



SINTEF Teknologi og samfunn
Industriell økonomi

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse: S P Andersens veg 5
7031 Trondheim
Telefon: 73 59 36 13
Telefaks: 73 59 02 60

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Evaluering av automatisk modus i personellplanleggingsverktøyet TPO

FORFATTER(E)

Marte Fodstad og Arnt-Gunnar Lium

OPPDRAGSGIVER(E)

NSB

RAPPORTNR. SINTEF F7083	GRADERING Åpen (etter 11.11.11)	OPPDRAGSGIVERS REF. Hans Haugland	
GRADER. DENNE SIDE Åpen (etter 11.11.11)	ISBN	PROSJEKTNR. 506151	ANTALL SIDER OG BILAG 20+2
ELEKTRONISK ARKIVKODE S:\FELLES\382528 NSB Rammeavtale\Personellplanlegging		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Marte Fodstad	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Nils Olsson
ARKIVKODE 506151	DATO 2008-06-13	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Arne Stokka, Forskningsjef	

SAMMENDRAG

NSB har ved flere anledninger tatt initiativ til å arbeide med bedre metoder for å gjøre strategiske analyser knyttet til personellplanlegging. I samarbeid med SINTEF ble det gjort forsøk på å teste automatisk modes i TPO (TPO-AM) til dette formålet i 2006, men dette strandet på tekniske problemer. En ny versjon av TPO-AM er nå lansert, og NSB, leverandøren SISCOG og SINTEF har i samarbeid gjennomført et arbeid for å tilpasse TPO-AM til NSBs behov og testet verktøyet. Erfaringer fra dette arbeidet oppsummeres i denne rapporten.

Konklusjonen fra arbeidet består av følgende hovedpunkter:

- Den nye versjonen av TPO-AM er teknisk betydelig mer robust enn den foregående versjonen
- Verktøyet er lovende som et beslutningsstøtteverktøy for strategiske analyser i NSB. På noe lenger sikt kan verktøyet også bli egnet for å støtte den ordinære planleggingsprosessen
- Det er behov for ytterligere tilpasninger til og testing på NSBs forhold. I dette arbeidet er det viktig med forankring i planleggingsmiljøet for
 - o å få uskrevne regler, kvalitetskriterier og unntakssituasjoner fram i lyset så man kan ta bevisste valg for hvilke av disse faktorene som bør inkluderes i verktøyet
 - o bygge tillit, kjennskap og aksept for verktøyet
- SINTEFs erfaring er at verktøyet har en betydelig brukerterskel som må tas hensyn til for å kunne ta i bruk verktøyet i NSB på en effektiv måte

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Jernbane	Railroad / Railway
GRUPPE 2	Planlegging	Planning
EGENVALGTE	Optimering	Optimization
	Personellplanlegging	Crew Planning

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Forord	3
2	Bakgrunn	3
3	Systembeskrivelse	3
3.1	Kort om optimeringsmodeller.....	4
3.2	På innsiden av TPO-AM.....	4
3.3	Hvordan bruke TPO?.....	5
4	Brukerfaringer	8
4.1	VR Finland.....	8
4.2	Tester på problemstørrelser og løsningstider.....	10
4.2.1	Problemstørrelse og begrensninger i maskinvare.....	10
4.2.2	Parametere.....	11
4.2.3	Erfaringer med NSBs data.....	11
4.3	Tester på løsningskvalitet.....	12
4.3.1	NSBs personell.....	13
4.3.2	Sammenligning av planer.....	14
4.4	SINTEFs erfaringer og vurderinger.....	14
4.4.1	Brukervennlighet og robusthet.....	14
4.4.2	Modellens representasjon av problemet.....	15
4.4.3	Algoritme.....	16
5	Utfordringer	17
5.1	Datagrunnlag, parameterjustering og ”svart/hvit” beslutninger.....	17
5.2	Oppdeling av ruteplanen.....	18
5.3	Turnerbarhet.....	19
5.4	Lokførere.....	19
6	Konklusjon	19
7	Kilder	20
	Vedlegg A - Ordliste	21
	Vedlegg B – Sekvensieringsmetoder	22

1 Forord

Denne rapporten er et oppdrag fra NSB ved Hans Haugland. Arbeidet inneholder en kvalitativ analyse vedrørende bruk av TPO til bruk av NSB i forbindelse med personellplanlegging av lokførere og konduktører.

Forsker Marte Fodstad har vært prosjektleder for arbeidet. Rapporten er skrevet av Marte Fodstad og Arnt-Gunnar Lium. Forsker Nils Olsson har kvalitetssikret arbeidet og kommet med verdifulle innspill i løpet av prosessen. Rapporten er godkjent av Forskningsjef Arne Stokka.

2 Bakgrunn

Personell er en sterkt begrenset ressurs i NSB og man forventer et betydelig rekrutteringsbehov framover. Samtidig pågår det arbeid med en ny produksjonsplan med betydelige endringer fra den eksisterende. I denne situasjonen er det ønskelig å kunne gjøre flere analyser knyttet til personellbruken, bl.a. stasjoneringsmønstre og endringer i overenskomstene med fagforeningene. Etter å ha forsøkt ulike angrepsmåter, hvor SINTEF også har vært involvert, har man kommet fram til at det er nødvendig med beslutningsstøtteverktøy som genererer forslag til planer for å tilfredsstille dette behovet. Våren 2006 ble et prosjekt mellom SINTEF og NSB påbegynt som hadde som intensjon å teste den daværende automatisk modus i TPO til dette formålet. Prosjektet strandet på tekniske problemer med verktøyet.

Det er nå lansert en ny utgave av TPO automatisk modus (TPO-AM), og man valgte å ta opp igjen prosjektidéen fra 2006, men denne gangen med involvering av leverandøren for TPO, SISCOG. Prosjektets opprinnelige intensjon var å foreta noen konkrete analyser, men SISCOG gjorde oppmerksom på at det var behov for et tilpasningsarbeid til NSB før verktøyet kunne brukes.

Basert på verktøyets status ble SINTEFs hovedoppgave å støtte dette tilpasningsarbeidet og NSBs evaluering av systemet basert på SINTEFs kompetanse innen operasjonsanalyse. Leveransen fra SINTEF er denne rapporten som oppsummerer arbeidet og erfaringen som har framkommet gjennom prosjektet. Rapporten er et produkt av samarbeidet mellom NSB, SISCOG og SINTEF og inneholder dessuten SINTEFs kvalitative vurderinger av systemet innenfor punktene robusthet/brukervennlighet, modellrepresentasjon og algoritme.

3 Systembeskrivelse

Rapporten tar for seg verktøyet TPO som et personellplanleggingsverktøy spesialtilpasset NSBs ønsker og krav. TPO er en tilpassning av programpakken CREWS, utviklet av det portugisiske selskapet SISCOG, Sistemas Cognitivos Lda.

TPO er et omfattende system med funksjonalitet for blant annet dagsverksplanlegging, turnusplanlegging og oppgjør. Vi vil i denne rapporten kun fokusere på den modulen i systemet som gir støtte for automatisk planlegging av dageverk. Denne vil bli omtalt som TPO-AM heretter.

TPO-AM er optimeringsbaserte beslutningsstøtteverktøy til bruk i personellplanlegging av personell på tog, slik som lokførere og konduktører. Hensikten med verktøyet er å forenkle/forbedre planleggingen av personell på rullende materiell slik at de tilgjengelige ressurser utnyttes best mulig uten å bryte inngåtte arbeidsavtaler/overenskomster.

3.1 Kort om optimeringsmodeller

En optimeringsmodell kan benyttes til å løse planleggingsproblemer og består av tre hovedkomponenter: et sett av beslutninger (variabler), et sett av restriksjoner og en målfunksjon (kostnadsfunksjon). Restriksjoner kan også omtales som beskrankninger.

Variablene beskriver en løsning for optimeringsmodellen, eksempelvis en plan bestående av et sett av dagsverk. Restriksjonene definerer hva som er en lovlig plan. Dette kan inkludere både fysiske, tekniske, juridiske, forretningsmessige og organisatoriske forutsetninger og krav. Restriksjonene formuleres som et sett av matematiske likninger.

Innenfor grensene for hva restriksjonene definerer som lovlig kan det finnes ingen, én eller flere alternative planer. Dersom ingen lovlige planer finnes er modellen uløselig. I praksis betyr dette gjerne at man har vært for restriktiv i beskrivelsen av restriksjonene sammenlignet med det virkelige planleggingsproblemet man vil beskrive. I de fleste tilfeller finnes det flere alternative planer som er lovlig. Da benyttes målfunksjonen for å velge den beste planen. Målfunksjonen er en kvalitetsbeskrivelse for planer som eksempelvis kan beskrive totalt antall arbeidstimer i en plan.

Restriksjonene til en optimeringsmodell ansees som absolutte krav som aldri kan fravikes. Generelt kan en si at disse restriksjonene sørger for at kostnadene for en lovlig beslutning øker. En økning i antall restriksjoner sørger også for at enkelte beslutninger ikke er lovlige, noe som ofte fører til at problemet blir enklere å løse.

I noen tilfeller bruker man såkalte myke restriksjoner. Det innebærer at man inkluderer en straff i målfunksjonen for å bryte en restriksjon, men det er ikke absolutt forbudt. Dette gjøres i tilfeller hvor man ønsker å si at man kanskje kan leve med et lite brudd på kravet, men helst ikke ønsker at det skal oppstå.

Hver av de tre komponentene (beslutningsvariabler, restriksjoner og målfunksjon) må beskrives for å sette opp en optimeringsmodell. Deretter kan en løsningsmotor benyttes for å beregne løsninger (planer) for modellen. Hvor lang tid det tar å løse en modell avhenger blant annet av størrelsen på modellen, som typisk beskrives ved antall beslutningsvariabler og antall lovlige løsninger som finnes (noe man ikke vet eksakt på forhånd). Jo flere beslutningsvariabler jo lenger regnetid må påregnes. Et stort antall lovlige løsninger betyr som regel at det går relativt fort å regne seg fram til en av dem, men det er gjerne vanskelig å vite hvor god denne er i forhold til den beste som finnes. Det kan også ta betydelig tid å bevise at en løsning man har funnet faktisk er den optimale.

3.2 På innsiden av TPO-AM

Teknisk sett kan personellplanleggingsproblemet beskrives og løses på ulike måter. En svært vanlig måte innen operasjonsanalyse, som også brukes av TPO-AM, er å dele problemet i dagsverksbygging og turnering, se for eksempel Kroon og Fischetti (2000), Möller (2002), Abbink, Fischetti m.fl (2004). Dagsverksbyggingen defineres da gjerne som et ”weighted set covering problem with side constraints”. For personellplanlegging består ”set covering” modellen av en mengde arbeidsoppgaver, for eksempel togkjøring og lokale aktiviteter, som skal planlegges. Dessuten har modellen et stort utvalg mulige dagsverk som hvert dekker noen oppgaver og har en viss kostnad ved å bli gjennomført. Beslutningene modellen skal ta er å velge ut et utvalg av disse dagsverkene på en billigst mulig måte samtidig som alle arbeidsoppgavene dekkes minst en gang.

En kan med dette sette opp følgende matematiske modell for dette:

$$\text{Min} \sum_{d=1}^D C_d \delta_d \quad (1)$$

St.

$$\sum_{d=1}^D A_{dj} \delta_d \geq b_j, \forall j = 1..J \quad (2)$$

$$\delta_d \in \{0,1\}, \forall d = 1..D \quad (3)$$

$$\delta_d = \begin{cases} 1 & \text{hvis dagsverk } d \text{ velges} \\ 0 & \text{ellers} \end{cases}$$

δ_d beskriver beslutningene om et dagsverk skal utføres eller ikke. (1) er målfunksjonen som søker å minimere kostnadene forbundet med å utføre alle mulige oppgaver j . (2) sørger for at alle oppgaver utføres. Restriksjon (3) sørger for at hvert dagsverk enten velges fullt og helt eller ikke velges.

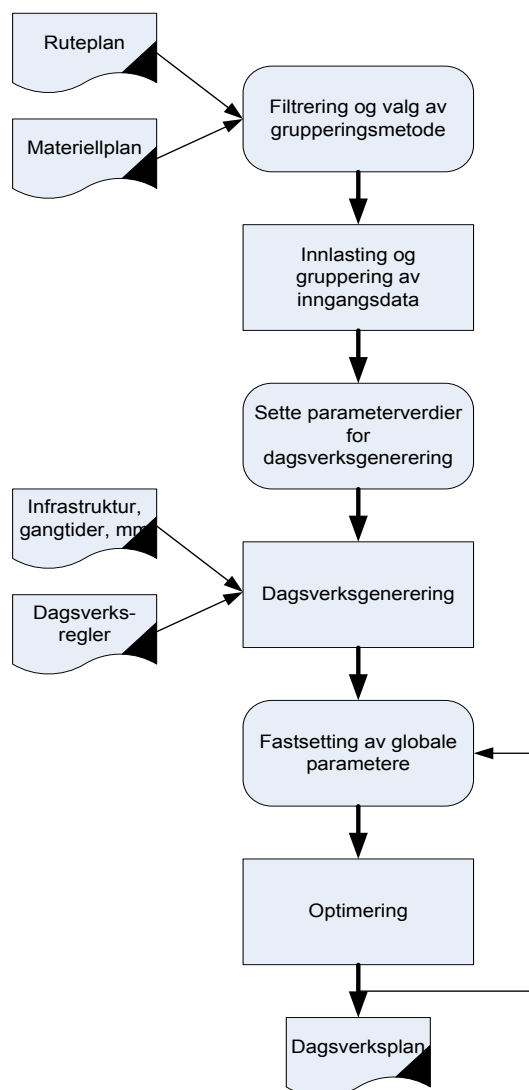
Den matematiske modell som er implementert i TPO-AM baserer seg i prinsippet på formuleringene gitt i (1)-(3). Imidlertid er problemet noe mer komplekst enn det som er skissert ovenfor, både i målfunksjon (gitt i (1)) og i restriksjonssettet (gitt i (2)-(3)). Modellen kan ha tilleggsrestriksjoner ("side constraints") som også ofte omtales som globale restriksjoner. Dette er krav som ikke skal oppfylles av hvert enkelt dagsverk for seg, men som skal oppfylles av den samlede løsningen. Eksempler kan være grenser på hvor mange dagsverk som kan knyttes til hver base eller hvor mange prosent av dagsverkene som kan være delte dagsverk.

En avgjørende forutsetning for "set covering" modellen er at man må kjenne til et stort utvalg av lovlige dagsverk. For å framskaffe alle disse har TPO-AM en prosedyre som genererer alle de lovlige dagsverkene. I denne prosedyren tar man hensyn til reglene som gjelder for bygging av dagsverk, slik som lengden på dagsverk, krav til pause, at det må være tog som opererer for at passreiser på tog kan utføres, at personellet må være tilgjengelig på riktig sted etter at en oppgave er utført og før den neste skal utføres, osv. Samtidig som dagsverkene genereres beregnes også kostnaden, som i TPO-AM er målt i tiden brukt for å gjennomføre dagsverket.

Så langt har vi ikke beskrevet hvordan oppgavene som skal planlegges fastsettes. Dette gjøres på samme måte i TPO-AM som for den manuelle delen av TPO. TPO genererer oppgavene basert på ruteplanen og materiellplanen. For å begrense antall mulige måter man kan kombinere oppgaver til dagsverk foretas det en gruppering ("sequencing") av oppgavene til blokker av oppgaver. Et eksempel på dette kan være at en tilsynsoppgave rett etter en ankomst knyttes til ankomsten. Disse blokkene ligger til grunn for genereringen av dagsverk.

3.3 Hvordan bruke TPO?

Figur 3.1 gir en skisse for stegene man går gjennom ved planlegging med TPO-AM. De fete pilene viser ordinær arbeidsprosess, men brukeren vil normalt veksle mer mellom stegene enn som så. En spesielt naturlig plass å gå "bakover" i prosessen er illustrert.



Figur 3.1 Prosesdiagram for bruk av TPO-AM

Automatisk dagsverksplanlegging med TPO-AM er delt opp i tre hovedsteg: gruppering, dagsverksgenerering og optimering. Det bemerkes at turnusbygging ikke inngår i denne modulen av TPO, men dette er likevel et nødvendig sted på veien til en fullstendig personellplan. Angående turnusbygging se delkapittel 5.3.

Innlasting og gruppering

Første steg i arbeidet med TPO-AM er akkurat som i manuell planlegging med TPO, nemlig innlasting av data. Her velger brukeren hvilke tog som skal planlegges. Dessuten velger man en grupperingsmetode ("sequencing"). Grupperingen setter sammen arbeidsoppgavene i blokker, som er den minste enheten TPO-AM forholder seg til. TPO-AM vil aldri splitte opp oppgavene i en og samme blokk og planlegge disse i ulike dagsverk.

Valg av grupperingsmetode er en avveining mellom størrelse på modellen og løsningskvalitet. I utgangspunktet er hensikten med grupperingen at man skal redusere antall muligheter å sette oppgaver sammen til dagsverk slik at modellstørrelsen blir mer håndterbar. Men dersom metoden lager for store blokker kan man gå glipp av gode løsninger på grunn av at oppgavene ideelt sett burde vært delt på ulike dagsverk. I verste fall blir enkelte blokker så store at de ikke lar seg inkludere i et dagsverk uten å bryte reglene, noe som vil føre til at TPO-AM ikke klarer å planlegge disse og lar de forbli uplanlagt ("uncovered tasks").

Det er laget to sekvensieringsmetoder spesielt tilpasset automatisk planlegging, ”IP Blocks” og ”IP Big Blocks”, der sistnevnte lager noe større blokker enn den første. Dersom man likevel får noen blokker som viser seg umulig å planlegge kan disse deles opp manuelt. En beskrivelse av disse to sekvensieringsmetodene finnes i vedlegg B.

Dagsverksgenerering

Når man skal generere dagsverk må man først bestemme hvilke kjøredager man vil planlegge for. Velger man alle dager samlet blir modellen relativt stor, men man unngår problemer med å bestemme hvilken dag oppgaver som strekker seg over midnatt skal tilhøre.

Det finnes en rekke parametere som kan benyttes for å definere kravene for hva som er gyldige dagsverk. Dessuten finnes det parametere som kan gi straff for løsninger man ikke ønsker. Etter at ønsket parametersetting er valgt (eventuelt at man beholder standardvalgene) vil systemet generere alle dagsverk som tilfredsstill alle kravene.

Ved valg av verdier for genereringsparametrene må man avveie antall dagsverk som skal genereres opp mot muligheten til å dekke alle oppgaver. Valg av parametere knyttet til passreiser og dobbeltturer har særlig stor innvirkning på denne avveiningen.

Når genereringen er ferdig vil man bli varslet dersom det er noen oppgaver som ikke kunne dekkes. I slike tilfeller kan man velge å akseptere dette (for eksempel med tanke på å dekke disse med personell fra en annen region), gå tilbake å gjøre korrigeringer i parameterverdiene eller planlegge disse oppgavene manuelt og deretter regenerere.

Optimering

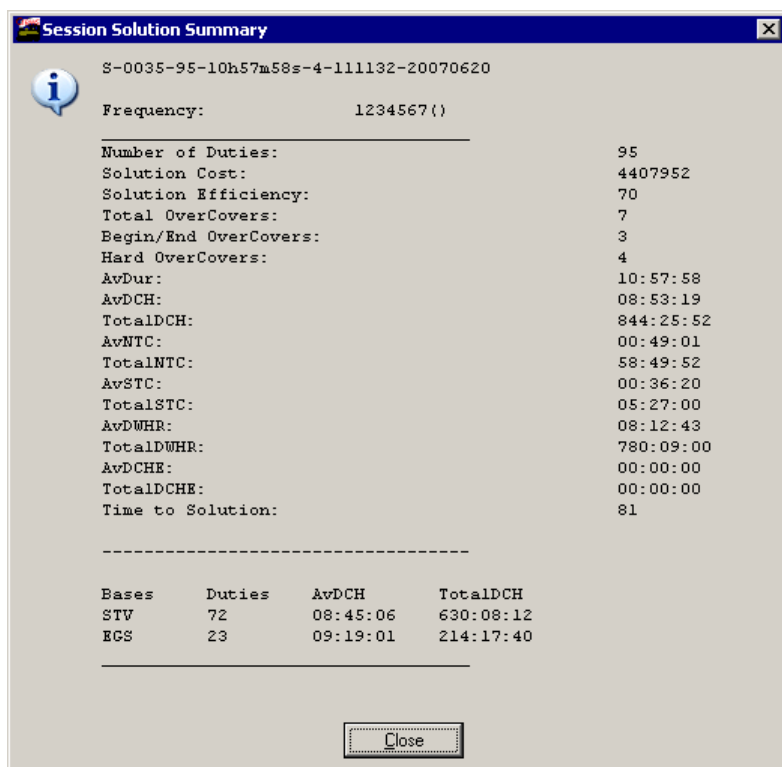
Basert på de genererte dagsverkene skal optimeringen velge ut de dagsverkene som lager den beste planen samlet sett. For å styre optimeringen finnes et eget sett av parametere som relaterer seg til egenskaper til totalplanen. Noen parametere relaterer seg til dagsverkene for én og én base, eksempelvis grenser for antall dagsverk eller timer for hver base.

Optimeringen vil normalt rapportere flere løsninger med ulike egenskaper. Løsningene gjøres tilgjengelig for brukeren så fort de er funnet, slik at man kan evaluere én løsning mens TPO-AM leter etter flere. Som hovedregel vil systemet finne gradvis bedre løsninger, men hvor fort denne forbedringen skjer er sterkt varierende. Siden man gjerne måler kvaliteten på en løsning etter flere kriterier (antall timer, antall dagsverk, osv) vil man også gjerne se at enkelte løsninger er gode for et kriterium mens andre er bedre for andre.

Siden genereringen og optimeringen er delt i to steg, kan man gjøre mange optimeringer basert på samme sett av dagsverk.

Dersom man har laget for stramme restriksjoner gjennom valg av parameterverdier kan man risikere at systemet ikke klarer å finne noen løsning som overholder alle restriksjonene. I så fall vil systemet rapportere løsninger som bryter noen restriksjoner (”constraint violation”), samtidig som det markerer for brukeren hvilke restriksjoner som ikke kunne oppfylles. I noen tilfeller velger systemet å dekke samme togoppgave flere ganger (”over cover”). Slike oppgaver markeres, og det overlates da til planleggeren å manuelt velge hvilket dagsverk som skal dekke oppgaven og hvilket som skal ha passreise. Antall regelbrudd og dobbeltdekkede oppgaver markeres også i løsningsoversikten under betegnelsen CV og TOC.

Knyttet til hver løsning kan man få et sammendrag som viser de viktigste nøkkeltallene for en løsning. Et eksempel på et slikt sammendrag er vist i Figur 3.2. Man kan også velge å vise løsningen grafisk, eller importere løsningen til den manuelle delen av TPO. Velger man det siste kan man hente ut rapporter og gjøre endringen i planen på samme måte som for en manuelt lagt plan.



Figur 3.2 Sammendrag av løsning (bilde hentet fra TPO manualen)

4 Brukerfaringer

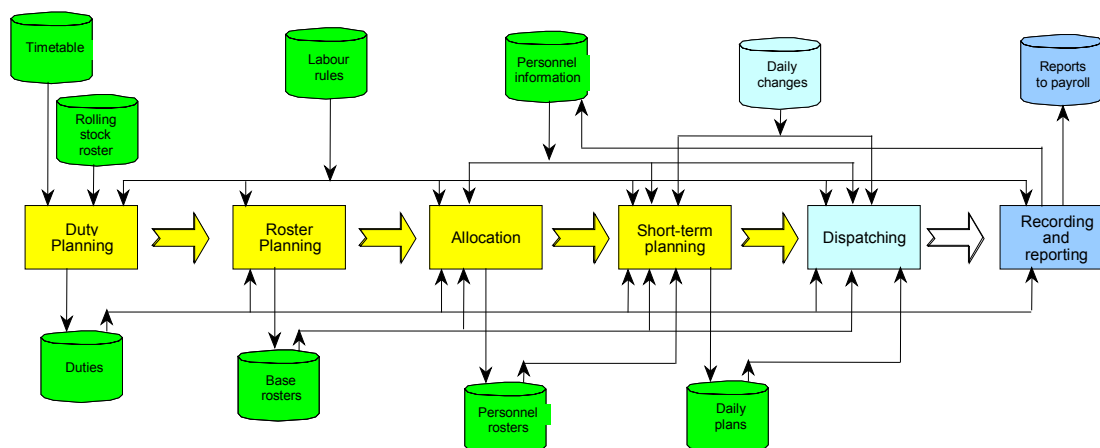
4.1 VR Finland

Som et ledd i evalueringen av TPO-AM ble det i september 2007 gjennomført et besøk hos den finske jernbaneoperatøren VR. Her gis en oppsummering av opplysningene som framkom i dette møtet.

I likhet med NSB har VR benyttet SISCOGs produkter i forbindelse med sin planlegging av personell. Den senere tid har selskapet også valgt å benytte CREWS Automatic Mode til deler av personellplanleggingen sin. Dette kommer som resultat av en 2 års periode hvor man i samarbeid med SISCOG har testet og tilpasset TPO-AM til de finske forholdene.

Planleggingen av togpersonell i VR skjer hierarkisk ved at mer overordnede og langsiktige planer brytes ned i et økt detaljnivå med føringer fra overordnede planer. Langdistansetraffikk og lokaltogtrafikk planlegges atskilt. Ved oppstart av årlig planlegging har man et koordineringsmøte hvor overordnede retningslinjer klarlegges, eksempelvis angivelse av mengden arbeid (i timer) som skal tilordnes hver base. Planleggingen tar utgangspunkt i den planlagte ruteplan, en overordnet materiellplan og gjeldende personalregler og overenskomster. Ut fra dette lages alle dagsverkene sentralisert av én enhet. Deretter sendes dagsverkene ut elektronisk til de enkelte baser. Turnusplanleggingen er oppdelt i geografiske områder hvor den enkelte planlegger har ansvar for sitt område. Hver enkelt medarbeider velger så sin turnus, basert på ansiennitetsprinsippet. Samarbeidet mellom planleggere og fagforeninger skjer ved at planer

godkjennes av en fagforeningsrepresentant på vegne av resten av medlemmene. En oversikt over denne planleggingsmetodikken er vist i Figur 4.1 nedenfor.



Figur 4.1: Oversikt over VRs personellplanleggingsmetodikk (Kilde: VR)

Frem til september 2007 var CREWS-AM kun blitt benyttet til planlegging av lokførere i lokaltrafikken. Det forelå planer om å ta i bruk CREWS-AM også for planlegging for lokførere i langdistanse, som frem til da hadde blitt planlagt manuelt. CREWS-AM var per september 2007 i en testfase for planlegging av konduktører i langdistanse. VR så også for seg å bruke CREWS-AM til å se på basestrukturen, blant annet ved hjelp av ulike "what if" analyser for å analysere av som kan skje ved endringer i basestrukturen.

VRs erfaring har vært at det er enklere å tilpasse programvaren til lokaltogtrafikken enn til langdistansetrafikken. Dette har blant annet sammenheng med behovet for dobbeltturer i langdistansetrafikken som skaper lange løsningsstider i CREWS-AM. For å håndtere dette vil man planlegge enkelte turer manuelt i forkant av den automatiske planleggingen.

Basert på testene og den praktiske erfaringen VR har med bruk av CREWS-AM, var konklusjonen at programvaren var godt tatt i mot i organisasjonen og at resultatene verktøyet produserte var gode. Planleggernes vurdering var at de bruker mindre tid på planleggingen og at de oppnår en reduksjon i mannskapsbehovet sammenlignet med bruk av manuell planlegging. "Parametertuning" har vist seg avgjørende for kvaliteten på de genererte planene. Fagforeningene er også positive til bruk av systemet, da man oppnår mer varierte planer enn ved manuell planlegging. Samtidig påpekes det at systemet ikke er perfekt, men har enkelte mangler.

De viktigste praktiske erfaringene VR har gjort seg med løsningene systemet gir er at:

- Det kan være problemer med regelforståelsen fra Automatic Mode til manual mode (dette antas å være et implementeringsteknisk problem fra SISCOGs side).
- Utstrakt bruk av delte dagsverk (70 % av skiftene) med pauser lengre enn to timer, gir de mest kostnadseffektive planene.
- Ved å minimere pauser øker antall arbeidstimer med 35 %.
- De beste resultatene oppnås ved bruk av kombinerte målfunksjoner, der man eksempelvis forsøker å avveie antall arbeidstimer mot delte dagsverk ved å gi begge en straffekostnad

VR har også gjort seg noen mer "tekniske" erfaringer knyttet til bruken av verktøyet Automatic Mode (med kommentarer fra SINTEF som underpunkter):

- VR anbefaler å bruke ”Min Duty Efficiency” aktivt for å begrense problemstørrelsen.
- Selskapets erfaring er at 0,4 er en hensiktsmessig verdi på ”Min Duty Efficiency”.
 - En reduksjon av problemstørrelsen på denne måten vil kunne utelukke potensielt gode løsninger, og bør prinsipielt sett benyttes med svært stor varsomhet.
- ”Max Number Duties by Block” bør ikke være større enn 5000 for å kunne håndtere problemet på en hensiktsmessig måte.
- Forbedringer skjer ofte sent i søket og det er derfor viktig å la løsningsmotoren kjøre lenge.
- Det ansees som viktig å se på ”uncovered tasks” da dette gir et bilde av komplettheten til planen
- Det kan oppstå situasjoner hvor to påfølgende passreiser til og fra samme sted benyttes i stedet for en pause. Dette skyldes at kostnadene, oppgitt til Automatic Mode, ved denne løsningen er lavere enn det å ta pause.
 - For å unngå denne typen ”rare” løsninger er det viktig med en god tilpasning av parameterne til den aktuelle anvendelsen
- Materiellplanene som tas inn i CREWS mangler informasjon om stasjonsutforming, noe som har vist seg problematisk i forbindelse med gangtider.
 - Dette vil normalt ikke være noe problem for NSB, siden man i Norge ikke opererer med ulike gangtider innad på én stasjon
- VR anser det for ønskelig med en egen kodefil for selskapet sine regler slik at de kan endre disse selv.
- Det er ønskelig å kunne definere noen av regel-parametrene som variabler med tanke på overordnede analyser ved forhandling og lignende.
- Ikke definert verdier tolkes av systemet som 0, ikke \emptyset (tom mengde).
 - Dette betyr at for parametere som setter øvre begrensninger, for eksempel maks antall dagsverk, må man sette inn en stor verdi hvis man ikke vil ha noen begrensning.

4.2 Tester på problemstørrelser og løsningstider

Både NSB, SISCOG og SINTEF har bedrevet testing av TPO-AM på NSBs data. Dog har SISCOGs tester vært mest omfattende og er i hovedsak kilden for innholdet i dette kapitlet.

Størrelsen på planleggingsproblemene som skal løses er i hovedsak styrt at antall aktiviteter som skal planlegges, som igjen er avhengig av hvilke tog som inkluderes og hvor lang tidshorisont man planlegger over. Dessuten påvirkes problemstørrelsen av parameterverdiene. Noen sentrale parametere for problemstørrelsen omtales under.

4.2.1 *Problemstørrelse og begrensninger i maskinvare*

Hvor store problemer som kan planlegges automatisk begrenses av to faktorer:

- Datamaskinens minne
- Datamaskinens prosessor (CPU) og tilgjengelig tid

Minnet til maskinen er en absolutt grense for hvor store problemer som kan løses. Har ikke maskinen tilstrekkelig minne kan problemet ikke løses, men må deles opp. Som tommelfingerregel anslår SISCOG at 5 millioner genererte dagsverk krever 1 GB minne. Et dagsverk som er gyldig alle sju dagene i en uke teller i denne sammenhengen som sju så sant man planlegger for en hel uke.

Datamaskinens prosessor er avgjørende for tiden det tar å løse et problem, men her er ikke kravet like absolutt. En treg prosessor kan kompenseres ved at man lar maskinen jobbe lenger. Altså er

det den tilgjengelige tiden i forhold til prosessorens hastighet som blir avgjørende for hvor store problemer man kan løse.

4.2.2 Parametere

Det er særlig to grupper av parametere som er avgjørende for et problems størrelse. Disse er knyttet til passreiser ("ptrip") og bruk av dobbeltturer ("composed duty").

Passreiser er vanskelige for den automatiske planleggingen fordi man i forkant av planleggingen ikke vet hvilke passreiser som trengs. Samtidig kan mangelen på en passreise føre til svært kostbare løsninger eller at enkelte oppgaver ikke kan dekkes. Derfor er det ønskelig å gjøre mange mulige passreiser tilgjengelig for systemet slik at det kan velge de som passer best.

Det er to måter å lage passreiser på. Ved å hake av for parameteren "Automatic Collect Ptrips" vil TPO-AM selv generere mulige passreiser i tilknytning til togene i forkant av dagsverksgenereringen. Siden systemet i utgangspunktet ikke har kjennskap til problemet vil det på denne måte bli generert svært mange passreiser, også passreiser som en planlegger enkelt ser at er uaktuelle å bruke. Dette gir mange mulige måter å bygge dagsverk på og dermed et stort og tungløst problem. Alternativt kan brukeren spesifisere på hvilke strekninger man vil tillate passreiser, hvor i dagsverket de kan plasseres, maksimal varighet av en passreise med mer. På denne måten begrenses antall passreiser som genereres. Alle parametere knyttet til passreiser er samlet i et eget ark i parametervinduet kalt "Ptrips".

Bruk av dobbeltturer øker betraktelig hvilke muligheter man har ved dagsverksbygging siden dagsverket ikke behøver å ende der det starter. Settes parameteren "Max Duty Rests" til 0 blir ingen dobbeltturer generert og problemstørrelsen reduseres. Dersom behovet for dobbeltturer er lite, vil det ofte lønne seg å manuelt planlegge de oppgavene som krever dobbelttur for deretter å kjøre TPO-AM med opsjonen avslått. Parametere knyttet til dobbeltturer og oppholdet i en dobbelttur er samlet i arket "Rests".

4.2.3 Erfaringer med NSBs data

For å vurdere hvor tungeaktuelle planleggingsproblemer hos NSB er å løse gjennomførte SISCOG tester på datasett for konduktører i Oslo/Østlandsområdet. En oppsummering av testene finnes i Tabell 4.1. I alle testene ble en hel uke planlagt samlet.

Testene er gjort på en maskin med 1,97GB minne og Intel Core2 Duo prosessor på 2,66GHz. En nærmere beskrivelse av parameteroppsettet og resultatene ved testene finnes i SISCOGs rapporter fra 1.15.08, 2.8.08 og 18.2.08.

Tabell 4.1 Tester på problemstørrelse

Datasett	Togtype	Antall mulige dagsverk generert	Tidsbruk for generering	Kommentar
157.1 SINTEF-SISCOG TESTSETT	Intercity(IC)	461.835	Ikke tilgjengelig	Dobbeltturer og lange opphold tillatt
157.1 SINTEF-SISCOG TESTSETT	Lokaltog	1.054.754	Ikke tilgjengelig	Ikke dobbeltturer, men lange opphold tillatt
157.1 SINTEF-SISCOG TESTSETT	IC + lokaltog for ombordledere	223.869	Ikke tilgjengelig	Ikke dobbeltturer, men lange opphold tillatt. 4 oppgaver planlagt manuelt og 14 blokker ikke planlagt
157.1 SINTEF-SISCOG TESTSETT	Lokaltog + Intercity	589.774	00:18:00	Ikke dobbeltturer, men lange opphold tillatt. 4 oppgaver udekket pga behov for dobbeltturer.
OSL-(S)AM-IP-SOLVER	Lokaltog + fjerntog	934.098	00:13:26	Dobbeltturer tillatt, relativt lange opphold tillatt. 11 blokker udekket
156.2 REG-ØST GRUNNPLAN HØST v02	Lokaltog	1.009.178	00:34:24	Dobbeltturer ikke tillatt, relativt lange opphold tillatt. 7 oppgaver udekket
156.2 REG-ØST GRUNNPLAN HØST v02	Intercity + fjerntog	503.536	00:01:55	Dobbeltturer tillatt.

Som tidligere nevnt rapporterer systemet en rekke løsninger underveis i den globale optimeringen. Under tester utført med en maskin med 1,73GHz prosessor og 1,49GB minne er erfaringen at første løsning blir funnet innen 0,5-5 minutter. TPO-AM vil stoppe dersom potensialet for ytterligere forbedrede løsninger med sikkerhet er mindre enn en gitt grenseverdi¹. Det tar lang tid å komme til dette stadiet (timer), og SINTEF har ikke i sine tester latt systemet kjøre så lenge.

4.3 Tester på løsningskvalitet

For å være sikker på at løsningene som genereres med TPO-AM virkelig er tilpasset NSBs behov er det nødvendig med en inngående testing av modellen som ligger til grunn for TPO-AM. Dette gjøres typisk gjennom evaluering av løsninger produsert av systemet basert på NSBs data. Prosjektgruppen har evaluert løsninger basert på sin kompetanse, men på dette området er det kun NSBs eget personell som kan gjøre en fullverdig jobb.

Den eksisterende modellen tar i all hovedsak opp i seg de skrevne reglene som finnes i overenskomstene med arbeidstakerforeningene og som allerede er inkludert i øvrige deler av TPO. Erfaringsvis er det dog ikke de skrevne reglene som er mest utfordrende å få inkludert i et slikt verktøy, men alle de normer, hensyn og kvalitetskriterier som planleggerne hensyntar i sitt arbeid uten at det er definert skriftlige regler for det. Det kan naturligvis være en diskusjonssak hvorvidt disse faktorene faktisk skal inkluderes i planleggingen eller ikke, men det er en fordel å få slike faktorer opp på bordet så man kan ha et bevisst forhold til hva som inkluderes og hva som utelates. Dette både for å sikre en viss kontinuitet i hvordan planene utformes og for å sørge for at brukerne av systemet, som typisk er planleggerne selv, har tillit til systemet.

¹ Dette potensialet kalles innenfor operasjonsanalyse "gap" og gjeldende gap oppgis i konsoll-vinduet som viser progresjonen under en optimering.

4.3.1 NSBs personell

Vi oppsummerer her tilbakemeldinger som så langt har kommet fra NSBs personell gjennom dialog med Co Eling og Ola Barmoen og i workshop avholdt i Oslo 7. mars 2008. For øvrig henvises det til møtoreferat fra den omtalte workshopen, hvor også respons fra SISCOG på de aktuelle temaene er inkludert.

Den overordnede responsen på planer generert av TPO-AM er at de er svært effektive, men mangler ”menneskelig tankegang”. Videre foreligger det en viss skepsis til hvorvidt systemet vil kunne ta inn over seg alle unntakene og spesialtilfellene man har (særlig for lokførerplanlegging). Man forventer at det i større eller mindre grad vil være behov for manuell planlegging for å håndtere unntakene.

Det er sannsynlig at man basert på planene fra TPO-AM kan få ideer til løsninger som tidligere ikke har vært tenkt på. Dessuten kan de automatisk genererte planene være gode å sammenligne opp mot og for å estimere effektene av produksjonsendringer.

Det er ønskelig å kunne ta utgangspunkt i optimeringsløsninger som kun forholder seg til de skrevne reglene, for deretter å gradvis legge til øvrige hensyn. På den måten vet man konsekvensen av de tilleggshensynene man tar.

Det sees som en utfordring å mestre TPO generelt godt nok til å kunne utnytte TPO-AM godt. Dessuten forventes brukertærskelen ved å ta i bruk TPO-AM å være betydelig, siden det fordrer et annet tankesett enn man er vant til fra manuell planlegging. Enkel tilgang på parametersetting ansees som positivt, men er samtidig med å bygge opp denne terskelen. Det er nødvendig med god dokumentasjon av systemet og grundig opplæring for å kunne ta i bruk TPO-AM internt i NSB.

Generelt oppfattes holdningen til den nye automatiske planleggingsmodulen i TPO å være positiv, og mange er nysgjerrige og ønsker å prøve selv. Samtidig ser man behov for mer arbeid med verktøyet før det kan tas i bruk. Man ser særlig mulighet for mer strategisk arbeid og uttesting av alternative planer, men også potensiale for forbedring og besparelser gjennom støtte av faktisk planleggingen. Verktøyet sees på som en støtte som kan erstatte ”masseplanlegging” og dermed friggi planleggerkompetanse til de mest utfordrende problemstillingene.

Følgende spesifikke kommentarer har også framkommet. Underpunktene i denne listen er SISCOGs og SINTEFs respons til kommentarene.

- For korte overganger mellom tog slik at personellet ikke får tid til toalettbesøk, spising m.m.
 - o TPO-AM tar hensyn til definerte minimumstider for overgang mellom to tog. Her kan det legges inn lengre tider dersom dette er ønskelig. Alternativt kan det lages en parameter som for eksempel setter en øvre grense på hvor effektivt et dagsverk kan være.
- Delte dagsverk som strekker seg over et svært langt tidsrom
 - o Dette kan kontrolleres med for eksempel parameteren som begrenser den totale varigheten av et dagsverk eller begrenser lengden av oppholdene i et dagsverk.
- Planene blander i for stor grad ulike typer kompetanse (materielltype, strekning og ”Ass”/”Oa”) i samme dagsverk slik at man må ha svært bred opplæring av personellet
 - o Det kan legges inn en parameter som setter en øvre grense for hvor stor andel av dagsverkene som blander ”Ass” og ”Oa” eller ulike materielltyper, eller en straffekostnad for slik blanding. Alternativt kan de ulike oppgavene planlegges i

- ulike planleggingssesjoner. Dette vil forhindre all blanding, og således være en svært stram restriksjon som fjerner mye fleksibilitet.
- For mye bruk av opphold på hjemmestasjon på natt. Dette er ugunstig for personalet siden de har svakere rettigheter på hjemmestasjon enn på bortestasjon
 - o Det finnes flere parametere som kan brukes til å straffe slike forhold om ønskelig
 - Vil dagsverkene la seg turnere innenfor reglene for turnering?
 - o Se diskusjon i delkapittel 5.3.
 - Bør unngå dagsverk som starter tidlig på morgenen da disse er vanskelige å turnere. Bedre å inkludere oppgaver tidlig på morgenen i slutten av natt-dagsverk. Dette vil trolig også redusere den hyppige bruken av passreiser i starten av dagsverk
 - Bør unngå ”skyttekjøring” over lange perioder. En uskreven norm er at etter 3,5 time bør man ha en pause på minimum 20 minutter på et sted hvor man bl.a. har tilgang på toalett. Med ”skyttekjøring” menes mange korte vendinger fortløpende, for eksempel Ski-Skøyen T/R
 - Ubetalte opphold i dagsverket på mer enn 4 timer på dagtid blir vanligvis ikke akseptert og krever dessuten tilgang på hotellrom
 - o Det kan lages en parameter som straffer eller forbyr slike løsninger

4.3.2 Sammenligning av planer

For testene på 156.2 REG-ØST GRUNNPLAN HØST v02 nevnt i Tabell 4.1 ble det foretatt sammenligning med de manuelt lagte planene fra NSB. Resultatene fra denne sammenligningen er oppsummert i Tabell 4.2, der ”Dv” står for dagsverk og ”Tj.t” står for tjenestetimer.

Tabell 4.2 Sammenligning TPO-AM mot manuell plan

Togtype	Dv TPO	Dv manuell	% diff dv	Tj.t TPO	Tj.t manuell	% diff tj.t
Lokaltog	978	1096	11%	8317:17:37	8996:14:30	8%
Intercity + fjerntog	322	483	33%	3644:12:12	4268:57:30	15%

Gapet mellom manuelle planer og planer fra TPO-AM både når det gjelder antall dagsverk og antall tjenestetimer tilsier at bruk av verktøyet har et betydelig besparingspotensiale. Det er dog viktig å merke seg at dette *ikke* er et uttrykk for at NSB kan spare 33% på antall dagsverk bare ved å ta i bruk TPO-AM til planlegging. Til en slik konklusjon er denne sammenligningen langt fra tilstrekkelig presis. For det første behøves det ytterligere kvalitetssikring av modellen som TPO-AM bygger på. For det andre måtte man gjøre en viss forhåndsbearbeiding av inngangsdataene for å kunne kjøre TPO-AM som skaper visse forskjeller i grunnlaget for planene, jamfør SISCOG rapport 25.09.07. Ved testing av verktøy basert på tilsvarende metodikk for materiellplanlegging fant man et potensiale på besparelser i påløpte km i størrelsesorden 3,8%, men ikke nok til å redusere et helt materiellsett (Aschehoug og Lauritzen, 2002).

4.4 SINTEFs erfaringer og vurderinger

I dette delkapittelet trekkes det fram erfaringer og vurderinger vi i SINTEF har gjort oss gjennom uttesting av TPO-AM, som et supplement til erfaringene som er referert over. Som grunnlag for vurderingene ligger først og fremst kjennskap til operasjonsanalytiske metoder og optimeringsbaserte beslutningsstøtteverktøyer, støttet av en viss innsikt i personellplanlegging i NSB.

4.4.1 Brukervennlighet og robusthet

Med tanke på robusthet er den nye versjonen av TPO-AM en stor forbedring. I løpet av testperioden har SINTEF ikke på noe tidspunkt erfart overraskende avbrudd eller funksjonssvikt. Det har dog blitt oppdaget at brudd på den øvre grensen for antall dagsverk i en løsning, angitt av

parameteren ”Max Duties”, ikke registreres som ”Constraint Violation” (CV) i oppsummeringen over alle løsninger eller sammendraget av den aktuelle løsningen. Dette er uheldig siden brukeren kan misledes til å tro at alle definerte krav er oppfylt og dermed feilbedømme kvaliteten til en løsning. SISCOG er gjort oppmerksom på funnet.

For interaktiv bruk av systemet kan regnetidene både ved generering og optimering synes noe lange. PC-brukere i dag forventer gjerne en umiddelbar respons på sine valg. I et slikt perspektiv er nok erfaringer med løsningstider referert i avsnitt 4.2.3 for høye. Tatt i betraktning at vi her snakker om optimering på en problemklasse som er kjent for å være beregningsmessig svært tung finner vi likevel ingen grunn til å være kritisk til løsningstidene. Bruksmønsteret for TPO-AM vil nok bli preget at disse regnetidene, ved at man søker å sette maskinen til å arbeide mens man gjør annet arbeid eller har pause. For store datasett, som eksempelvis lokaltog Oslo, vil trolig også kjøring over natten være naturlig. Mulighet for ”batch-kjøring” for en rekke predefinerte problemer løses fortløpende uten brukerinteraksjon kan i så måte vise seg ønskelig. Vi er ikke kjent med at det finnes denne type funksjonalitet i systemet per i dag, men det er trolig mulig for SISCOG å legge til rette for dette. Se for øvrig en drøfting av algoritmevalget som direkte påvirker løsningstider i avsnitt 4.4.3.

TPO-AM bygger på en generell struktur for restriksjoner, evalueringsparametere (”statistics”) og kostnader. Dette gjør verktøyet fleksibelt i forhold til utvidelser og tilpasninger, men det forutsetter bistand fra SISCOG for å få definert inn hver konkrete parameter.

TPO er et omfattende system med mye funksjonalitet. Dette åpner for en effektiv og fleksibel bruk av systemet, noe man ser gjennom SISCOGs demonstrasjoner. På den annen side gir systemets kompleksitet en betydelig brukerterskel. TPO-AM er fra brukerståsted en relativt liten og oversiktlig modul, men vår erfaring er at man må kunne bruke TPO-AM integrert med øvrige deler av TPO for å arbeide med modulen. Dette gjelder særlig ved evaluering av løsninger og ved behov for å kombinere manuell og automatisk planlegging. For en utrenet TPO-bruker er det vanskelig å nyttegjøre seg TPO-AM.

Integrasjonen mellom TPO-AM og resten av TPO synes etter vår mening noe svak. Arbeid innenfor TPO-AM er rimelig strømlinjeformet og greit, men man må importere løsningen fra TPO-AM til TPO for å kunne se detaljene i en løsning eller få generert rapporter. Denne operasjonen er litt tidkrevende og genererer ofte pop-up bokser med feilmeldinger. Disse feilmeldingene kommer av at reglene for manuell planlegging og automatisk planlegging ikke er identiske fordi 1) manuell planlegging har en del myke krav (soft constraints) som ikke finnes i TPO-AM og 2) noen av parameterne i TPO-AM gjør det mulig å justere på verdier fra regelverket som for eksempel maksimal dagsverksvarighet.

Dokumentasjonen for TPO (TPO – Scheduler User Manual , Dokument versjon 8, 26.6.2007) er noe mangelfull, noe som virker hemmende, særlig for en fersk bruker. Parametrene i TPO-AM er tidvis upresis og ikke komplett dokumentert, noe SISCOG er gjort oppmerksom på og vil utbedre. Systemet bygger dessuten på et vokabular som bare delvis er dokumentert, noe som er særlig uheldig siden brukeren og utviklerne ikke har felles hovedspråk og dermed er mer utsatt for misforståelser.

4.4.2 Modellens representasjon av problemet

Som nevnt tidligere er det først og fremst NSBs personell som kan vurdere om TPO-AM lager gode planer som passer for NSBs drift. Kommentarene her vil være av mer generell art, knyttet til styrker og svakheter den valgte metodikken har.

Som all annen programvare, eksisterer det begrensninger i TPO-AM. At programvarens begrensninger påpekes betyr ikke at en ikke bør benytte programvaren, bare at en bør være oppmerksom på begrensningene.

TPO-AM benytter operasjonsanalytiske metoder for å løse personellplanleggingsproblemet. Som med de fleste operasjonsanalytiske modeller forsøker en å beskrive virkeligheten med matematiske termer. Rent praktisk innebærer dette at problemet som løses er det som er beskrevet matematisk, og ikke nødvendigvis en perfekt representasjon av virkeligheten. Mer konkret kan dette bety at ikke alle detaljer som en manuell planlegger vet om vil tas med. Et eksempel på dette kan være informasjon om den enkelte konduktørs preferanser om hvilke skift som er mest hensiktsmessig for vedkommende. Imidlertid vil programvaren ta hensyn til all informasjon (i motsetning til hva som er mulig ved manuell planlegging) den får tilgang til i forbindelse med løsningen av dette problemet og benytte dette i sitt forslag til personellplanleggingen.

TPO-AM bygger på en del av operasjonsanalysen som kalles deterministisk planlegging. Dette innebærer at programmet ikke tar hensyn til noen form for usikkerhet, slik som usikkerhet knyttet til sykdom, forsinkelse, osv i forbindelse med utarbeidelse av personellplanleggingen. Altså antas alle data om kjøretider, gangtider, materielltype, kompetanse og lignende å være kjent når man planlegger. Konsekvensen av dette er at all "slakk" tas ut av en løsning, med mindre ekstra slakk kan legges til uten å øke planens samlede antall arbeidstimer. Systemet har heller ikke motiv til å søke andre strukturer i planene som gjør dem robuste. Dette kan føre til løsninger som ikke er godt egnet for å håndtere uforutsette hendelser. En vanlig måte å motvirke dette er å legge inn ekstra slakk der hvor erfaring viser at problemer kan oppstå. Det kan også være mulig å gjøre andre grep for å bedre robustheten til de automatisk genererte planene, men disse vil typisk forutsette at man først klarer å gi en karakteristikk av hva som gjør en plan robust.

4.4.3 *Algoritme*

Algoritmen er den prosedyren som benyttes for å finne fram til gode planer basert på modellen og dataene som beskriver forutsetningene.

Algoritmen i TPO-AM baserer seg på en type metodikk som gjerne omtales som kolonnegenerering. Denne metodikken har vist seg godt egnet for mange personellplanleggingsproblemer og er derfor ofte valgt for denne typen problemer (Abbink, van 't Wout og Huisman, 2007). Hovedprinsippet er at en genererer en stor mengde dagsverk (generelt kalt kolonner), for deretter å velge ut et knippe dagsverk som sikrer at alle arbeidsoppgaver blir planlagt på billigste lovlige måte.

I TPO-AM genererer man alle kombinasjoner av oppgaver som til sammen utgjør et dagsverk. På denne måten er man sikker på aldri å utelate noen god løsning. Dersom man unnlater å avbryte den påfølgende optimeringen (utvelgelsen) vil den før eller siden finne den optimale løsningen for problemet². Denne egenskapen omtales ofte som eksakt optimering. Det er dog ingen garanti for hvor lang tid det tar å finne optimal løsning. Grupperingen som gjøres for å bygge opp blokkene som skal settes sammen til dagsverk er dessuten et ankepunkt mot en teoretisk garanti for at optimum kan nås. En kan ved grupperingen risikere at to oppgaver som optimalt sett burde vært i ulike dagsverk puttes i samme blokk. Det er så vidt SINTEF bekjent ikke ført noen bevis for at dette ikke kan skje for de eksisterende grupperingsmetodene. Fra et praktisk ståsted er dette derimot relativt uproblematisk så lenge en bruker en av de to grupperingsmetodene tilpasset TPO-AM ("IP Blocks" eller "IP Big Blocks"). En bør på den annen side være svært forsiktig med å

² Garantien om optimalitet forutsetter at man foretar en eksakt optimering og ikke baserer seg på heuristikker i denne fasen. Vi har ikke fått innblikk i metodevalg for optimeringen.

bruke en av de andre grupperingsmetodene, da disse kan lage svært store blokker, inkludert blokker som er lenger enn tillatt lengde for et dagsverk.

Det finnes en alternativ strategi for kolonnegenerering hvor man itererer mellom generering og optimering, eksempelvis en metode kalt Dantzig-Wolfe. Hensikten med denne metoden er å spare seg for arbeid ved å unnlate å generere en del dagsverk som i alle fall viser seg å være uinteressante. Denne strategien har to fordeler sammenlignet med strategien brukt i TPO-AM: 1) minnebehovet for datamaskinen blir mindre når man må ”huske” færre dagsverk om gangen og 2) den samlede regnetiden på generering og optimering vil for noen problemer være lavere. Fordelen med strategien som brukes i TPO-AM er at man kan kjøre mange optimeringer for hver generering, og dermed spare tid. SISCOG holder på å lage en versjon som baserer seg på denne alternative strategien, hovedsakelig motivert av nederlandsk jernbanes (NS) store planleggingsproblem som skaper enormt mange kolonner.

Bruk av heuristikker kan være et alternativ eller supplement til kolonnegenerering for å løse personellplanleggingsproblemet. Heuristikker er algoritmer som fokuserer på å løse problemet fort, men uten noen garanti for at man noen gang vil finne den optimale løsningen. Det kan ikke utelukkes at deler av algoritmen i TPO-AM er heuristisk, da innsynet i algoritmene har vært svært begrenset.

I forbindelse med eksakt optimering beregnes en nedre grense som er et teoretisk mål på hvor stort forbedringspotensiale en har fra beste kjente løsning så langt i optimeringen. I relasjon til heuristikker gjøres også tidvis slike beregninger. I TPO-AM finnes en slik grense som danner grunnlaget for gapet (potensialet) som oppgis i konsoll-vinduet under en optimering. Dette kan være nyttig i praktisk bruk når man har store problemer, for å vurdere hvor lenge man anser det som hensiktsmessig å la en optimering kjøre i søket etter bedre løsninger.

For ordens skyld kan det bemerkes at algoritmen i foregående versjon av TPO-AM, som baserte seg på kunstig intelligens, er fullstendig erstattet. Dette betyr at tidligere evalueringer av algoritmen i TPO-AM, eksempelvis Patrik Pedersens diplomoppgave fra 2001, ikke lenger er relevant.

5 utfordringer

Det trekkes her frem noen konkrete faktorer hvor man trenger mer erfaring og bearbeiding for at NSB skal kunne bruke TPO-AM effektivt.

5.1 Datagrunnlag, parameterjustering og ”svart/hvit” beslutninger

IT-baserte planleggingsverktøy er svært avhengig av god kvalitet på inngangsdataene siden verktøyet normalt ikke har noen evne til å vurdere om dataene ”ser fornuftige ut” slik en planlegger kan. Kvalitetskravet gjelder både korrektheten, komplettheten og formatet til dataene.

Underveis i testingen på NSBs data og sammenligningen med manuelt lagte planer erfarte man visse utfordringer på dette området (se SISCOG rapport 25.09.2007). Dette knyttet seg til bruk av ”Phantom tasks” og ”Inconsistent tasks”. Videre fant man utstrakt bruk av segmentering som fører til at planleggingsproblemet blir svært stort og man fant togaktiviteter uten definert materielltype. Dersom man skal kunne bruke TPO-AM i NSB bør det tas en gjennomgang av hvordan datagrunnlaget må håndteres for at systemet skal operere på korrekt datagrunnlag. Fordelen man har i denne situasjonen er at TPO-AM er en integrert del av TPO, noe som gjør arbeidet med datakvalitet og formater betydelig enklere enn om man skulle brukt en annen optimeringsprogramvare.

Det viste seg også i en del situasjoner å være en utfordring å få planlagt alle oppgaver på lovlig vis, noe som fører til at TPO-AM lar oppgaven ligge udekket. Dette inntreffer gjerne på stasjoner hvor det er få tog, slik at kombinasjonsmulighetene er få. I denne sammenhengen kan det være behov for å endre på innlastingskriteriet slik at man får inkludert eventuelle tog som naturlig kombineres med det udekkede. Alternativt kan justering av en del parametere som gjør restriksjonene mindre strenge hjelpe på problemet. SISCOG har vist eksempler på dette i rapportene fra 15.1.08, 8.2.08 og 18.2.08. Det kan ikke lages generelle regler for hvilke parametere som må justeres, da dette er avhengig av årsaken til at en oppgave er udekket. Å åpne for passreiser på flere strekninger og å utvide oppholdstidene kan nok sies å være rimelige steder å begynne. Effektiv tilpasning av parametere er en oppgave som gjerne krever erfaring og kan nok virke som et litt frustrerende ”søk i blinde” inntil man blir godt kjent med både data og verktøy. I enkelte tilfeller håndteres udekkede oppgaver best ved å planlegge disse manuelt.

Ved å kikke på manuelt lagte planer fant man for øvrig en del konflikter i forhold til regelverket. Dette er rimelig da enkelte konflikter kan godtas etter godkjenning fra fagforeningene. En bør være oppmerksom på at TPO-AM ikke vil lage slike konflikter hvis det kan unngås da disse er registrert som såkalte harde restriksjoner. Regler som er gitt som myke restriksjoner kan derimot brytes mot en kostnad. Dersom man mener at det er rimelig å akseptere en konflikt må dette altså planlegges manuelt eller defineres som en myk restriksjon (etter at SISCOG har laget parametere for hver slik regel).

5.2 Oppdeling av ruteplanen

Teoretisk sett kunne man ønske å planlegge alle NSBs tog samlet i en optimering, for på den måten å unngå suboptimale løsninger hvor måten man deler opp planleggingsproblemet forhindrer at den optimale løsningen kan nås. I praksis vil en samlet optimering trolig ikke være mulig da problemstørrelsen blir uhåndterbar for TPO-AM.

Mulige kriterier å dele opp etter er for eksempel dager, geografi/strekninger, togtyper (lokal, IC, osv) og roller. Oppdelingen styres i all hovedsak av innlastingskriteriene, med unntak av dagsinndelingen som har en egen funksjonalitet i TPO-AM.

Hvordan denne oppdelingen bør gjøres har testingen så langt ikke gitt tilstrekkelig grunnlag til å konkludere på. Dette trenger heller ikke å fastsettes som noen statisk ramme, da intensjonen er at systemet skal gjøre testing av ulike alternativer tidsmessig mulig. For å skaffe et godt erfaringsgrunnlag for disse beslutningene anbefaler vi at man blant annet spiller på erfaringer som allerede finnes i organisasjonen. Oppdeling av planleggingsproblemet har jo foregått i lang tid allerede, gjennom arbeidsfordelingen mellom ulike planleggere. Uansett kommer man ikke fra at skillelinjene mellom ulike delplaner er en utfordring og forutsetter menneskelig vurderinger for å unngå unødvendig stor grad av suboptimalitet.

Noen mer generelle observasjoner kan være nyttige å ta med i vurderingen. Begrensningene i overenskomstene handler i all hovedsak om tidsbegrensninger. Når man planlegger flere dager samlet vil dermed overenskomstene bidra betraktelig til å begrense økningen i antall kombinasjoner (og dermed problemstørrelsen) sammenlignet med planlegging dag for dag. Det er i all hovedsak tog sent på kvelden og tidlig neste morgen som bidrar med nye kombinasjonsmuligheter. Til sammenligning vil typisk en samlet planlegging av intercity og lokaltog gi en betydelig større økning i antall kombinasjonsmuligheter i forhold til å planlegge disse separat siden alle tog på samme stasjon i samme tidsrom i utgangspunktet vil la seg kombinere.

5.3 Turnerbarhet

Dagsverksplanleggeren i TPO-AM som er vurdert i dette prosjektet lager kun dagsverksplaner og ikke turnuser. Verktøyet tar heller ikke på noen måte hensyn til reglene for turnering når dagsverkene velges ut. Dette betyr at man ikke har noen garanti for at planene fra TPO-AM lar seg sette sammen i gyldige turnuser. For å øke sannsynligheten for at løsningene skal være turnerbare kan man legge inn restriksjoner som fjerner strukturer man vet av erfaring kompliserer turnusbyggingen. Underveis i workshopen i mars kom det fram innspill på enkelte slike kriterier, men det anbefales at man gjør en ytterligere innsats på dette området. For øvrig har SISCOG utviklet en automatisk turnusplanlegger. Denne har ikke vært tema i dette prosjektet, men kan være et nyttig hjelpemiddel for å teste om en dagsverksplan lar seg turnere.

5.4 Lokførere

I skrivende stund er automatisk modus i TPO kun tilpasset NSBs konduktørplanlegging, ikke lokomotivplanlegging. Årsaken er at det knytter seg noen tilleggsutfordringer til planlegging av lokomotivførere. Dette består i oppgaver som må utføres, men hvor det eksakte tidspunktet til en viss grad kan tilpasses til personellplanens. Denne valgmuligheten gir en fleksibilitet som er en fordel for å kunne lage gode planer, men bidrar også til en mer komplisert planlegging fra et operasjonsanalytisk ståsted. Årsaken er at antall kombinasjonsmuligheter øker betraktelig hvis man skal lage et nytt dagsverk for hvert mulig tidspunkt en slik oppgave kan gjennomføres. For å hindre en voldsom kompleksitetsøkning må programvaren ha funksjonalitet som kan gjøre vurderinger av hvilke tidspunkter som kan være aktuelle. Denne funksjonaliteten finnes ikke i TPO-AM fra før og må lages spesielt for NSB.

6 Konklusjon

NSB, SISCOG og SINTEF har i dette prosjektet arbeidet med å tilpasse nye automatisk modus i TPO til NSBs forhold. Foruten å støtte tilpasningsarbeidet har SINTEF foretatt en kvalitativ evaluering av verktøyet basert på kompetanse innen operasjonsanalyse og vår kjennskap til NSB. Denne rapporten oppsummerer erfaringer som er opparbeidet gjennom prosjektet og SINTEFs vurderinger.

Nye automatisk modus i TPO ser lovende ut i forhold til å gi støtte til mer effektiv personellplanlegging i NSB. I første omgang synes verktøyet særlig verdifullt for å muliggjøre analyser av strategisk karakter, både med tanke på endringer i produksjonsplaner og stasjoneringsmønstre. Denne typen analyser er gjerne av noe mer overordnet karakter, og er derfor ikke like avhengig av at alle unntak og detaljer håndteres som den taktiske og operasjonelle planleggingen. Verktøyet kan også benyttes for å vurdere konsekvenser og kostnader ved endringer i regler eller av å bruke uskrevne planleggingsregler. På noe lenger sikt, når verktøyet er ytterligere tilpasset NSBs behov og mer erfaring med TPO-AM er etablert, vil trolig verktøyet også kunne fungere som en støtte til taktisk og operasjonelle planlegging. Også på dette området forventer vi at en raskere planleggingsprosess som muliggjør uttesting av ulike alternativer vil være det største bidraget fra systemet.

Når dette er sagt, mener vi det gjenstår noe arbeid før evaluerings- og tilpasningsfasen bør erklæres som fullført. Erfaringsvis finnes det en rekke kriterier som blir hensyntatt i en planleggingsprosess ut over skrevne reglene og krav. I eksisterende TPO-AM er det i all hovedsak de skrevne føringene som er innarbeidet. For å få de uskrevne kriteriene fram i lyset tror vi det er en forutsetning at noen utvalgte personellplanleggere involveres nærmere i evalueringen enn hva som har vært mulig så langt. Dette trenger ikke bety at man uten videre bør inkludere alle dagens uskrevne kriterier i verktøyet, men man bør ha et bevisst forhold til hva som inkluderes og hva som utelates. Dessuten tror vi en nær involvering av planleggermiljøet er nødvendig for at planene fra TPO skal ha troverdighet i organisasjonen.

Vår erfaring er at systemet har en betydelig brukerterskel, og at god kjenneskap til TPO generelt er viktig for å kunne arbeide godt med verktøyet. Vi vil anbefale at dette tas med i vurderingen både når man beslutter hvem og hvor mange personer som bør delta i det videre tilpasningsarbeidet og hvor mange som forventes å benytte TPO-AM til analyser. Dessuten tror vi god opplæring og god dokumentasjon vil stå sentralt.

7 Kilder

- Abbink, Fischetti, Kroon, Timmer, Vromans (2004) "Reinventing Crew Scheduling at Netherlands Railways", ERIM Report Series Research in Management, ERS-2004-046-LIS
- Abbink, van 't Wout, Huisman (2007) "Solving Large Scale Crew Scheduling Problems by using Iterative Partitioning", ATMOS 2007 s 96-106, 7th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modeling, Optimization, and Systems
- Kroon, Fischetti (2000) "Crew Scheduling for Netherlands Railways 'Destination Customer'", ERIM Report Series Research in Management, ERS-2000-56-LIS
- Möller (2002), "Seminar on Algorithms and Models for Railway Optimization Crew scheduling"
- SISCOG Status report, TPO:POA: 228: 7268.0, 25.9.2007
- SISCOG Status report, TPO:POA: 228: 7268.0, 15.1.2008
- SISCOG Status report, TPO:POA: 228: 7268.0, 8.2.2008
- SISCOG Status report, TPO:POA: 228: 7268.0, 18.2.2008
- TPO – Scheduler User Manual, Dokument versjon 8, 26.6.2007
- Aschehoug og Lauritzen, "Kvantifiserte effekter vedrørende innfasing av Type 72 i lokaltrafikken på Østlandet", 12.11.2002
- Presentasjoner og diskusjoner i workshop, Oslo 7.3.2008
- Presentasjoner og diskusjoner fra møte med VR, Helsinki, 17.9.2007
- Diverse møter og uformell dialog

Vedlegg A - Ordliste

Engelsk	Norsk
BEOC (Beginning or End OverCover)	Antall oppgaver som er dekket flere ganger i starten/slutten av dagsverk
Block	Oppgave eller sett av oppgaver
Candidate	Ikke planlagt oppgave
Composed duty	Dobbelt tur
CREWS	Den generelle utgaven av systemet (TPO er utgaven tilpasset til NSB)
Duty calculated hours (DCH)	Tjenestetimer
Duty break	Pausen i et delt dagsverk
Duty duration working hours (DDWH)	Klokketimer (AML tid)
Duty rest/Rest time	Oppholdet i en dobbelt tur
Duty working hours roster (DWHR)	Klokketimer
Frequency	Kjøredag
Full frequency	Alle kjøredager (hel uke)
Gap	Opphold mellom to oppgaver(gjennomstreket opphold)
Global restriction	Regel som styrer planen som helhet og ikke hvert enkelt dagsverk (virker i optimeringen)
HOC (Hard OverCover)	Antall oppgaver som er dekket flere ganger midt i dagsverk
IP Solver	Optimeringsmotor/Løsningsmotor
Phantom task	Manuelt definert oppgave(kunstig tjeneste, kan være både et tog og en lokal oppgave)
PTrip	Pass reise
RS (Rolling Stock)	Rullende materiell
Shuttle Traffic Train	Vending, f.eks Ski-Skøyen T/R
Task	Oppgave
TOC (Total OverCover)	Totalt antall oppgaver som dekkes flere ganger

Vedlegg B – Sekvensieringsmetoder

Under refereres SISCOGs svar på følgende spørsmål:

Which criteria are used in the sequencing methods “IP Blocks” and “IP Big Blocks”?

The IP Blocks resequence method is a timetable-based method that builds sequences of tasks by applying the following rules sequentially:

- Two consecutive tasks that don't share equipment are split into different sequences;
- Two consecutive tasks are joined in the same sequence if (this condition is valid for the Drivers reality only):
 - The first is a Train task and the second an Attendance task;
 - The first is a Train task and the second a Detachment task;
 - The first is an Attachment task and the second a Train task;
 - The first is a P1 Preparation task and the second a P2 Preparation task;
 - The first is a P2 Preparation task and the second a P3 Preparation task;
 - The first is a D1 Disposal task and the second a D2 Disposal task;
 - Both are Attendance tasks;
- When the station between two consecutive tasks is a station where a change of personnel should occur, those tasks are split into different sequences.
- If none of the above applies, the joining of the tasks in the same sequence is dependent on the time between those tasks.

The IP Big Blocks resequence method is a timetable-based method that builds sequences of tasks in two phases: first it applies the IP Blocks resequence method and then it joins the generated sequences based on the following rule:

- Two consecutive sequences are joined if all the following conditions apply:
 - The last task in the first sequence and the first task in the second sequence share equipment;
 - The time gap between the last task in the first sequence and the first task in the second sequence is inferior to 20 minutes;
 - The duration of the sequence obtained by joining both sequences is inferior to the limit defined in `*ip.big.blocks.threshold*`.
- Otherwise, the sequences are not joined.

Notes

[1] The stations where a change of personnel should occur are the ones defined in the Labour Rules parameter `*personnel.change.stations*`. This parameter is set in the Additional Knowledge.

[2] The variable `*ip.big.blocks.threshold*` is a Labour Rules parameter that is set in the Additional Knowledge.