samband med att trafiken genomförs.

Vilka är de aktörer som har behov av stöd för omplanering? Främst kan vi identifiera följande olika aktörer:

Trafikledarna

Trafikledarna är de som har det direkta ansvaret för den operativa omplaneringen. De har ett antal olika arbetsuppgifter, men det som är av intresse här är deras ansvar att följa trafiken, identifiera behov av omplanering, göra omplaneringen och se till att den verkställs. I det koncept som STEG-systemet inför, och som kommer att gälla då NTL tas i bruk, får man ett nytt stöd för detta arbete, med fokus på omplaneringen. Det är här behovet av det direkta operativa beslutsstödet finns och det är den omplaneringen som är i fokus i denna rapport. Vid sådana störningar som leder till behov av omplanering är trafikledaren alltid den som utför och ansvarar för det operativa arbetet. Ibland sker detta i samverkan med andra aktörer, se nedan.

Info

Trafikinformatörerna, ”info”, är ibland en aktiv part i omplaneringen men till största delen en viktig användare av informationen från omplaneringen. En bättre omplanering ger bättre underlag för en snabb och god information till resenärer och kunder. Ibland kan informatörerna ge input till omplaneringen om lösningar som blir bra ur ett kundperspektiv.

Samordnare/tågledare

Det finns behov av en roll som samordnare ute i det operativa arbetet. Traditionellt har en tågledare haft den rollen på varje trafikledningscentral. Idag har denna roll förändrats och är i viss mån inordnad i den regionala operativa ledningen (ROL). Tågledaren har en mycket viktig funktion som koordinator mellan trafikledare inom en ledningscentral och i samordningen mellan trafikledningsområden. I den mån som beslutsstöden ska omfatta områden som sträcker sig utöver den enskilda trafikledarens ansvar måste tågledaren (eller eventuellt ROL) vara inblandad i omplanering och beslut. Beslut om att hålla anslutningar eller ej är exempel på vad som kan bli aktuellt, vilket då också fordrar samverkan med järnvägsföretagen.

ROL/NOL

I den sedan ett par år genomförda omorganisationen har två nya roller utvecklats. Dessa har kanske inte ännu fått sin slutgiltiga utformning och inplacering i trafikprocesserna. ROL (regional operativ ledning) ska ansvara för regional samordning, kommunikation mellan trafikledning och externa aktörer främst järnvägsföretagen samt för trafikslagsövergripande

samordning. NOL (nationell operativ ledning) ska ansvara för nationell samordning vid mer omfattande händelser.

Järnvägsföretagen

Varje enskilt järnvägsföretag har sin egen mer eller mindre komplexa operativa planering och ledning. Denna komplexitet ska vi inte utreda här, då vi inte avser att diskutera beslutsstöd för deras behov. Mer diskussioner om detta finns i rapporter från EU-projektet ONTIME. Vid större störningar, eller sådana störningar som enligt gällande regelverk fordrar så, måste järnvägsföretagen involveras i beslut som den operativa trafikledningen ska fatta. Det kan handla om att hålla anslutningar eller ej, förändra prioritet mellan tåg som tillhör företaget, att ställa in eller vända tåg m.m. Järnvägsföretagen har dessutom ett omfattande behov av egna beslutsstöd för optimering av personal-, lok-, och vagnomlopp.

Lokförarna

Lokförarna eget behov av beslutsstöd diskuteras på annan plats i denna rapport. Se avsnittet om ”Beslutsstöd för lokförare”. Viktiga delar av detta ska stödja föraren i att köra enligt gällande realtidsplan (CGTO), energioptimalt m.m.

Entreprenörer, banarbetare

Dessa aktörer har behov av information för sin egen planering av arbetsuppgifter och deras återkoppling kan påverka trafikledningens beslut.

Kunder/resenärer

Resenärer och godskunder kan behöva stöd för att planera sitt agerande, speciellt i samband med störningar. Deras återkoppling kan i vissa fall vara av stor betydelse för trafikledningen, t ex om det finns viktiga deadlines för trafiken att ta hänsyn till.

Alla aktörer kan med andra ord, i olika situationer, ha behov av stöd för operativ omplanering, samordning, beslutsfattande och verkställande av besluten. Som vi ser det är det två saker som är viktiga att beakta i detta sammanhang:

- Det är *realtidsplanen* (RTTP) som är grunden för all omplanering. All omplanering måste utgå från den existerande realtidsplanen och alla beslut om omplanering måste resultera i att man uppdaterar denna. Den enda som kan göra uppdateringen är trafikledaren, med hjälp av de stödsystem som man har till hands och vid behov i samverkan med andra aktörer.
- I många sammanhang kan trafikledaren inte enskilt ta beslut om omplanering, utan det fordras en omfattande *samverkan* mellan aktörer. De system man utvecklar måste därför stödja denna samverkan, och helhetssynen på situationen, på ett effektivt sätt. Kommunikation mellan aktörerna måste ske på ett smidigt sätt. Ett exempel på detta kan vara vad som sker vid en större störning. Kunskap om störningen finns hos trafikledaren som måste samverka med de aktörer som ansvarar för koordinering, dvs tågledare och ROL. En mer omfattande störning fordrar samverkan med de inblandade

järnvägsföretagen som måste hantera frågor om att ställa in tåg, vända tåg, föraromlopp, lokomlopp, vagnomlopp etc. Deras beslut måste grunda sig på information om störningen, infrastrukturens möjligheter och begränsningar m.m. Deras beslut kommer i sin tur att påverka vilka beslut trafikledningen kan ta och verksställa. Denna komplexitet, och det ömsesidiga beroendet, har till viss del studerats inom EU-projektet ONTIME, utan att man kan påstå att man där hittat fullständiga och i praktiken fungerande lösningar.

7 Situationer där trafikledaren har behov av beslutsstöd.

Det är ett huvudsyfte att utveckla beslutsstöd för sådana situationer där trafikledarna verkligen har behov av stöd och där stöden kan bidra till förbättringar i olika avseenden. Baserat på studier av trafikledarnas arbete, intervjuer och resultat från tidigare forskning har vi identifierat nedanstående typsituationer. Beskrivningen nedan gör inte anspråk på att vara fullständig, men beskriver några viktiga grundläggande aspekter på när och hur trafikledare kan stödjas av optimerande algoritmer vid operativ omplanering i realtid. Det är dock först när system börjar testas i praktiken som de mer detaljerade behoven kan utredas. I framtiden kommer behov, krav och möjligheter också att förändras beroende på hur krav och system i övrigt utvecklas.

Generellt sett innebär dagens manuella omplanering i STEG, och i kommande NTL, utan mer avancerade stödfunktioner ett stort antal interaktioner (musklick, menyval etc.) för att flytta nodpunkter i planen. Det är nödvändigt att komplettera dagens system med funktioner som förenklar arbetet med omplanering. En redan implementerad funktion är att man kan lösa en linjekonflikt genom att klicka på och dra den gula cirkeln, som visar konflikt på linjen, till den driftplats där mötet planeras att ske. Därefter justeras planen automatiskt, med utgångspunkt från det flyttade mötet.

7.1 Några typsituationer

Några typsituationer där trafikledaren för sitt beslutsfattande har behov av stöd i form av beräkningar och algoritmer är:

A. Stöd för planering över längre tidsskalor och för delar av eller hela arbetspass. Detta är en mycket vanligt förekommande situation och bra lösningar är nödvändiga för att omgivningen ska veta vilken plan som gäller samt att den är konfliktfri. Vissa störningar och avvikelser från plan förekommer alltid, särskilt idag då tåg inte alltid kan följa den aktuella planen eftersom de inte är medvetna om att den förändrats. Då avvikelserna blir för stora kan konflikter uppstå eller det blir av någon anledning nödvändigt med omplanering för att skapa en mer robust och optimal plan. I praktiken kan sådana situationer uppstå av en mängd olika orsaker och detaljerna se väldigt olika ut. Men i grunden är det samma huvudsakliga problem. Det är här som den mesta forskningen kring optimerande system för operativ omplanering bedrivits och där vi ser de mest angelägna tillämpningarna.

- Då avvikelser blir så stora att flyttning av möten och förbigångar blir nödvändiga, blir földeffekterna många. Många konflikter måste lösas genom att justera och flytta många möten och förbigångar. En optimal omplanering kan här ge förutsättningar för ett bättre trafikflöde.
- Under varje arbetspass bör viss tid användas för en grov planering över längre tid, då samordning mellan flera trafikledare är nödvändig.

B. Stöd vid samordning av planering över stora områden och flera regioner (samordnarens stödsystem):

- Långa sträckor ska hanteras, vilket omfattar många grafer för olika behörighetsområden och många trafikledare.
- Ett stort antal konflikter måste lösas. Konflikter om spår på linjen, samt konflikter om spår på driftplats.
- Spårplaner i form av sammanfattande trafiköversiktsbilder med information om det aktuella tillståndet i anläggning och trafikprocess, relevant för samordnare och tågledare.
- Stora presentationsytor för att visa många sammanfattande ”grafer” och trafiköversiktsbilder parallellt (många och stora bildskärmar), är nödvändiga.

C. Stöd vid totalstopp (nedriven kontaktledning, olycka, etc.):

- Var ska tåg ställas? För att underlätta start efter stopp, resandetåg vid plattform, tunga tåg ska inte ställas före stark stigning, etc.
- Vilka tåg i vilken riktning ska startas först? Prioritet avgör, tillgänglig elenergi, etc.
- Hur många tåg ska köras i kolonn, dvs i följd i samma riktning, vid enkelspår, innan riktningen ska vändas? Vilka faktorer, förutom tågs prioritet och sth påverkar?

D. Stöd för beslut vid ”högerkörning”, av t ex godstrafik nattetid:

- Var är förbigångar (*overtakings*) lämpliga att påbörjas?
- Var ska återgång till vänsterspår göras?
- Hur ska kolonnkörning, flera tåg i samma riktning på samma spår, optimeras?

E. Vid störningar måste ibland trafikledaren helt fokusera på ett visst problem. Då finns behov av en funktion som håller tåg rullande på resten av området, även då mindre tidsavvikelser relativt planen uppstår. För att minimera risken att den automatiska funktionen förvärrar situationen ska det fortfarande vara möjligt för trafikledaren att behålla kontrollen över tågs spår användning. Att automatiska funktioner vid exekvering ändrar spår användning för tåg är den vanligaste orsaken till att situationen förvärras vid störningar. Den automatiska exekveringen, AEF, kan tillåtas att avgöra tidpunkt för exekvering, dvs tidpunkt för läggning och låsning av tågvägar, beroende på hur tåg körs, så länge tågvägar läggs helt enligt planerad spår användning och att tågordning inte ändras. Den här funktionen får effekter som liknar dagens lokala automater och som system som TLS eller ARS, med den avgörande skillnaden att tågen går endast på de spår trafikledaren bestämt. Tåg blir då inte stående på grund av att konflikter om spår hindrar AEF att exekvera. Planerad spår användning kan ändras endast av trafikledaren.

F. En viktig och nyttig funktion i ett beslutsstöd kan vara att kunna meddela beslutsstödet vad man vill åstadkomma och sedan överlåta åt stödfunktioner att ”sköta detaljerna i omplaneringen”. Detta innebär att trafikledaren kan ange intentionen i hur man vill att trafiken ska flyta, men utan att behöva specificera alla detaljer i planen. Detaljerna kan ett beslutsstöd räkna ut och verkställa, men detta utan att intentionen i planen förändras.

G. Fler situationer finns säkert, men de som beskrivits ovan torde vara de som det idag är relevant att börja med.

7.2 Trafikledares mål med omplanering

I vår tidigare forskning har vi använt oss av en modell för att beskriva, analysera och utvärdera villkor för mänsklig styrning av komplexa dynamiska system. Denna modell, GMOC⁴ (på svenska MMSO: Mål, mental Modell, Styrbarhet, Observerbarhet), har en komponent M som beskriver de mål som den mänskliga operatören har i sitt arbete med att förstå, behärska och styra det system man ansvarar för. Målen är en mycket komplex sak, som kan innehålla en mängd olika delmål, mål som står i konflikt med varandra och som är dynamiska i den meningen att de förändras över tid och beror av den aktuella situationen och av den information (observerbarhet) som operatören har. En kartläggning av målen är viktig då man utformar ett styrsystem inklusive dess beslutsstöd och användargränssnitt. Om inte systemet i övrigt ger det stöd som fordras för att man ska kunna agera så att ett visst mål uppfylls, så blir situationen omöjlig eller starkt försvårande för operatören. Mål som man inte har stöd för, på grund av brister i systemet, är inte möjliga att uppnå.

När man utformar beslutsstöd för trafikledarna i den operativa omplaneringen ser vi att det är viktigt att utgå från nedanstående mål för planering och beslutsfattande, vilka härletts ur analyser av trafikledarnas arbete idag. Detta är delvis en upprepning av vad som sägs på annan plats i denna rapport, men det kan fungera som en sammanfattning.

Trafikledaren har, beroende av situation m.m., bl a följande mål med sin operativa omplanering:

- Planera för att utföra det förelagda transportarbetet så effektivt som möjligt.
- Hålla den aktuella planen så nära den ursprungliga planen som möjligt eller göra den så bra som möjligt då den ursprungliga är orimlig, dvs inte längre möjlig att uppnå (se nedan).
- Planera för att utnyttja kapaciteten på banan, i relation till tågens egenskaper, på ett optimalt sätt.
- Hålla processen så stabil och förutsägbar som möjligt genom att allokeras marginal för robusthet och resiliens där den gör mest nytta.
- Hitta lösningar som med största möjliga säkerhet fungerar, även då det uppstår oförutsedda händelser framöver.
- Göra körbara planer (dvs möjliga för förarna att följa) genom att anpassa planen till aktuella förutsättningar.
- Hålla planen synkroniserad med tågens aktuella position och deras övriga egenskaper. Körs tågen inte enligt plan får trafikledaren anpassa sig till detta. Dock måste det vara ett mål att även se till att föraren kör tågen enligt plan så gott de förmår, alternativt meddela trafikledaren varför det inte är möjligt.

⁴ Se rapporter från FOT-projektet eller Tschirner, Simon (2015): The GMOC Model: Supporting Development of Systems for Human Control. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology, ISSN 1651-6214; 1237. Doktorsavhandling 2015.

- Hålla planen körbar (för förarna) och fri från konflikter om spår, på linje och på driftplatser, så att omgivningen ska veta hur de ska agera.
- Optimera möten och förbigångar med utgångspunkt från standardiserade mallar för typiska möten och förbigångar, där banans och tågens egenskaper är kända
- Hålla gångtider valida och körbara (anpassade till situationen) vid ändrad spår användning och vid tillfälliga hastighetsnedsättningar.
- Hålla gångtider och uppehållstider valida och körbara utifrån aktuell information från förare, etc.
- Hålla marginaler för robusthet och resiliens anpassade till prognoser om oväder etc.
- Hålla prioriteten för tåg hög, då dess plan närmar sig en deadline, t ex ankomsttid vid viktig anslutning.
- Hålla planen uppdaterad utifrån osäkra prognoser om felavhjälpning, etc. (Givetvis är det även ett mål för organisationen att se till att prognoser blir så säkra som möjligt. Det är vanligt att information, relevant för prognosen, inte når trafikledaren eller blir fördröjd.)

7.3 Hinder för god omplanering

Det finns idag ett antal hinder för att trafikledaren på ett effektivt sätt ska kunna agera så att mål av den ovan beskrivna arten ska kunna uppnås. Sådana hinder bör så snart som möjligt elimineras.

Exempel på sådana hinder, och på för trafikledaren onödiga uppgifter vid operativ omplanering och exekvering, är följande:

- Eliminera orimligheter i den ursprungliga planen, t ex:
 - felaktig spår användning
 - ej körbara gångtider
 - uppehåll för möten med tåg som inte körs den aktuella dagen
 - planerade banarbeten som inte kommer att utföras den aktuella tiden
 - att marginaler för robusthet och resiliens saknas eller är felaktigt allokerade
 - korrigera gångtider på grund av att järnvägsföretag meddelat felaktiga data om tågs egenskaper
 - planera banarbeten som akuta, trots att de är kända sedan länge i organisationen.
- Upprepa kollegors misstag på grund av brister i arbetets organisering.
- Exekvera, lägga tågvägar, manuellt med hjälp av lokala och andra automater. Trots att funktionen AEF/PEF (Automatisk/Planstyrd ExekveringsFunktion) finns implementerad i STEG och kommer att finnas i NTL.

8 Generella förutsättningar och krav

Det finns ett antal generella krav som behöver uppfyllas för att utvecklingen av stöd för optimerande omplanering ska vara möjlig och meningsfull. Det som beskrivs nedan är säkert inte en fullständig förteckning över sådana villkor, utan en beskrivning av det som vi stött på under det genomförda arbetet. När system ska utvecklas och införas i praktiken måste de mer fullständiga villkoren utredas och beskrivas i detalj.

Några viktiga förutsättningar och villkor för utveckling av algoritmer till stöd för effektiv omplanering är att man har god kvalitet i följande avseenden:

8.1 Kvalitetssäkrade indata ger valida gångtider

Data om banans egenskaper måste vara kontinuerligt uppdaterade. Aktuella data om tåg, lok och vagnar måste levereras i realtid av järnvägsföretagen. Planerad spår användning måste för varje tåg vara detaljerad och sammanhängande (konsekutiv). Effekter av signalsäkerhetssystem och ATP (*Train Protection*, ATC i Sverige) måste ingå i beräkningen av körbara gångtider. Regler för allokering av marginaler för robusthet och resiliens⁵ måste standardiseras och följas då den ursprungliga planen konstrueras och fastställs. Dessa regler och värden på relevanta parametrar måste göras tillgängliga för den operativa trafikledningen. Dessutom måste relevanta statistiska data utvärderas ur utfallet från hur tåg faktiskt har körts. Det finns en stor outnyttjad potential i de noggranna data om verkliga gångtider och uppehållstider som varje tåg producerar under färd och uppehåll. För att skapa körbara och optimala planer måste styrloopen ”plan och utfall” slutas genom detaljerad uppföljning.

8.2 Körbara gångtider

- Planerad gångtid mellan driftplatser, beräknad på aktuella verkliga förutsättningar, främst banans och tågets egenskaper inklusive konsekutiv spår användning, samt allokering av marginaler för robusthet och resiliens. Fyra typer finns:
 1. Genomfart vid startdriftplats och genomfart vid änddriftplats.
 2. Genomfart vid startdriftplats och stopp vid änddriftplats.
 3. Stopp vid startdriftplats och genomfart vid änddriftplats.
 4. Stopp vid startdriftplats och stopp vid änddriftplats.
- Därtill kommer tid för tågs uppehåll på driftplats, inklusive marginal för robusthet och resiliens, med hänsyn till sannolikheten för att avvikelser ska propagera i trafikprocessen.
- Minimal gångtid beräknad på aktuella verkliga förutsättningar, främst banans och tågets aktuella egenskaper, inklusive konsekutiv spår användning, utan marginaler för robusthet och resiliens.

8.3 Marginaler, robusthet och resiliens

- Marginal mellan planerad gångtid och minimal gångtid. Marginal mellan planerad uppehållstid och minimal uppehållstid.

⁵ Resilience betyder på engelska ”the ability to recover”. Det är ett mått på förmågan att återgå till det ostörda läget, dvs hur snabbt störningen kan begränsas eller elimineras.

- Robusthet och resiliens generellt, dvs marginal mellan planerad gångtid och minimal gångtid vid specifika ankomsttider till driftplatser. Detsamma för uppehållstider.
- Robusthet och resiliens vid kritiska noder, där avvikelser innebär högre risk att propagera, dvs sprida sig genom att flera tåg påverkas.

8.4 Prioritet, transportuppgift och deadlines

- Prioritet mellan tåg, globalt respektive lokalt. Den lokala prioriteten kan innebära att den globala övertids, för att lokalt undvika orimliga effekter av globala prioriteter.
- Prioritet påverkas av transportuppgift. (Tjugotvå ton torsk väger tyngre än tjugotvå byrådirektörer).
- Prioritet påverkas av närhet till en deadline, t ex en anslutning eller en färjeförbindelse. Prioriteten kan generellt vara låg men måste höjas då planerad ankomsttid närmar sig kritisk deadline.
- Prioritet påverkas av nödvändiga mål, t ex att tåg måste komma fram till destination. Det kan ibland vara nödvändigt att göra avsteg från generella regler.

8.5 En optimerad ursprunglig tidtabell

Det är idag ett problem i det operativa arbetet, liksom för lokförarna, att den ursprungliga tidtabellen, den dagliga planen, inte är optimal från start. Av flera skäl finns det alltför ofta brister i den plan som det operativa arbetet utgår från. Detta bör i största möjliga mån åtgärdas. Viktiga aspekter på detta är:

- Den ursprungliga planen (dagliga planen, körplanen, produktionsplanen) ska bara innehålla de tåg som kör just denna dag.
- Den får inte innehålla några onödiga möten, utan alla sådana måste ha eliminerats.
- Den måste vara totalt konfliktfri.
- Planen måste vara styrbar (dvs möjlig att genomföra för trafikledningen) samt körbar (dvs möjlig att genomföra för lokförarna och järnvägsföretagen).
- Planen måste vara optimerad, dvs man bör köra någon form av algoritmer på planen på samma sätt som man i forskningen om operativa optimerande beslutsstöd avser att göra på realtidsplanen vid störningar. Detta innebär att robustheten är garanterad från start.
- Syftet med planen, intentionen, bör vara känd för trafikledningen så att de vid omplanering inte tar beslut som strider mot viktiga förutsättningar. Exempel kan vara prioriteter, viktiga deadlines m.m.
- Den ursprungliga planen kan successivt förbättras genom återföring av erfarenheter från trafikledning och lokförare. Processer för detta bör byggas in i organisationen.

9 Kvalitet i planen

9.1 Viktiga egenskaper hos planen

Planen, såväl den ursprungliga som de nya planer som räknas fram under det operativa skedet, måste uppfylla vissa kvalitetsmått. Vilka mått man ska använda är inte så enkelt att definiera, då situationerna förändras dynamiskt. När man använder sig av optimerande algoritmer måste man i varje tillämpning strikt definiera kvaliteten, men för en mänsklig operatör kan det vara bättre att kunna anpassa sig till situationen. Som diskuteras på annan plats i denna rapport är det dock viktigt att utgå från fastställda regelverk samt att genom organisatoriskt lärande utveckla gemensamma strategier. Utan att, av ovanstående skäl, gå in på strikta definitioner, så behöver man i varje situation ta hänsyn till följande:

- Robusthet. Med robusthet menar vi differensen mellan planerad gångtid och minimal gångtid.
- Resiliens. Resiliens betyder språkligt på engelska (*resilience*) ”the ability to recover”, dvs förmågan att återgå till ett ostört läge. Med detta menar vi här möjligheterna att återställa processen till ursprunglig plan och/eller möjligheterna att göra den stabil, mindre känslig för kommande avvikelser och oförutsedda händelser. Även för processens resiliens är differensen mellan planerad gångtid och minimal gångtid avgörande.

En mer allmän diskussion om vilka egenskaper en plan måste ha för att vara bra nog är följande:

- Planen ska vara fri från konflikter om spår, på linjen och på driftplatser, en viss tid framåt, t ex 3 tim, 6 tim, 12 tim eller 24 tim. Detta kan variera beroende på trafiksituation och ska vara anpassat till omgivningens, dvs andra aktörers, behov av att veta vad som kommer att hända i trafikprocessen.
- De gångtider man använder sig av i beräkningar och i planer ska vara validerade och körbara. De ska beräknas utifrån planerad konsekutiv spår användning, med hänsyn tagen till infrastrukturens utformning samt egenskaper hos tekniska barriärer som signalsäkerhetssystem, t ex huvudsignalers och försignalers position och till ATC (ATP), t ex lägningsavstånd och bromskurvor. I framtiden måste anpassningen göras till ERTMS.
- Planen ska ligga så nära den ursprungliga planens avgångs- och ankomsttider som möjligt (dvs tidtabellen), med hänsyn tagen till avvägningar mellan planens samtliga egenskaper.
- Planen ska vara synkroniserad till tågens aktuella positioner och till eventuella planerade banarbetens start- och stopptider.
- Planen ska vara anpassad till transportuppgiftens behov av framförhållning.
- Planen ska omfatta detaljerad spår användning inom komplexa spår områden samt innehålla ankomst- och avgångstider för tåg från och till bangårdar (för klargöring och

uppställning), furnering och rundgång med lok, samt ändringar i tågs sammansättning (ihop- och isärkoppling).

- Planen ska innehålla planerade start- och stopptider för banarbeten, tillfälliga hastighetsnedsättningar, ändringar i körorder till förare, etc.
- Planen ska vara synkroniserad med järnvägsföretagens planer för omlopp av personal, lok och vagnar.
- Planen ska innehålla regelbaserade (dvs regler för detta behöver fastställas) marginaler för robusthet och resiliens, dvs differens mellan planerad gångtid och minimal gångtid. Trafikledaren måste ha möjlighet att göra avvägningar mellan kravet att återställa processen till ursprunglig plan och risken att göra den känslig för avvikelser och oförutsedda händelser.
- Marginaler för robusthet och resiliens, dvs differens mellan planerad gångtid och minimal gångtid vid driftplatser med transport- eller trafikuppgift (t ex möte eller förbigång), samt mellan planerad uppehållstid och minimal uppehållstid, ska framför allt allokeras till driftplatser (kritiska noder) där risken att avvikelser propagerar, till andra tåg och aktiviteter som banarbeten, är stor. Effektiv tidsmarginal för robusthet och resiliens varierar med transportuppgift, trafiksituation, tågtyp, bana, trafikprocessens stabilitet, färdens längd mellan trafikuppgifter, etc.
 - Minsta tillåtna marginal för robusthet och resiliens bör vara t ex 30 sek.
 - Största marginal för robusthet och resiliens bör vara t ex 180 sek. (3 minuter).
 - ”Normal” marginal för robusthet och resiliens bör vara t ex 120 sek. (2 minuter).
 - Marginal för robusthet och resiliens vid pendeltågstrafik ska omfatta både gångtid och uppehållstid och vara t ex 30 sek.
- Planen ska baseras på att tåg tilldelas prioritet i den ursprungliga planen samt operativt av trafikledaren. I besvärliga fall måste detta ske i samarbete med samordnaren/tågledaren och järnvägsföretagen.
- I de situationer då avgörande information saknas, eller är mycket osäker, ska det vara möjligt att göra en plan baserad på en prognos som är väl grundad på erfarenhet och tillgänglig statistik.
- Frekventa omledningar av trafik ska förberedas genom att skapa standardplaner per tågtyp.
- Det finns behov av mer enhetliga principer för avvägningar mellan konfliktande mål som kapacitetsutnyttjande och tidsaspekter samt stabilitet och förutsägbarhet i trafikprocessen. Principer för detta måste formaliseras för att beräkningar och algoritmer ska bli effektiva stöd i det operativa arbetet.
- Trafikledarens användargränssnitt ska innehålla den information som gör planen möjlig att förstå, inklusive skälen till att den ser ut som den gör. Vikten av detta har tidigare påpekats, t ex vid utredningar inom FOT-projektet och EU-projektet Ontime.

I ett senare avsnitt i denna rapport ska idéer till hur planens kvalitet kan presenteras i trafikledarnas gränssnitt diskuteras.

10 Hur bra är dagens omplanering?

Det finns ingen mer omfattande utvärdering av hur bra dagens omplanering egentligen är, dvs vilken kvalitet som trafikledarna i praktiken har i sin operativa omplanering. Detta har flera orsaker. Dels är det inte självklart vad man menar med kvalitet i omplaneringen. Dels är det metodologiskt svårt att göra en mer komplett analys och utvärdering. Det är så många faktorer som påverkar förutsättningarna för omplanering och utfallet av detsamma. Därför är det svårt att analysera exakt hur de operativa besluten påverkar utfallet.

I vår forskning nu och tidigare har vi dock en del erfarenheter av att studera hur dagens omplanering går till och vad resultatet blir, som vi vill diskutera här nedan. I det fortsatta forskningsarbetet bör det vara en prioriterad sak att utreda detta mer grundligt.

10.1 Tidigare studier

I samband med att de grundläggande principerna för konceptet ”styra genom operativ omplanering” och prototyperna till STEG utvecklades genomförde vi ett antal experiment. Dessa experiment hade som syfte att se hur olika trafikledare löste några olika omplaneringsproblem definierade som scenarier. Trafikledaren presenterades för ett problemscenario och fick sedan med hjälp av det framtagna systemet för omplanering hitta en lösning på problemet. Det var inget dynamiskt system med simulator, utan interaktionen handlade enbart om att beskriva hur man skulle lösa problemet, i vilken ordning man löste de olika konflikterna etc. Situationen var med andra ord inte helt realistisk och alla hade inte samma lokalkännedom om den plats som ingick i scenarierna. Utan att gå in i detalj på experimenten så kunde vi se några intressanta saker.

Alla försökspersonerna (totalt c:a 20 st) hittade egna lösningar. Ingen lösning var den andra lik. Man resonerade också olika kring hur man angrep problemet och vad som man hade som mål för omplaneringen. När man utvärderade utfallet av omplaneringen i totala förseningsminuter blev också resultaten väldigt olika. Trafikledarna hade delvis olika mål för omplaneringen. En del ville minimera förseningar, andra ville snarare skapa robusthet i den nya planen. De som hade mer lokalkännedom gjorde andra prioriteringar på grund av annan information de ansåg att de hade. I dessa studier kunde vi inte göra några mer omfattande analyser, utan vi nöjde oss med att konstatera att man agerar olika, man resonerar olika och att utfallet blir mycket olika. Vad som var det ”bästa” sättet att lösa problemen på hade vi inte underlag för att utvärdera.

10.2 Orsaker till brister i omplaneringen

Med traditionella system

Det finns ett antal olika förklaringar till varför det idag finns såväl olikheter som kvalitetsbrister i den operativa omplaneringen. Några viktiga sådana är:

- Det finns brister i den information som trafikledaren ska grunda beslut på. Det gäller såväl statisk information, t ex om infrastrukturen, projekteringen etc., som dynamisk information, t ex om tågs position, hastighet, gångtider m.m.
- Omplaneringen görs av varje trafikledare individuellt och kommuniceras oftast inte till någon annan. Man känner därför inte till hur andra aktörers planering ser ut.
- Idag finns utom, i några undantagsfall, ingen information till förarna om den nya planen. De kör därför inte efter denna vilket leder till ytterligare avvikelser som fordrar ny omplanering osv i en ”ond cirkel”. Vi har sett att idag är ofta mer än 50 % av all omplanering orsakad av detta.
- Det saknas generellt sätt slutna styrloopar så att den beslutade omplaneringen blir känd och genomförs, så att man kan få återkoppling om hur utfallet blir, händelser som påverkar förutsättningarna för omplanering m.m. (Se mer om detta i slutrapporten från FOT-projektet).
- Det finns ingen utvärdering, uppföljning och utarbetande av gemensamma strategier inom organisationen. Var och en utarbetar därför sina egna individuella strategier.
- Det saknas till stor del överenskomna mått på kvalitet i omplaneringen, mål för omplaneringen samt återkoppling i realtid hur bra omplaneringen är.
- Den egna personligheten påverkar hur man agerar. Det finns olika personliga sätt att resonera kring omplaneringen. En del har en tendens att vara ”risktagare”, dvs försöka hitta de riktigt smarta lösningarna, som blir bra om de fungerar men som blir dåliga om saker inte faller ut som man hoppades. Andra söker konservativa robusta lösningar som inte är de optimala men som fungerar hyggligt även om det händer oväntade saker.

Med STEG

Många av de problem som man idag ser vid omplaneringen där man använder STEG, baserat på utvärderingar av användningen i Boden, är desamma som de som beskrivits ovan. När man arbetar med ett komplett STEG-system borde det inte vara så, men det finns orsaker till att problemen i Boden har varit större än de borde vara.

Några orsaker till att det för närvarande finns problem i samband med användning av STEG är följande:

- Den automatiska exekveringsfunktionen (AEF) har i många fall fungerat dåligt eller inte alls. Det finns därför inte någon personlig vinst att göra en bra plan i STEG, eftersom man ändå oftast måste exekvera planen manuellt.
- Synsättet att man inte planerar för sin egen del utan för andra och för helheten har inte blivit etablerat. Detta beror på brister i ledning, utbildning och handledning.
- Även här saknas, utom i fallet med CATO, en realtidsöverföring av planen till lokförarna. Tågen kör därför ofta inte enligt den nya planen, RTTP, vilket gör att man måste göra planeringen så att den ständigt anpassas till hur tågen körs. Därför ser man inte nytta av en god planering, framförhållning och ett proaktivt arbetssätt.

10.3 Hur åtgärda problemen?

På kort sikt

Ska man lära sig mer om hur den operativa omplaneringen fungerar idag och om problem och brister i denna, bör sådana studier göras i ett sammanhang där bristerna enligt ovan minimerats. Detta gäller främst situationen i Boden, där man arbetar med STEG. Lärdomar därifrån är mest relevanta för framtiden, då NTL införts och då det är aktuellt att införa mer avancerade beslutsstöd. Vilka brister som behöver åtgärdas beskrivs mer i slutrapporten från FOT-projektet.

Med hjälp av beslutsstöd

Det finns en stor potential i att stödja trafikledarnas omplanering med hjälp av nya slags beslutsstöd. Det viktiga är att detta görs på ett sådant sätt att systemen blir accepterade och fungerar även i praktiken. Trafikledarna bör stödjas i de situationer där de idag har problem. Detta beskrivs mer utförligt i ett annat avsnitt av denna rapport: "Situationer där trafikledaren har behov av beslutsstöd".

10.4 En lärande organisation

Det finns uppenbara behov av att utveckla ett gemensamt synsätt på hur den operativa omplaneringen ska göras, dvs ta fram gemensamma strategier för hur man löser omplaneringsproblem i olika situationer. Några viktiga syften med detta kan vara att:

- Genom erfarenhet och utvärderingar hitta de bästa strategierna.
- Skapa mer enhetliga strategier och lösningar vilket gör att agerandet blir mer förutsägbart för omgivningen, t ex för lokförarna och för andra trafikledare.
- Det blir enklare att genomföra utbildningar, införa beslutsstöd m.m. om man har ett gemensamt synsätt på agerandet vid omplanering och hanteringen av störningar.

Formerna för att skapa ett organisatoriskt lärande har diskuterats i slutrapporten från FOT-projektet, och kan sammanfattningsvis beskrivas på detta sätt:

Syftet med lärandeprocesser är att på olika sätt skapa möjligheter för ständigt lärande som en del av arbetet. En ständig utveckling av färdigheter är viktig för att kvalitet i trafikledningen ständigt ska förbättras. Det är också viktigt för att trafikledarna och organisationen som sådan ska kunna utvecklas.

Under vårt forskningsarbete har vi observerat flera problem, eller fått svårigheter påtalade av andra, som handlar om brister i lärandeprocesser. Några exempel är följande:

- Kollegor emellan har man en tydlig uppfattning om hur skickliga andra är att hantera olika situationer. Det är emellertid inget man öppet talar om eller följer upp.
- Arbetsledaren bemannar olika platser i olika situationer med personer efter de kompetenser och färdigheter de har, men man har oftast inget systematiskt sätt att fånga upp brister och se till att alla får en relevant fortbildning.

- De flesta anser att de är hänvisade till ”trial and error” för att lära sig. Det är idag den dominerande metoden att bli skickligare. Det finns dock ingen genomtänkt metod för att få återkoppling på vare sig positivt eller negativt utfall av planering och styrning.
- De lär sig strategier för att jobba runt tekniska problem, lokala svårigheter etc, men den kunskapen dokumenteras inte och förmedlas inte till nya medarbetare.
- Man saknar fungerande stödsystem för lärande, t ex anpassade simulatorsystem.
- Det saknas ofta resurser i termer av personal för att hinna med ett systematiskt lärande. Alla trafikledningscentraler säger att de knappt hinner med det ordinarie arbetet och den nödvändiga säkerhetsutbildningen. Det finns ingen luft i organisationen för att ha högre ambition.

Ett sätt att dela upp lärandet är i individuellt lärande och organisatoriskt lärande.

Individuellt lärande

Det individuella lärandet handlar om hur de enskilda individerna, trafikledarna, kan stödjas i att utveckla färdigheter för att prestera bättre i det operativa arbetet.

Organisatoriskt lärande

Det organisatoriska lärandet handlar om att organisationen utvecklar gemensamma kunskaper och erfarenheter som kan komma alla enskilda aktörer till godo och som bidrar till att organisationen som helhet presterar bättre. Här kan målet dels vara att stödja individerna bättre eller att skapa effektivare arbetsprocesser, gemensamma strategier eller förbättrad kommunikation och samverkan.

Ett annat sätt att kategorisera lärandet är i realtidslärande och retrospektivt lärande.

Realtidslärande

Realtidslärandet innebär att man på olika sätt stödjer ett lärande i arbetet samtidigt som det utförs. Det handlar då främst om individuellt lärande och att genom ständig återkoppling om utfallet av arbetet lära sig hur det kan utföras bättre.

Retrospektivt lärande

Med retrospektivt lärande menar vi att man genom att utvärdera genomfört arbete, genom analys av hur det genomfördes, hur man agerade, varför man agerade som man gjorde, vad utfallet blev samt reflektera över och analysera hur saker skulle kunna ha gjorts på ett annat och effektivare sätt. De strategier och riktlinjer för agerande som tas fram i en sådan process kan sedan testas och utvärderas i praktiken. På så sätt kan successivt nya och förbättrade kunskaper utvecklas. Här kan det handla om såväl individuellt lärande som organisatoriskt.

Utformning av lärandeprocesser

De olika typerna av lärande fordrar olika slags processer, teknikstöd och ledning. Hur detta kan göras beskrivs mer i rapporten från FOT-projektet. När det blir aktuellt att införa mer avancerade beslutsstöd måste detta kombineras med omfattande utbildningsinsatser. Ett syfte med utbildningarna bör vara att åstadkomma ett organisatoriskt lärande och att se till att man

utvecklar gemensamma strategier för hur man ska använda beslutsstöden och hur man ska interagera med dessa.

Det är troligen också så att beslutsstöd kan vara en viktig del av system för lärande. De beslut som en trafikledare tar i en lärsituation kan jämföras med det som ett utvärderat beslutsstöd levererar. Även tvärt om ser vi att det finns samband mellan lärsystem och utformningen av framtida beslutsstöd. När trafikledare blir skickligare på att hantera komplexa problem förändras också behoven av och förutsättningarna för att effektivt utnyttja mer avancerade beslutsstöd. Detta kan ge ny kunskap om hur beslutsstöd kan vidareutvecklas för att bättre stödja den framtida organisationen och de framtida trafikledarna. Formerna för detta måste utredas ytterligare.

11 Interaktionskrav

I detta avsnitt avser vi att diskutera hur interaktionen mellan trafikledaren och ett framtida beslutsstöd kan och bör utformas. Det finns idag ingen möjlighet att diskutera den mer detaljerade designen, utan diskussionen här handlar mer om grundläggande riktlinjer för ett framtida designarbete. När man kommit längre i forskningen och utvecklingen blir det möjligt att ta fram detaljerade prototyper. I utvecklingen av prototyper och färdiga system är det viktigt att arbeta enligt en användarcentrerad och iterativ modell. Det är bara genom att involvera erfarna trafikledare i prototyparbetet som man kan komma fram till fungerade system.

Omplanering med hjälp av mer avancerade beslutsstöd måste uppfylla vissa grundläggande krav på interaktionen mellan systemen och användarna, trafikledarna. Erfarenheterna visar att om man inte förstår och utgår från dessa grundkrav så fungerar inte systemen i ett operativt sammanhang. Några viktiga sådana grundkrav, relevanta för trafikledarnas roll, är:

- Trafikledarna måste uppleva beslutsstöden som meningsfulla och nyttiga. Detta innebär att de måste hjälpa dem att lösa de problem som de har samt att stöden levererar lösningar som är meningsfulla. Det finns exempel på system som utvecklats och där trafikledarna anser att de lösningar som levereras är antingen ”självklara eller löjliga” (*obvious or ridiculous*). Är de självklara behövs inget beslutsstöd. Är de löjliga eller omöjliga är det bara störande att få dem levererade.
- Man måste ha förtroende (*trust*) för att de är vettiga. Om man har erfarenheterna att det som beslutsstöden levererar för det mesta är vettiga, effektiva och problemlösande förslag så har man förtroende för systemet och använder sig av det.
- Trafikledaren måste hela tiden ha full kontroll över vad som ska hända i trafikprocessen. Eftersom processen är irreversibel, dvs den går inte att hejda för att ångra de åtgärder man vidtagit (utan stora effektivitetsförluster), så måste trafikledaren vara övertygad om att valda lösningar fungerar och att åtgärder ger avsedda resultat.
- Det automatiska systemet eller beslutsstödet får inte påverka trafikledarens situationsmedvetenhet (*situation awareness*) på ett negativt sätt. Detta innebär förenklat att trafikledaren måste kunna observera och förstå vad som händer hela tiden samt kunna förstå vad som kommer att ske framöver som funktion av vilka åtgärder som vidtas. Beslutsstöd som är autonoma i den meningen att de självständigt uppdaterar realtidspanen (RTTP) och exekverar denna, oftast i en sluten sekvens, tenderar att ställa trafikledaren ”out of the loop”, dvs man förlorar förståelse och kontroll över situationen. Sådana system tenderar trafikledaren att direkt stänga av i störda situationer för att kunna återfå kontrollen.
- De resultat som beslutsstödens algoritmer levererar måste vara begripliga för trafikledaren och man måste förstå varför förslagen till beslut ser ut som de gör. Om man inte förstår detta kommer man inte att våga lita på resultatet.

- Beslutsstödet bör stödja kompetensutveckling och lärande. Genom att interagera med beslutsstödet ska trafikledarens kunskaper och förmåga att agera utvecklas, inte begränsas, urholkas eller degraderas.
- Det som beslutsstödet levereras bör kombineras med sådana kvalitetsmått som gör att trafikledaren kan bedöma kvaliteten i den föreslagna planen.

De beslutsstöd vi diskuterar här är främst sådana som är avsedda att vid behov ge förslag och stöd till trafikledaren, dvs enligt den struktur som visas i figur 3 tidigare i denna rapport.

Det fungerar inte att interagera med ett sådant beslutsstöd om beslut som ligger allt för nära nutid. Då hinner trafikledaren inte ta emot, utvärdera, förstå och agera på ett bra sätt. Tids-horisonten som beslutsstöden arbetar mot bör därför ligga en bit fram i tiden. Hur långt beror på situationen och trafikintensiteten. Trafikledaren måste hinna förstå och reflektera över alternativa lösningar innan planen måste låsas.

I ett operatörsgränssnitt som liknar STEG, och vi förutsätter att NTL kommer att bygga på samma princip, ska all interaktion ske i ett enda integrerat gränssnitt. Det betyder att det som beslutsstöden levererar, dvs den nya föreslagna planen, måste kunna visas och utvärderas direkt i den grafiska planeringsvyn.

Trafikledaren måste kunna acceptera delar av den föreslagna planen, besluta om (ändra) vissa delar som man vill prioritera eller låsa i planen, och sedan be algoritmerna om förslag på en ny plan som utgår från det som specificerats.

För att minimera antalet interaktioner (musklick och liknande) ska det t ex vara möjligt att meddela systemet vad man vill åstadkomma och överlåta åt stödfunktioner att ”sköta detaljerna i omplaneringen”.

- Exempel: Trafikledaren beslutar om önskad ankomsttid på driftplats med transportuppgift. En enkel algoritm beräknar avgångs- och ankomsttider på mellanliggande driftplatser. Allt utifrån standardiserade regler för allokering av robusthet (marginal mellan planerad gångtid och mingångtid).

Hur gränssnittet i detalj ska utformas måste bli föremål för fortsatt forskning och utveckling. Det är bara genom test av olika alternativa förslag man kan hitta effektiva lösningar. Exempel på frågor man behöver utreda och hitta designlösningar för är följande:

Hur ska en ny beräknad plan presenteras i gränssnittet för trafikledaren?

- Visa båda planerna, den nu gällande och den nya föreslagna, samtidigt för jämförelse, men olika kodade (t ex ljushet, färgton och form, bakgrund/förgrund).
- Ge en möjlighet att växla (toggla) mellan visning av de olika planerna, den gällande respektive den beräknade, t ex genom att betona/ dimma den ena eller den andra.
- Visa den beräknade planen men med kritiska ”beslut” i den nya planen markerade, t ex val av ny driftplats för möte, samt värden för kvalitetsparametrar (främst kanske robusthet) för olika alternativ.

När det gäller frågan om hur kvalitetsaspekter på planen ska visas i gränssnittet kan man utgå från följande diskussion:

Parametrar som är lämpliga att beräkna värden för och presentera för trafikledaren i planeringsvyn är främst:

- Summa avvikelse mot ursprunglig plan, minuter
- Avvikelse mot ursprunglig plan per tågtyp, minuter
- Avvikelse mot ursprunglig plan per tågindivid, minuter
- Antal minimala marginaler vid kritiska noder
- Antal deadlines med för liten marginal

Avvikelser kan beräknas vid samtliga driftplatser med transportuppgift, alternativt vid destinationen (slutstation).

Det kan vara lämpligt att parallellt visa värden på kvalitet i planen för t ex två alternativa planer. Då kan trafikledaren värdera, bedöma och välja alternativ.

En marginal (robustheten) som blir för liten övergår lätt i att bli en konflikt om spår i planen. Man bör därför visa att för liten marginal är ett "förstadium" till en viss konflikt. De nuvarande symbolerna för olika slags konflikter kan här användas som grund.

Man bör visa att man "tummar på marginalerna", t ex för ett upphinnande tåg: det är ännu ingen konflikt, men håller på att bli, då det finns en trend i den riktningen. Trenden kan visas som t ex första och/eller andra tidsderivatan.

12 Beslutsstöd för lokförare

Beslutsstöd för förare ingår egentligen inte i BAOT-projektet. Men mycket av nyttan med bättre och mer optimal operativ omplanering står och faller med att tågen sedan kör enligt plan. Idag vet vi att så inte är fallet. Orsaken till detta är främst att dagens system inte tillåter att förarna har tillgång till den aktuella planen. När detta blir möjligt öppnas helt nya möjligheter. För att sätta in de beslutsstöd för trafikledning, som bl a utvecklas inom FLOAT-projektet, i ett större sammanhang ska vi här kortfattat diskutera även förarstöd och hur dessa måste samverka med stöden för trafikledarna.

12.1 Begreppet körbarhet

Från de försök som gjorts med CATO-systemet på Malmbanan, samt från andra studier, vet vi att förare är extremt duktiga på att köra enligt plan och pricka angivna målpunkter om de har tillgång till och förstår planen. Detta förutsätter att den plan som tas fram, och som kan genereras av de beslutsstöd som används, är *körbar*. Körbarhetsbegreppet är viktigt att beskriva och förstå i detalj när beslutsstöd utvecklas. Den genererade planen måste ha sådana egenskaper att förarna på ett effektivt sätt kan köra enligt den. Idag vet vi från studier med lokförare att de körplaner, tidtabeller, som idag tas fram ibland, eller t.o.m. ofta, inte är körbara i denna mening. De algoritmer som genererar nya planer måste innehålla bivillkor som garanterar körbarhet.

12.2 Tidigare forskning

Från tidigare forskning kan följande material vara användbart i fortsättningen.

Samspelet och kommunikationen mellan trafikledarna och lokförarna är en viktig del av den operativa trafikledningen och för att skapa möjligheter för tågen att kunna köra enligt aktuell realtidsplan (RTTP). I dagens system finns stora brister när det gäller effektiv kommunikation och information om ändringar i trafikplanen. Detta påverkar lokförarnas möjligheter att kunna planera sin körning mer långsiktigt och att följa realtidsplanen. Följderna blir bl a merarbete för trafikledarna, mindre optimal körning, störningar och förseningar, högre energiförbrukning, högre slitage på lok och vagnar och sammantaget ett suboptimalt kapacitetsutnyttjande.

Målet är att bättre kunna utnyttja den potentiella nytta som finns när nya system för operativ trafikstyrning införs. Detta förutsätter att alla aktörer kommer med i de slutna styrlooparna. I framtidens operativa trafikprocess är det därför nödvändigt att inkludera lokförarna på ett bättre sätt, stödja dem i deras körning, utveckla deras samverkan med trafikledningen samt införa sådana stödsystem som underlättar kommunikationen dem emellan.

En förutsättning för effektiv styrning av en process är slutna styrloopar. Det betyder att den som styr har en plan baserat på tydliga mål, kan påverka processen på ett adekvat sätt så att planen genomförs samt en god återkoppling om systemets aktuella tillstånd och förändringar. En bristande återkoppling gör det omöjligt att styra och att bygga upp de detaljerade mentala modeller som behövs för att förstå och kunna förutse systemets beteende som funktion av

olika styråtgärder. Detta betyder här att förarna måste kunna ge återkoppling i realtid om de inte kan köra enligt plan och att en ny realistisk plan (RTTP) då behöver tas fram.

12.3 Befintliga stödsystem, DAS och CGTO

Det finns internationellt ett antal olika stödsystem utvecklade för lokförare. Vi avser här stödsystem som ger lokföraren information som stödjer planeringen av körningen, inte system som främst är säkerhetsrelaterade, som t ex ERTMS/ETCS. Sådana system, kallade DAS (driver advisory system), har oftast ett tydligt syfte. Ett av de främsta syftena är "ecodriving", dvs ett stödsystem som hjälper lokföraren att köra energisnålt. Andra syften kan vara minskning av slitage (på fordon eller anläggningen), förbättring av rättidighet, ge information om omgivande trafiksituation, ersättning av linjebok på papper, förbättrat underlag för att informera passagerare osv. Vissa syften är mer intressanta eller viktiga för järnvägsföretagen medan andra är mer intressanta för infrastrukturhållaren.

De befintliga DAS skiljer sig också åt när det gäller den tekniska lösningen. Den mest grundläggande skillnad är om systemet är direkt uppkopplat mot trafikledningen (C-DAS, *connected*) eller inte. Ett system som inte är uppkopplat kan bara ge grundläggande information relaterad till ursprungliga tidtabellen samt tågets och banans egenskaper. Sådana system har en begränsad nytta för trafikledningen eftersom det inte relaterar till den plan som gäller. Ett uppkopplat system kan däremot ta emot och skicka information i realtid. Även här finns det stora skillnader beroende på ambitionsnivå och tillgänglighet av information. Funktionaliteten kan variera mycket.

Ett exempel på ett DAS är CATO-systemet, utvecklat av Transrail AB och installerat på malmtågen i Sverige. Systemet kan kommunicera med trafikledningscentralen och tar emot planeringsinformation i form av målpunkter i realtid. Systemet kan bekräfta närheten av målpunkter och beräkna en optimal körprofil som visas för lokföraren i ett separat gränssnitt. Det beräknar även kortaste möjliga gångtid, vilket levereras till trafikledaren som beslutsunderlag. Systemet realiserar konceptet Centrally Guided Train Operation, CGTO, dvs att tågen inte längre kör efter en obsolet tidtabell, utan utgående från den realtidsplan, RTTP, som fastställts av trafikledningen. Att skicka en realtidsplan till lokförarna är en grundförutsättning för att lokförarna ska kunna köra enligt aktuell plan istället för att (omedvetet) motverka den. CGTO ger helt nya möjligheter för att styra trafikprocessen, möjliggör en mer exakt planering och ett bättre utnyttjande av befintlig bankapacitet. Det minskar också behovet av omplanering som idag till stor del förorsakas av att tåg inte kör enligt plan. Trafikprocessen som helhet blir mer stabil och förutsägbar.

Inom järnvägsföretagen har man ett pågående utvecklingsarbete med förarstöd. Idag har man inte de tekniska möjligheterna att utveckla CGTO-system, utan man måste basera dessa på den ursprungliga planen. SJ har sedan ett par år arbetet med ett system kallat TrAppen. TrAppen innehåller arbetsplaner, ursprungliga tidtabellen och trafikinformation från SJs trafikledning. Dessutom kan TrAppen hämta den trafikinformation som är tillgänglig från Trafikverket och visar situationen för tåg i närheten. Informationen uppdateras dock med en viss fördröjning. Huvudtanken bakom TrAppen är eco-driving. Ett sätt att minska energi-

förbrukning är att visa lokföraren den genomsnittliga hastighet som behövs för att komma fram till nästa station i rätt tid. Målet är att undvika att tågen körs med för hög hastighet och kommer fram före tidtabellen. Det finns ingen uppkoppling till någon realtidsplan, dvs TrAppen är inte ett C-DAS.

TrAppen är idag så utvecklad och införd att det vore fullt möjligt att koppla upp systemet mot de STEG-system som är i drift. För SJs del vore detta intressantast att testa tillsammans med STEG i Norrköping. Förutsättningarna för detta borde utredas och möjliga samarbeten initieras.

12.4 Rekommendationer från tidigare forskning

Det är nödvändigt att integrera lokförarna i en mer planstyrd trafikprocess, med slutna styrloopar, dvs CGTO. Den realtidsplan, RTTP, som trafikledningen ska hålla kontinuerligt uppdaterad, måste följas av alla andra aktörer. För att uppnå detta måste lokförarna ha enkel tillgång till RTTP. Informationen måste överföras och visualiseras i loken på ett sådant sätt att varken lokförarnas eller trafikledarnas arbetsbelastning blir negativt påverkad. Samtidigt bör lokförarna ha möjligheten att på ett enkelt sätt överföra information till trafikledningen som är viktig för deras omplanering.

De olika rollernas kompetenser ska stärkas. Trafikledarna ansvarar för den operativa planeringen. Lokförarna ska bidra till planeringen med information som trafikledarna inte har tillgång till i dagsläget och de ska ges stöd i att framföra tåget så att planen genomförs. Det DAS som utvecklas ska stödja detta.

Den kartläggning och analys vi genomfört är en grund för fortsatt utvecklingsarbete. Det behövs mer undersökningar om vilken information som ska överföras och hur den ska presenteras hos trafikledare och i loket. De försök som gjorts i Boden (CATO) och på malmtågen är en god grund för detta arbete. Det är viktigt att visualiseringen i loket inte stör förarens uppmärksamhet på allt annat och på det som är säkerhetsrelaterat som spåret, signaler och ATC (i framtiden ERTMS/ETCS).

Andra aspekter, som kräver mer forskningsarbete tillsammans med järnvägsföretagen är att även integrera järnvägsföretagens egen interna information. Deras information angående t ex personal-, lok- och vagnomlopp har stor inverkan på planeringen hos trafikledningen och förarna.

Det behövs också mer utredningar av skillnader mellan olika trafikslag som godstrafik, snabbtågstrafik, pendeltågstrafik etc. Varje trafikslag har många gemensamma, men säkert även vissa särskilda, behov.

13 Utvärderingar, återkoppling och framtida utveckling

13.1 Ett användarcentrerat perspektiv

Ska de utvecklade beslutsstöden bli accepterade av trafikledarna och bidra till snabbare och bättre operativ omplanering är det nödvändigt att arbeta enligt en användarcentrerad modell. Grunderna för detta har diskuterats i slutrapporten från FOT-projektet. Det finns dock anledning att ta upp några punkter lite mer utförligt här, inför utvecklingen av framtida beslutsstöd.

Att arbeta enligt en användarcentrerad modell betyder inte att man bara frågar användarna vad de vill ha och sedan utvecklar baserat på det. Dagens användare kan ha mycket svårt att förstå behov, krav och möjligheter i framtida lösningar. De är experter på dagens arbete och måste ges fungerande möjligheter för att bli kreativa och kunna se till vad som är framtida behov och möjligheter. För detta behövs en fungerande arbetsprocess och ett bra expertstöd. Ges dagens användare möjligheter till reflektion och får stöd av kompletterande kompetenser kan deras analys och slutsatser bli mycket viktiga för utformningen av morgondagens system och arbetsprocesser. Samtidigt kan experterna på tekniken inte sätta sig in i användarnas arbete och behov nog detaljerat för att själva kunna ta beslut om utformning, utveckling och införande av framtida lösningar. Kunskap, om hur vi människor i grunden är konstruerade, kombinerat med erfarenhet av hur system ska byggas så att de blir användbara för proffs i arbetssituationer, är också nödvändig. Tillsammans, med nog tid och resurser samt med hjälp av en fungerande arbetsprocess, kan man hitta välgrundade och i praktiken fungerande lösningar.

En mycket viktig input till förändringsarbetet är den kunskap som forskningen kan bidra med. Om utformningen av de nya systemen grundar sig på ”vetenskap och beprövad erfarenhet” är sannolikheten att resultatet blir effektiva, hållbara och i praktiken fungerande system. Den forskningsgrund som bl a presenterats i slutrapporten från FOT-projektet kan vara en god grund.

13.2 Utvärderingar

En grundläggande del i ett användarcentrerat förändringsarbete, baserat på aktivt användardeltagande och iterativ prototyputveckling, är återkommande utvärderingar. Det är oftast inte möjligt att förstå behov, krav, hur bra prototyper fungerar etc., utan att göra tester och utvärdera dessa. Inför det fortsatta forsknings- och utvecklingsarbetet måste mer detaljerade planer för utvärderingar göras. Några riktlinjer inför detta är:

- Den operativa personalen, de som har detaljerad kunskap om arbetet i praktiken, måste involveras på ett i praktiken fungerande sätt.
- Utvärderingar måste göras återkommande, som del av en iterativ process.
- Den grundläggande utvärderingen bör vara kvalitativ, dvs basera sig på trafikledarnas bedömningar av hur väl de utvecklade systemen stödjer deras beslutsfattande. Man kan inte utgå från spontana eller löst grundade uppfattningar utan måste ge deltagarna

möjligheter att verkligen sätta sig in i problemetiken och se framtida potentiella lösningar, men grundat i deras kunskaper. Metoder för detta finns (målbildsarbete, användarcentrerad systemdesign etc.).

- Kvantitativa analyser kan komplettera de kvalitativa. Algoritmerna i sig levererar alltid analyser av vilket utfallet av omplaneringar blir, i de kvalitetstermer som definierats. Att göra kvantitativa analyser i praktiken är alltid svårt då situationerna alltid påverkas av ett antal yttre okontrollerbara faktorer.
- Man bör följa upp hur det fungerar i praktiken då system börjar tas i verklig drift. I komplexa arbetsituationer är det först när man får erfarenhet av skarp drift man med säkerhet kan avgöra vad som fungerar bra och hur man borde byggt systemet.

13.3 Den framtida utvecklingen

Man kan inte räkna med att ta fram i praktiken fungerande beslutsstöd och införa dessa på ett fullständigt sätt från början. Utvecklingen och införandet bör göras stegvis i den takt som man ser att de successiva förändringarna fungerar i praktiken och medför nytta. Dvs starta enkelt. Utvärdera först i testmiljö. Ta fram enkla stödsystem som kan integreras i den operativa miljön och utvärderas. Lagg ner nödvändiga resurser på införandet och ge den operativa personalen inflytande, förståelse, utbildning och stöd. Utvärdera grundligt och tillsammans med användarna. Basera den fortsatta utvecklingen på erfarenheterna från detta.

Skälen till råden ovan är att erfarenheterna visar att det aldrig fungerat att ta stora tekniksprång av denna art i en så komplex verksamhet. Det leder till problem och motstånd. En stegvis utveckling är mer framkomlig och bör dessutom beakta följande:

- Det är svårt att förändra arbetssätt och utnyttja mer avancerade stödsystem direkt, utan man måste stödja ett stegvis mognade. Då man kan använda enklare stöd börjar man inse behovet och möjligheterna att gå vidare.
- Behov inom organisationen kommer också att utvecklas då man ser vad som är möjligt. Andra system behöver kanske också anpassas för att helheten ska fungera bra.
- Kunskaper och kompetens utvecklas hos alla parter, både den operativa och forskarna. Utvecklingen kan därför styras in i banor som leder till fungerande system.
- De tekniska möjligheterna att utveckla och införa mer avancerade system förändras över tiden och då kan nya lösningar bli möjliga.
- Tekniken och infrastrukturen blir (förhoppningsvis) mer enhetlig, mindre komplex och stabilare. Då så är fallet finns tillgång till information som är av en högre kvalitet vilket möjliggör nya lösningar.

14 Fortsatt arbete

Resultaten från detta projekt, BAOT, avser att lägga en grund för det fortsatta arbetet med optimerande beslutsstöd för den operativa trafikledningen. Syftet är att ta fram kunskaper som behövs för att få stödssystem att fungera i praktiken, i morgondagens svenska organisation. Forskningen om algoritmer och teoretiska ansatser har pågått länge, men den praktiska tillämpningen har varit svår att åstadkomma. Förhoppningen är att det material som presenteras i denna rapport både ska stödja en framgångsrik fortsatt utveckling och hindra att man gör onödiga misstag.

Det återsår en hel del arbete innan alla problem är lösta och man framgångsrikt kan inkludera mer avancerade beslutsstöd i styrsystemen. Vi ser att följande fortsatta insatser är viktiga:

- Fortsatta studier av situationer där beslutsstöd av olika art kan vara motiverade och effektiva. De grundläggande situationerna och kraven har identifierats i denna rapport, men mer detaljer om dessa samt möjligheterna att ta fram andra slags stöd behöver studeras mera ingående. Arbetet med att ta fram fler konkreta scenarier, exempel på algoritmlösningar av omplaneringsproblem samt utvärderingar av detta bör fortsätta.
- En sak som speciellt behöver utredas är var, i vilka situationer samt hur mer autonoma system kan vara motiverade och fungerande. Troligen, speciellt när de organisatoriska och tekniska förutsättningarna förbättrats, kan man hitta kritiska spårrområden där en mer autonom och automatisk trafikledning vore genomförbar.
- Hur gör trafikledare egentligen? Hur skulle de kunna göra, givet att de nya operativa systemen införts, dvs NTL m.m.? I vår forskning nu och tidigare har vi tagit fram en del erfarenheter av att studera hur dagens omplanering går till och vad resultatet blir. Vi har sett att trafikledare gör olika och har delvis olika mål för omplanering. Mer kunskaper om hur trafikledare tänker och agerar i samverkan med beslutsstöd behöver dock utvecklas.
- Beslutsstöd för samordning av planer mellan trafikledares behörighetsområden inom och mellan trafikcentraler, över längre sträckor och mellan regioner, måste utvecklas.
- Vilka slags beslutsstöd och andra organisatoriska lösningar behövs för att kunna hantera stora störningar? Inom EU-projektet Ontime (Se t ex: *D 5.1 Functional and technical requirements specification for large scale perturbation management*) har detta till viss del studerats, men någon mer omfattande studie utgående från svenska krav har inte gjorts. Vid större störningar behöver många olika aktörer samverka. De beslutsstöd som de olika aktörerna ska använda behöver utvecklas och samverka. Ett projekt, eller i alla fall en mer omfattande förstudie, för att ta fram grunderna för fortsatt forskning och utveckling runt detta borde initieras.
- Utreda kraven på kvalitet i indata till trafikledning och till stödjande algoritmer. Idag finns stora brister som försvårar utvecklingen av beslutsstöd. Det behövs mer utredning om dagens brister som vilka krav framtida beslutsstöd ställer på kvalitet. De noggranna data som varje tågfärd genererar ger goda möjligheter att validera gångtider och uppehållstider. Trafikledares och förarens detaljkunskap om trafikprocess och anläggning är en utmärkt resurs i arbetet med uppföljning och utvärdering.

- Studier av vad som är relevanta mått på kvalitet i operativ omplanering, i operativa planer samt hur sådana mått ska presenteras för trafikledare och andra aktörer. Vi ser t ex att det vore ett enkelt första steg att presentera kvalitetsmått, t ex i termer av robusthet, för trafikledare. Därigenom skulle de få en god återkoppling av kvaliteten i omplaneringen. Försök med detta bör göras, lämpligen kopplat till användningen av STEG i Boden och Norrköping samt som en del av utvecklingen av NTL.
- Man bör utveckla en försöksmiljö där prototyper av beslutsstöd kan testas och utvärderas. Detta behövs för det iterativa användarcentrerade arbetet, dvs för utveckling av prototyper och iterativa tester i en anpassad testmiljö. En sådan testmiljö kan med fördel utvecklas i samverkan med de simulatorsystem som håller på att införas inom Trafikverket.
- Fortsatt arbete med en mer detaljerad utformning av gränssnittet mellan beslutsstöd och trafikledare. Detta är en del av arbetet med prototyper av beslutsstöd och handlar om hur man på bästa sätt kan stödja interaktionen mellan trafikledarna och stödsystemen. En del riktlinjer för detta har presenterats i denna rapport, men det detaljerade designarbetet återstår.
- Inför det fortsatta forsknings- och utvecklingsarbetet måste mer detaljerade planer för olika slags utvärderingar utarbetas. Detta är också en del av den iterativa användarcentrerade processen.
- Lokförarnas beslutsstöd måste vidareutvecklas och integreras med trafikledarnas. Den kartläggning och analys som tidigare genomförts är en grund för fortsatt forsknings- och utvecklingsarbete. Det behövs dock mer undersökningar om vilken information som ska överföras dem emellan och hur den ska presenteras hos trafikledare och i loket. De försök som gjorts inom EU-projektet Ontime samt i Boden med koppling till malmtågen (CATO) är en god grund för detta arbete. Det arbete som SJ bedriver med sitt system TrAppen likaså. Beslutsstöden behövs stödja en god samverkan mellan aktörerna. Mer kunskap om problemen med detta samt förslag till såväl enklare system som kan införas snarast samt mer avancerade framtida system bör tas fram.

15 Samarbeten

BAOT-projektet innebär främst ett samarbete med KAJT-projektet FLOAT.

I övrigt har vi under de senaste åren samarbetet med ett antal andra forskargrupper som vi har kontakt med via EU-projektet ONTIME samt genom kontakter i samband med internationella konferenser. Dessa är främst:

- University of Nottingham
- University of Birmingham
- Technische Universität Dresden
- Technische Universität Braunschweig
- DLR Braunschweig
- TU Delft
- DB, Deutsche Bahn AG, Tyskland
- University of Bologna

16 KAJT branschprogram

Projektet ingår i branschprogrammet KAJT, Kapacitet i Järnvägstrafiken.

Branschprogrammet avser att förstärka järnvägssystemets förmåga att tillgodose samhällets transportbehov. Målet för forskningen inom programmet är att optimera nyttjandet av järnvägssystemet och utforma effektiva och pålitliga trafikflöden med tillhörande tjänster. Branschprogrammet bidrar till att utifrån infrastrukturella förutsättningar på strategisk, taktisk och operativ nivå ge järnvägsbranschen bättre koncept, verktyg och metoder så att svensk järnväg blir världsledande inom effektivitet, kvalitet och flexibilitet.

KAJT:s syfte är:

- Att genom forskning bidra till bättre nytta av järnvägssystemet för medborgare och näringsliv.
- Att utöva forskning inom kärn- och komplementområden och publicera resultat.
- Att i forskningen beakta alla intressentgruppers aspekter: medborgare, näringsliv, infrastrukturhållare, järnvägsoperatörer, entreprenörer och systemleverantörer.
- Att verka för att forskningsresultaten kan omsättas i tillämpbara processer och verktyg.
- Att bidra till kompetensutveckling och kompetensspridning inom och utanför branschprogrammet

Mer information om KAJT och den forskning som bedrivs finns att få via länkarna <http://kajt.org/index.html> samt <http://kajt.org/forskning/rapporter.html>.

BAOT-projektet är ett samverkansprojekt med FLOAT-projektet (FLEXibel Omplanering Av Tåglägen i drift).

17 Forskningspersonal

Följande personer har varit engagerade i forskningsarbetet

- Arne W Andersson, 1:e forskningsingenjör
- Bengt Sandblad, professor
- Simon Tschirner, Fil.dr. (tidigare doktorand)
- Anders Jansson, professor (tidigare faser av projektet)

18 Publikationer och referenser

Våra vetenskapliga publikationer och en del av tidigare projektrapporter finns tillgängliga via länken: <http://www.it.uu.se/research/project/fts>.

Nedanstående publikationer redovisar forskning som till viss del är relaterad till projektet BAOT, även om de till större delen handlar om den forskning som bedrivs inom andra projekt om operativ tågtrafikstyrning. De innehåller delar som handlar om beslutsstöd

18.1 Akademiska avhandlingar

Tschirner, Simon (2015). The GMOC Model: Supporting Development of Systems for Human Control. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology, ISSN 1651-6214 ; 1237. Doktorsavhandling 2015. (<http://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A794826&dswid=4925>)

18.2 Artiklar i tidskrifter och på internationella konferenser

Törnquist Krasemann, J. (2015). Configuration of an optimization-based decision support for railway traffic management in different contexts. (<http://bth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A809425&dswid=6987>)

Sandblad B, Andersson AW, Tschirner S. (2015). Information systems for cooperation in operational train traffic control. *Procedia Manufacturing* 3 (2015) 2882 – 2888. Elsevier.
Sandblad B., Andersson A.W., Tschirner S. (2015). RTTP – The concept of a real-time traffic plan supporting cooperation in train traffic control and operation. *Rail Human Factors* 2015, London.

Tschirner S., Sandblad B., Andersson A. W. (2014). Solutions to the problem of inconsistent plans in railway traffic operation. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrtpm.2014.10.002>.

Sandblad B., Tschirner S. and Andersson A.W. (2014). Automation in train traffic control. *Applied Human Factors and Ergonomics, AHFE 2015, Krakow, Polen, July 2014*

Tschirner S, Sandblad B, Andersson A.W. (2014). Solutions to the problem of inconsistent plans in railway traffic operation. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. Volume 4, Issue 4, December 2014, Pages 87-97

Tschirner S., Andersson A.W., Sandblad B. (2013). Improved Railway Service by Shared Traffic Information. Concepts for the Design of Systems for Traffic Control and Driver Advice. *IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (IEEE ICIRT 2013)*, Beijing, China.

Tschirner S., Sandblad B., Andersson A. W., Hellström P., Isaksson-Lutteman G. (2013). Analysis of collaboration applied to train drivers and train traffic controllers in Sweden. In: Dadashi et al, ed.: Rail Human Factors: Supporting reliability, safety and cost reduction. Taylor & Francis, 2013.

Tschirner S., Andersson A.W., Sandblad B. (2013). Designing train driver advisory systems for situation awareness. In: Dadashi et al, ed.: Rail Human Factors: Supporting reliability, safety and cost reduction. Taylor & Francis, 2013.

Golightly D., Andersson A.W., Dadashi N., Sandblad B., Sharples S., Tschirner S. (2013). A sociotechnical comparison of automated traffic control between GB and Sweden. In: Dadashi et al, ed.: Rail Human Factors: Supporting reliability, safety and cost reduction. Taylor & Francis, 2013.

18.3 Tekniska rapporter

18.3.1 Rapporter från EU-projektet ONTIME

D1.1 Principles, Definitions and Requirements.

(<http://kajt.org/onewebmedia/ONT-WP01-D-NRI-029-02%20-%20D1.1%20Principles%20Definitions%20and%20Requirements.pdf>)

D1.2 A framework for developing an objective function for evaluating work package solutions (Cost function)

(<http://kajt.org/onewebmedia/ONT-WP01-D-NRI-030-02%20-%20D1.2%20-%20A%20framework%20for%20developing%20an%20objective%20function%20for%20evaluating%20work%20package%20solutions%20.pdf>)

D2.1 Review of capacity restrictions, railway planning, problem description and existing approaches.

(<http://kajt.org/onewebmedia/ONT-WP02-D-UOB-031-04%20-%20D2.1%20-%20Review%20of%20capacity%20restriction%20problem%20description%20and%20existing%20approaches.pdf>)

D 2.3 A strategy for putting methods in to practice and a formal evaluation of demonstrators.

(http://kajt.org/onewebmedia/D2%203%20Evaluation%20of%20innovations%20and%20putting%20methods%20into%20practice%202014-11-03%20Trafikverket_DAPP.pdf)

D3.1 Methods and algorithms for the development of robust and resilient timetables.

(<http://kajt.org/onewebmedia/ONT-WP03-D-TUT-034-01%20-%20D3.1%20Methods%20and%20algorithms%20for%20the%20development%20of%20%20Robust%20and%20resilient%20timetables.pdf>)

D4.1 Functional and technical requirements specification for perturbation management.

Rapport från EU-projektet ONTIME.

(<http://www.ontime-project.eu/download.aspx?id=9c60a6ae-1701-4f6b-9887-fb154d0b8b72>)

D4.2 Tools for real-time perturbation management including human machine interface.
(<http://www.ontime-project.eu/download.aspx?id=fe953c49-3a42-4fc8-8b1a-0ca169b8dab0>)

D 5.1 Functional and technical requirements specification for large scale perturbation management.
(<http://www.ontime-project.eu/download.aspx?id=2cf2b944-4e1b-4d60-86b7-3c35bb88cc7e>)

D8.4 Demonstration Scenario 3. Iron Ore Line.
(<http://kajt.org/onewebmedia/ONT-WP08-D-UOU-007-02%20-%20D8.4%20Simulations%20of%20the%20Iron%20Ore%20Line.pdf>)

18.3.2 Andra projektrapporter

Sandblad B, Andersson AW, Tschirner S. (2015)

Framtida tågtrafikstyrning. Sammanfattande forskningsrapport samt slutrapport från FOT-projektet.

(<http://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/pages/PublikationVisa.aspx?PublikationId=2848>)

Sandblad B, Andersson AW. (2015)

Den framtida operativa trafikbilden. Olika intressenters framtida behov av operativ trafikinformation och samverkan.

(<http://kajt.org/onewebmedia/Trafikbilder%2C%20slutrapport.pdf>)