

## Anvendelse af OR-metoder til planlægningen i S-tog

Steen Larsen, Civilingeniør  
Afdelingschef  
Produktionsplanlægning, DSB S-tog a/s

### **Abstract**

S-tog har gennem de sidste 4-5 år målrettet øget anvendelsen af OR-metoder i den strategiske, den langsigtede planlægning og den kortsigtede planlægning. Dette er sket ved rekruttering af en række nye medarbejdere, investering i nye IT-systemer og samarbejde med eksterne konsulenter og forskningsinstitutioner. Kombineret med den mangeårige erfaring med trafikplanlægning, som findes i S-tog har disse nye tiltag forbløffende hurtigt båret frugt, og resultaterne kan allerede nu ses. Artiklen giver et indtryk af nogle af de metoder, der har været anvendt samt en indikation af de opnåede resultater.

## 1. Indledning

En stor del af S-togs omkostninger er direkte relateret til selve togdriften. For disse omkostninger gælder det, at de primært dimensioneres af køreplanen. Selvom køreplanen dimensionerer omkostningsniveauet, er der ved den efterfølgende planlægning af materielomløb og tjenester stadig mulighed for at minimere de endelige driftsomkostninger.

I de følgende afsnit, hvorledes S-tog gennem de seneste år har reduceret omkostningsniveauet gennem brug af metoder kendt fra operationsanalysen (OR). Der vil endvidere blive givet nogle udvalgte eksempler på de opnåede resultater.

Resultaterne er skabt ved at

- rekruttere nye medarbejdere med kendskab til OR
- kombinere ”gamle” medarbejders erfaring med ”nye” medarbejders OR-viden
- indføre nye IT-værktøjer
- bruge eksterne konsulenter
- samarbejde med forskningsinstitutioner

De mest markante resultater er nået indenfor materielplanlægningen, hvor besparelserne er på ca 13%.

## 2. Planlægningsprocessen

Skematisk kan det tidsmæssige forløb i DSB S-togs planlægning tegnes som vist i nedenfor.



Grundet det sekventielle forløb er det nødvendigt allerede under køreplanlægningen nødvendigt at kunne estimere det endelige omkostningsniveau, idet vedtagelsen af en køreplan normalt sker forud for den efterfølgende detailplanlægning. Tilsvarende er det vigtigt på baggrund af materielplanlægningen at kunne vurdere de afledte lønomkostninger til lokomotivførerne og så fremdeles.

For at opnå en drift, der kan gennemføres med minimale omkostninger, er det derfor essentielt at kunne estimere ud fra mange forskellige sæt af forudsætninger afhængigt af, hvor i processen man befinder sig. Allerede tidligt i køreplanlægningsprocessen er der behov for at

kunne vurdere forskellige udkast til køreplaner ifht hinanden, f.eks hvad angår materielforbrug og personalebehov. Sådanne vurderinger sker typisk ud fra nøgletalsmodeller og simple beregninger. Når køreplanen senere foreligger på et detaljeret niveau kan mere nøjagtige beregningsmetoder tages i anvendelse, hvorved omkostningerne kan estimeres mere præcist. Men det er først, når den færdige køreplan foreligger, at det er muligt at foretage den endelige planlægning og dermed fastlægge det endelige omkostningsniveau. Da tidsfaktoren ofte gør det umuligt at ændre en allerede godkendt køreplan, er det vigtigt at sikre, at det endelige omkostningsniveau ikke afviger væsentligt fra de tidlige estimater.

## 2.1 Køreplanlægning

Da det i denne artikel er valgt at lægge hovedvægten på beregninger og optimeringer, der først foretages efter, at køreplanen er vedtaget, vil de betragtninger, der foretages ifbm den grundlæggende køreplanlægning, kun summarisk blive berørt.

Nogle af de betragtninger man tidligt må gøre sig ifbm køreplanlægningen er

- Modelberegning af passagerprognoser
- Beregning af materielforbrug, herunder udnyttelse af siddepladskapaciteten
- Beregning af kørte togsætkm, herunder
  - Energiforbrug
  - Omkostninger til vedligehold og eftersyn
- Beregning af personaleforbrug, først og fremmest til lokomotivførere

I forbindelse med optimeringen af materielforbruget er der udviklet en model, der kan dels minimere antallet af indsatte togstammer dels udjævne frekvensen af togafgange på de største stationer og bla samtidig overholde minimum togfølge, minimum vendetider og udvalgte omstigningstider. Erfaringerne med brugen af denne model viser, at det har været muligt at vurdere

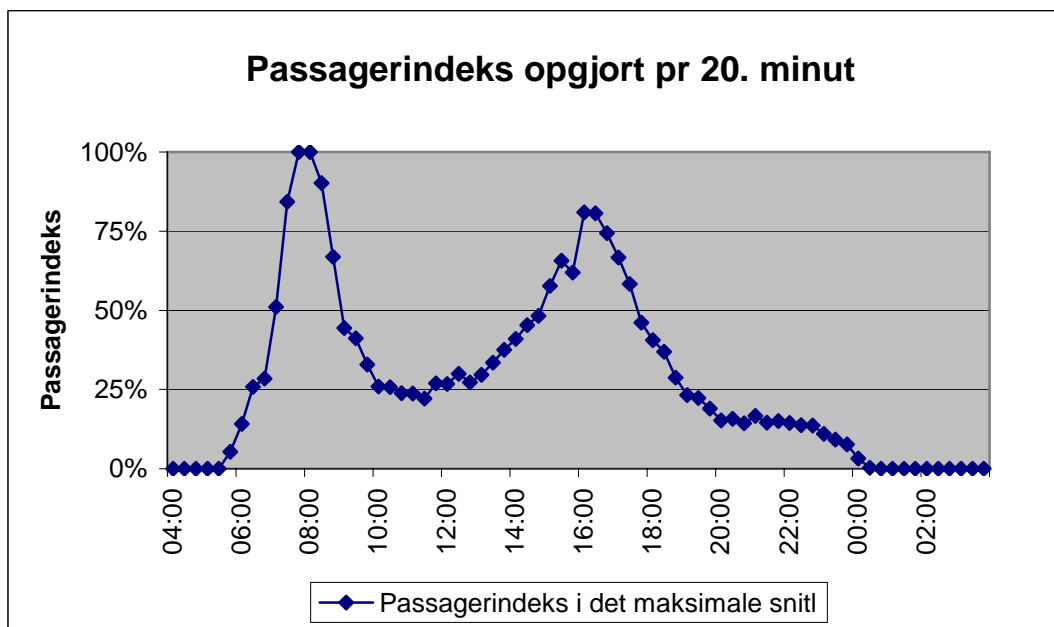
- effekten af en forbedret infrastruktur
- ændrede omstigningstider
- omkostningen ved en mere robust køreplan.

## 2.2 Materielplanlægning

Når køreplanen foreligger, er den vigtigste opgave i materielplanlægningen at minimere antallet af kørte togsætkm - uden at det påvirker kundetilfredsheden negativt. Kundens tilfredshed måles regelmæssigt i kundeundersøgelserne, hvor der spørges til ”mulighed for at

komme til at sidde ned” ligesom antallet af kundehenvendelser vedr pladsmangel i togene overvåges nøje.

Ved optimeringen af materielindsættelsen tages udgangspunkt i de maksimale passagertal på de enkelte strækninger. Den følgende figur viser den typiske variation i antallet af passagerer henover et hverdagsdøgn.



Til optimering af materielindsættelsen i myldretiderne er der udviklet en model, som overordnet set kan tilgodeses et eller flere af følgende forhold

- Minimere antallet af anvendte togsæt
- Minimere antallet af kørte togsætkm
- Minimere antallet af stående passagerer, her arbejdes med 2 varianter
  - Stående passagerer tillades ikke
  - Der må kun være en vis procentdel stående passagerer
- Maksimere drifts- og værkstedsreserverne
- Maksimere siddepladskapaciteten i myldretiden
- Maksimere det tidsrum, hvor den ønskede myldretidskapacitet kan opretholdes

Når passagertallene er modelleret på grundlag af registreringerne i vores datawarehouse, kan der køres adskillige modelberegninger på blot en enkelt arbejdsdag. Modellen bruges både ifbm vurderingen af materielbehovet i de indledende faser af køreplanlægningen og i den efterfølgende planlægning af driften. En væsentlig forudsætning for validiteten af disse beregninger er naturligvis, at de passagertal, der lægges til grund for optimeringerne, er modelleret troværdigt. En stor usikkerhedsfaktor er, hvordan helt nye opbygninger af køreplanen vil påvirke rejsemønstret og antallet af passagerer.

Da den første prototype blev taget i anvendelse i 2003, gav det en reduktion i driftsbehovet for togsæt på ca 7% og en reduktion i de kørte togsætkm på ca 9%. Besparelserne blev opnået ved at først at foretage en modelberegning og dernæst manuelt justere de fundne løsninger. Siden 2003 har vi foretaget regelmæssige justeringer både i myldretiderne, men også mere præcise op- og nedformeringer af togstørrelserne henover driftsdøgnet. Status i 2005 er en besparelse på ca 13% af de kørte togsætkm, en besparelse der både skyldes de anvendte optimeringsmetoder og den løbende udskiftning af togflåden til togsæt med ca 30% flere siddepladser. I den kommende periode vil S-tog endvidere ibrugtage 31 nye 4-vogns togsæt ("halve togsæt"), hvilket forventes at give mulighed for en yderligere reduktion i antallet af togsætkm på helt op til 10% - vel at mærke uden at reducere kundetilfredsheden.

Afslutningsvist kan det nævnes, at DSB og S-tog er i gang med at implementere et nyt omløbsplanlægningssystem, der vil indeholde langt flere muligheder end beskrevet ovenfor. I S-tog er forventningen til det nye system at kunne dels optimere driften yderligere dels gennemføre planlægningsprocessen langt hurtigere end i dag.

## **2.3 Personaleplanlægning**

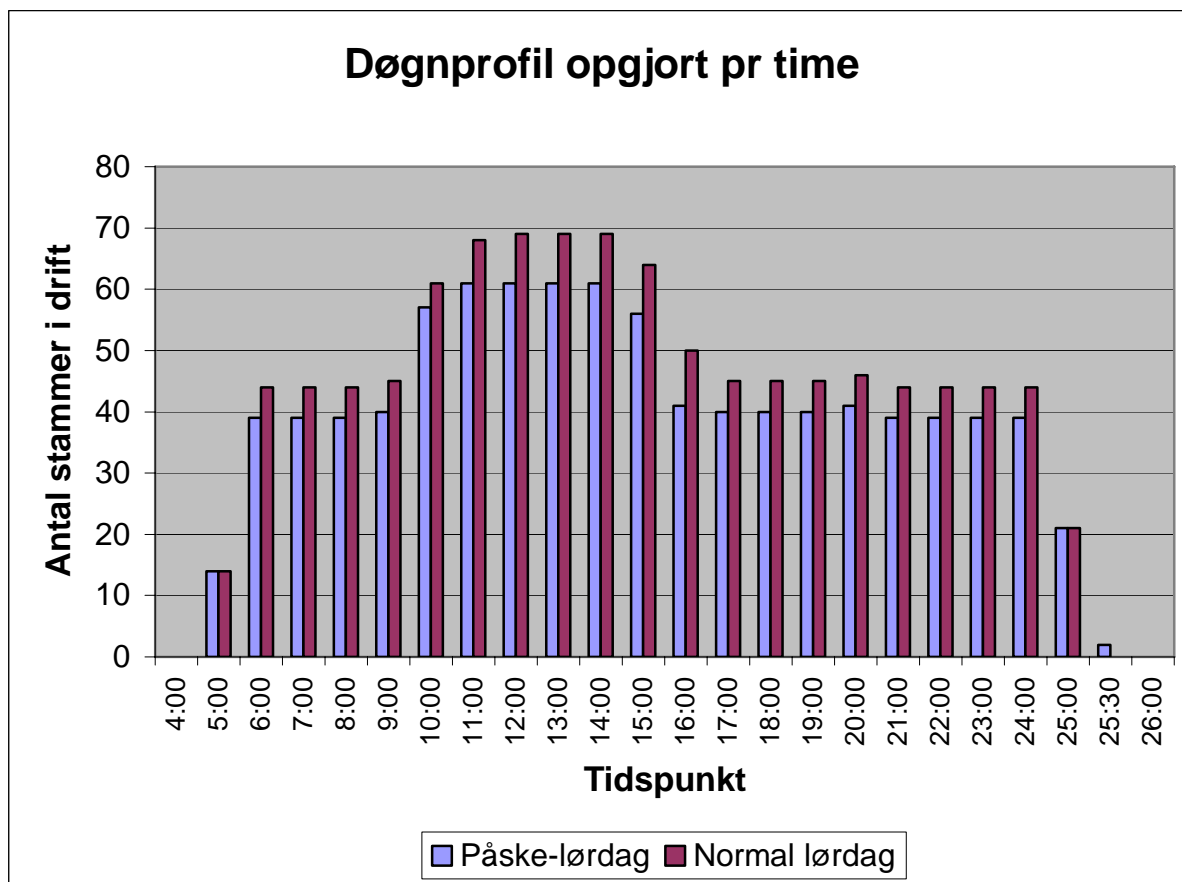
Når materielplanerne foreligger, starter personaleplanlægningen, hvilket i S-tog vil sige opbygningen af lokomotivførertjenesterne. Dette er en ganske kompliceret opgave, der indtil for nyligt blev udført manuelt. I de seneste år har vi arbejdet med at indføre IT-værktøjer, der automatisk kan bygge tjenesterne. Det har givet en række fordele, hvoraf kan nævnes

- Mere effektive tjenester
- Hurtigere gennemløb af planlægningsprocessen
- Mulighed at arbejde med flere alternative sæt af tjenester
- Modellere hensyn til arbejdsmiljøet
- Nærmere udarbejdelse af nødplaner baseret på de ordinære tjenester

Siden vi i 2002 introducerede sådanne automatikker, er den tid lokomotivførerne sidder i toget øget med ca 12 minutter pr tjeneste, hvilket alene svarer til en besparelse på ca 3%. I dag genereres en stor del af tjenestesættet automatisk kombineret med manuelle planlægning, hvor dette skønnes hensigtsmæssigt.

Ovennævnte beregninger kræver et meget detaljeret datagrundlag, hvor bla hele materielplanen og overenskomsterne er indlæst. I en række tilfælde, f.eks i tidligere faser af planlægningen kan det være ønskværdigt, at kunne danne sig et indtryk af hvad en ændring, f.eks en justeret køreplan ifbm et sporarbejde, vil betyde for tjenesterne. Her har vi gode erfaringer med, at foretage marginalbetragtninger ifht døgnprofilen for materielindsættelsen. Den

følgende figur viser forskellen på profilen for antallet af togstammer under et sporarbejde påske-lørdag i 2005 sammenlignet med en normal lørdag.



Som det ses af figuren er trafikubuddet mindre denne påske-lørdag end på en lørdag uden sporarbejde. For at vurdere, hvor mange tjenester, der er i overskud ifht en normal lørdag, arbejder vi med skabeloner for en typisk tjeneste. En sådan skabelon kunne f.eks dække 7 timer og indeholde

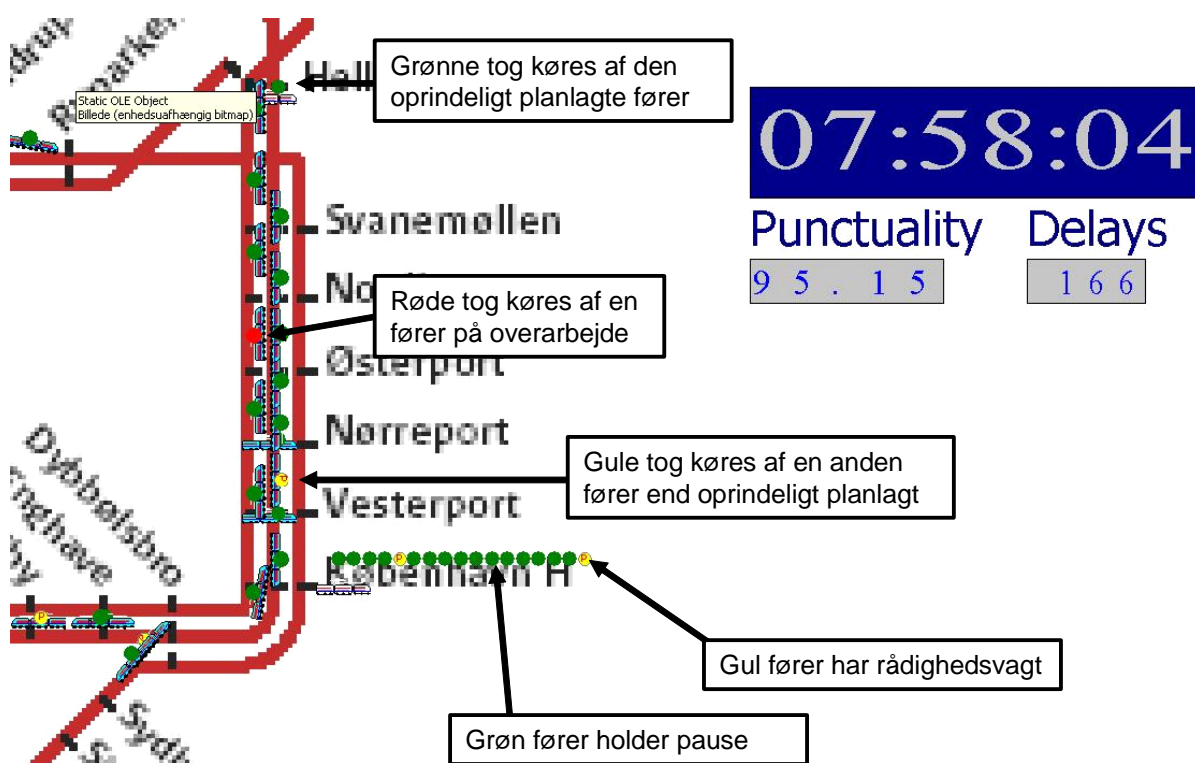
- Check-ind
- Kørsel
- Pause
- Kørsel
- Pause
- Kørsel
- Check-ud

Ved at modellere, hvorledes sådanne skabelon-tjenester kan indpasses i forskellen mellem de 2 profiler, kan det hurtigt estimeres, hvor mange rådighedstjenester, der kan skabes, samt behovet for at indkalde ekstrapersonale.

I det her viste eksempel, ses det relativt nemt, at der er behov for 2 ekstra tjenester sidst på døgnet, hvor der er 2 stammer mere i drift end normalt. Samtidigt viser beregningerne, at der teoretisk set bør kunne frigives ressourcer svarende til 18 rådighedstjenester. Det er på grundlag af sådanne overslag, at planlæggerne tilrettelægger korrigeringen af de ordinære tjenester ifbm sporarbejder. Da vi for et par år siden introducerede denne metode faldt behovet for overarbejdstjenester grundet sporarbejder med ca 75%. I øjeblikket arbejder vi på at udvikle metoden fra at give valide resultater ved marginalbetragtninger til også at kunne estimere det "minimale" antal tjenester, der kan dække en given profil. Dette vil f.eks være interessant, hvis man ved introduktionen af en ny køreplan ændrer døgprofilen markant.

Når man opbygger tjenester er der dog også andre hensyn at tage end de rent økonomiske. Et andet og lige så vigtigt aspekt er at kunne vurdere om planen er robust overfor driftsforstyrrelser. Ses der bort fra de store forstyrrelser og betragtes kun de mindre hændelser, der forekommer dagligt, f.eks mindre forsinkelser grundet passagerforhold eller pludseligt opstået fravær i lokomotivførerstyrken, er det vigtig, at sådanne hændelser ikke får en uforholdsmæssig stor indflydelse på togenes regularitet. Til at undersøge robustheden i et sæt tjenester har vi fået udviklet et IT-værktøj, der vha stokastisk simulation kan teste robustheden.

Den følgende figur viser et skærmpoint fra den første prototype.



Figuren viser situationen i et simuleret driftsdøgn frem til klokken 7:58, hvor der har været 166 forsinkelser og en regularitet på 95,15%. Farvemarkeringsen på de enkelte tog viser om toget fremføres som planlagt. På København vises bemandsingssituationen i opholdslokalet.

En robust hverdag er ikke kun til gavn for kunderne, men giver også S-tog's frontpersonale en mindre stresset hverdag med et bedre arbejdsmiljø og en øget medarbejdertilfredshed til følge.

På længere sigt er det tanken at anvende sådanne simuleringer ifbm analyser af diverse scenarier forud for en endelig beslutning om strukturelle ændringer i driften.

## **2.4 Personale- og materieldisponering**

Pt råder vi ikke over egentlige værktøjer til beslutningsstøtte i realtids-disponeringen af drifts-afviklingen. Dette er dog undervejs for så vidt angår personale-disponeringen, da det IT-værktøj, der anvendes til tjenesteplanlægning også skal kunne varetage personale-disponeringen. Det er således ambitionerne både at kunne forudsige og detektere drifts-forstyrrelser allerede i opstarten, således at evt korrigerende handlinger kan iværksættes tidligere end i dag.

Herudover er vi ved at undersøge fordelene ved at have prædefinerede nødplaner liggende for et større antal "situationer". Ideen er, at vi ved driftsforstyrrelser automatisk skal kunne skifte fra normal driftsafvikling til den bedste af de prædefinerede nødplaner. Disse planer skal omfatte justeringer til både tjenesterne og materielomløbene. Herved håber vi at kunne minimere generne for kunderne ved en driftsuorden.

Vi ser også løbende på mulighederne for selv at udvikle små nyttige værktøjer, som kan hjælpe disponenterne ifbm genopretningen af driften efter en driftsuorden. Der er således i Excel udviklet et "genindsættelses-skema", som ud fra nogle få oplysninger om materiellets aktuelle placering under en driftsuorden kan optimere indsættelsen af både materiel og lokomotivførere, når der skal genoprettes til normal drift.

## **3. Hovedresultater**

Skal jeg pege på hovedresultaterne ved at anvende OR-metoder ifbm planlægningen i en virksomhed som S-tog, vil jeg pege på følgende

- Markante omkostningsreduktioner
- Bedre mulighed for at tilgodese arbejdsmiljøet.
- Bedre mulighed for at vurdere økonomien i planlægningens tidlige faser
- Bedre mulighed for at arbejde ud fra forskellige grader af detaljering
- Bedre mulighed for at arbejde på et strategisk niveau
- Planlægningsprocessen kan gennemføres hurtigere
- Indføre ændringer som ikke tidligere var muligt til gavn for kunderne



Selv om indførelsen af nye metoder og værktøjer i planlægningen har betydet øgede omkostninger til både løn og IT-systemer, er der de sidste år genereret årlige besparelser på mere end det dobbelte af afdelingsbudgettet for produktionsplanlægningen. Besparelserne er hentet både ved at forbedre den langsigtede planlægning og den kortsigtede korrigerende af planerne for personale og materiel.

I løbet af sommeren 2005 har der været en række hastighedsnedsættelser på S-banen. Som en konsekvens heraf blev det besluttet at lave en midlertidig særkøreplan. En så gennemgribende ændring af køreplanen er normalt ganske tidskrævende. Men grundet de for kunderne generende forsinkelser valgte man at iværksætte en særkøreplan med kun lidt over en uges varsel. En opgave det ville have været umuligt at løse uden brug af IT-værktøjer, der på grundlag af OR-metoder automatisk kunne generere tjenesterne. Dette gav anledning til følgende forside-historie i DSB's medarbejderblad "DSB i dag".



Trafikinfo  
på  
mobilen

Forsinkelse  
med  
smil på



## Flere måneders arbejde på én uge

*Medarbejdere har arbejdet i døgndrift for at skrue særkøreplanen for S-tog sammen. Køreplanen trådte i kraft den 11. juli*

*Af Maria Schouboe Johannessen*

- Havde jeg for været i tvivl om, hvorvidt folk kendte koncernens værdier, er jeg i hvert fald ikke i tvivl nu.

Det siger Steen Larsen, som er chef for produktionsplanlægningen i S-tog. Han har koordineret arbejdet med at skrue planlægningen af særkøreplanen sammen i forbin-

delse med hastighedsnedsættelserne på S-banen, og ifølge ham er køreplanen kun blevet en realitet, fordi alle medarbejdere har været meget engagerede i opgaven. Normalt

går man i gang med en ny køreplan et lille år i forvejen, mens særkøreplanen er sat i værk på en uge.

- Folk er kommet ind fra ferie eller har arbejdet hjemme-

fra i deres ferie. Andre har arbejdet i døgndrift, enkelte endda på trods af, at helbredet ikke har været helt i top, siger Steen Larsen, som også fremhæver Banedanmarks medarbejdere i arbejdet med køreplanen.

### Mindre pres på lokomotivførerne

Han roser også de faglige organisationer for at have vist velvilje. F.eks. er lokomotivførernes turtjenester blevet skruet anderledes sammen, hvilket bl.a. har krævet forhandlinger med Michael Järvinen, formand for lokomotivpersonalets områdegruppe i S-tog.

- Her handler det jo ikke om

effektiviseringer, men om at vi må tage udgangspunkt i, hvilken situation S-tog er blevet bragt i. Vi har længe ønsket, at tjenesterne afspejler den aktuelle situation samt at fjerne det pres, som vores medlemmer har været udsat for den seneste tid grundet de mange forsinkelser. Vi er med denne køreplan med til at sikre vores medlemmer bedre arbejdsforhold, siger Michael Järvinen.

Særkøreplanen byder primært på ændringer for linje A og E mellem Køge og Hillerød og fås på alle S-togs-stationer samt på intranettet og [www.dsb.dk](http://www.dsb.dk).

## 4. Fremtidige udfordringer

De fremtidige udfordringer ifbm planlægningen synes stadig at være en øget indførelse af optimeringsmetoder til støtte for planlæggerne. Næste skridt vil så være en højere grad af integrering af de forskellige IT-systemer. Endeligt vil der blive arbejdet på at øge muligheden at lade planlægningen ske som parallelle processer modsat i dag, hvor der næsten udelukkende arbejdes sekventielt. Den sidstnævnte udvikling vil kunne reducere den kalendermæssige udstrækning af planlægningen ganske betragteligt.

Den måske største udfordring er efter min mening at etablere slagkraftige IT-værktøjer til realtidsdisponeringen af driften under driftsforstyrrelser. Et område hvor disponenterne i dag langt hen ad vejen er overladt til deres egen erfaring og intuition.