



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

Bruk av TPO i analyser av personellbehov

FORFATTER(E)

Inger-Anne F. Sætermo og Marte Fodstad

OPPDRAGSGIVER(E)

NSB Drift

RAPPORTNR. STF50 F06090	GRADERING Åpen (etter 11.11.11)	OPPDRAGSGIVERS REF. Per Kristian Flaten	
GRADER. DENNE SIDE Åpen (etter 11.11.11)	ISBN	PROSJEKTNR. 508550.04	ANTALL SIDER OG BILAG 11+6
ELEKTRONISK ARKIVKODE SINTEF RAPPORT STF50 F06090.doc		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Inger-Anne F. Sætermo	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Mads Veiseth
ARKIVKODE	DATO 2006-08-29	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Arne Magne Stokka, forskningssjef	

SAMMENDRAG

I dagens situasjon er NSBs trafikkavvikling i helg dimensjonerende for personellbehovet, og gjør det vanskelig å få god utnyttelse av personellressursene på hverdager. NSB ønsket å få analysert hvordan ulike endringer i overenskomstene kan virke inn på personellbehovet. Analysene skulle utføres ved bruk av funksjon for automatisk planlegging i TPO. Ettersom det var usikkerhet forbundet med kvaliteten på de automatisk genererte planene i TPO ble det innledningsvis utført aktiviteter rettet inn mot en gjennomgang og uttesting av denne funksjonen.

Det viser seg at i versjonen av TPO som NSB har implementert fungerer funksjonen for automatisk planlegging ikke godt nok til at de planlagte analysene kan gjennomføres. SISCOG har allerede utviklet en ny funksjon for automatisk planlegging i TPO som NSB vil implementere i løpet av et års tid. Det er derfor besluttet å avvente videre arbeid med analysene til den er implementert.

Denne rapporten presenterer hvordan analysene var tenkt gjennomført, gir en beskrivelse av funksjonen for automatisk planlegging og oppsummerer hvilke erfaringer vi har fått gjennom arbeidet med dagens versjon av funksjonen for automatisk planlegging. Dette vil være nyttig informasjon når arbeidet med analysene skal tas opp igjen.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Jernbane	Railway
GRUPPE 2	Produksjonsplanlegging	Production planning
EGENVALGTE	Personellplanlegging	Crew planning
	Tog	Train

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Bakgrunn og formål.....	3
2	Metode	3
3	Beskrivelse av TPO.....	4
3.1	Planleggingsfunksjonene i TPO.....	5
3.1.1	Datagrunnlag og datahåndtering.....	5
3.1.2	Tilrettelegging for planlegging.....	5
3.1.3	Planlegging i automatisk modus.....	6
4	Arbeid med case.....	6
4.1	Beskrivelse av case.....	6
4.2	Resultat fra automatisk planlegging med TPO.....	8
5	Vurdering av TPOs egnethet for prosjektets analyser.....	9
5.1	Sammenlignbarhet i evaluering.....	10
6	Oppsummering og videre arbeid.....	10
6.1	Oppsummering.....	10
6.2	Videre arbeid.....	11
7	Referanser	11
	Vedlegg 1 Parametre som kan endres i regelsett-fila til TPO.....	12
	Vedlegg 2 Automatisk modus i TPO.....	14
7.1	Grunnprinsipp: søk i tilstander.....	14
7.2	Søkestrategi.....	14
7.3	Transisjonsregler.....	15
7.4	Stoppkriterier.....	16
7.5	Evalueringsfunksjon.....	16
7.5.1	Kostnadsfunksjon.....	16
7.5.2	Heuristisk funksjon.....	17

1 Bakgrunn og formål

I dagens situasjon er trafikkavviklingen i helg dimensjonerende for personellbehovet, noe som gjør det vanskelig å få til en god utnyttelse av personellressursene på hverdager. Samtidig forhindrer det en økt produksjon i deler av helgen.

NSB ønsket å få belyst hvordan endringer i overenskomsten med Norsk Jernbaneforbund (NJF) og Norsk Lokomotivmannsforbund (NLF) eventuelt kan endre på denne situasjonen. I første rekke var det ønske om å teste ut hypotesen om at en forlengelse av tillatt dagsverkslengde kan bedre situasjonen, men det var også aktuelt å se på andre endringer. SINTEF ble bedt om å bistå NSB i analysene, og arbeidet skulle utføres i samarbeid med personellplanleggere i Region Nord.

Det var også ønske om at man gjennom prosjektet skulle opparbeide seg et grunnlag for å kunne vurdere hvorvidt TPO er et egnet verktøy for analyser av endringer i overenskomstene mer generelt. Slike analyser vil være nyttige for NSB i forberedelsene til forhandlinger med arbeidstakerorganisasjonene. En slik vurdering av TPO vil innebære både å se på kvaliteten av planene som genereres automatisk i TPO, men også se på arbeidsomfanget som er nødvendig for å bruke TPO på denne måten.

I løpet av prosjektperioden ble det blitt klart at TPO i dag ikke fungerer godt nok til at de nødvendige analysene lot seg gjennomføre. En ny versjon av funksjonaliteten for automatisk planlegging i TPO vil implementeres i NSB i løpet av ett års tid, NSB ønsker derfor at prosjektet legges på is inntil dette er gjennomført.

Formålet med denne rapporten er å beskrive hvordan prosjektet var tenkt gjennomført, samt arbeidet som er gjennomført og erfaringene vi har fått gjennom aktivitetene som ble utført våren 2006. Dette vil være nyttig å ta med seg når prosjektet startes opp igjen.

Rapporten gir først en beskrivelse av metode og analysene som var tenkt utført. Ettersom bruk av funksjon for automatisk planlegging i TPO er sentralt i analysene har vi også tatt med en gjennomgang av hvordan denne funksjonen virker. Deretter beskriver vi arbeidet relatert til analyser av caset. Til slutt har vi tatt med en oppsummering og tanker rundt videre arbeid.

2 Metode

Å lage manuelle personellplaner er svært komplisert og tidkrevende. I et prosjekt hvor man ønsker å se på konsekvenser av ulike former for endringer av rammebetingelsene for planleggingen vil det være nødvendig å lage mange ulike planer. Dette krever bruk av et verktøy med funksjonalitet for automatisk planlegging. Det er ikke mulig å gjennomføre analysene med et verktøy som ikke modellerer trafikken, tilhørende arbeidsoppgaver og regelverk i detalj. Vi snakker med andre ord om et nokså komplekst verktøy, og ettersom NSB allerede har TPO var det naturlig å ta utgangspunkt i dette verktøyet for analysene.

TPO har funksjonalitet for automatisk generering av dagsverk, og automatisk turnering av disse dagsverkene. Funksjonen for turnering anses være nokså god og den brukes en del. Den automatiske genereringen av dagsverk er derimot lite i bruk. NSB ønsker på sikt å kunne gjøre analyser av personellplanlegging for Østlandet, men i og med at det var usikkerhet knyttet til kvaliteten på den automatiske genereringen av dagsverk ble det besluttet å teste ut denne på et avgrenset case-område først. Det ble definert et case bestående av trafikken i R154.2¹ som dekkes av lokførere stasjonert i Stavanger og Egersund.

Planen var å gjennomføre to typer analyser:

1. Sammenligninger av reelle (manuelle) planer med autogenererte planer fra TPO for å vurdere kvaliteten på TPO's løsninger
2. Sammenligninger av flere autogenererte planer for det utvalgte caset med ulike parametersettinger for å se hvilken betydning ulike rammebetingelser har på resultatet av planleggingen.

Når det gjelder punkt 2) vil dette innebære analyser av flere scenarier. Følgende alternativer ble vurdert opp som aktuelle innledningsvis:

1) *Lengde på dagsverk:*

Endre maksimalt antall AML timer i et dagsverk (nå satt til 10 timer)

- a) 11 timer
- b) 12 timer

2) *Start på natt/helg*

- a) Endre starttidspunkt for beregning av nattjeneste fra 01:30 til 02:00
- b) Endre slutt-tid for natt tidsberegning fra 06:00 til 05:30
- c) Endre slutt-tid for natt tidsberegning fra 06:00 til 05:00
- d) Endre parametere for søndagstidsberegning

3) *Kjøretider*

- a) Endre kjøretidsberegning fra 5:30 til 6:00

3 Beskrivelse av TPO

IT-verktøyet TPO har funksjonalitet for å støtte Turnusplanlegging, Personelldisponering og Oppgjør. Verktøyet er utviklet av det portugisiske selskapet Sistemas Cognitivos Lda (SISCOG) og bygger på deres standardssystem CREWS. Turnusplanleggingen har som mål å utvikle personellplaner uten tilordning til spesifikke personer. Tilordning av personell til planene skjer så i modulen for personelldisponering. I oppgjørsfunksjonen lages grunnlaget for utbetaling av lønn. (Pedersen, 2001)

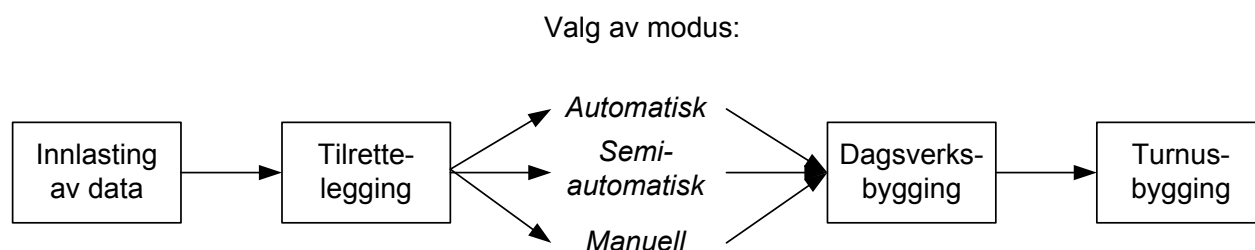
Systemets automatiske støtte til dagsverksplanlegging utgjør første del av turnusplanleggingen og vil være sentral i analysene som skal gjennomføres. Det er derfor laget en beskrivelse av hvordan denne automatiske planleggingsfunksjonen virker ut fra omtalen i Pedersen (2001), Margado og Martins (1992, 1998) og SISCOG (2000). Denne litteraturen gir en del informasjon om TPOs planleggingsfunksjon, men dekker ikke alle sidene ved den.

¹ Rutetermin 8/1-2006 – 10/6-2006

3.1 Planleggingsfunksjonene i TPO

Turnusplanleggeren i TPO håndterer planleggingen i to hovedsteg: dagsverksplanlegging og turnusplanlegging. I dagsverksplanleggingen settes aktiviteter sammen til dagsverk innenfor reglene for daglig arbeidstid. Reglene for ukentlig arbeidstid legger så føringer på hvordan dagsverkene settes sammen til turnuser i turnusplanleggeren. En oversikt over parametere i regelverket som bruker kan endre er vist i vedlegg 1².

Stegene i planleggingsfunksjonen til TPO er illustrert i Figur 1. Arbeidet starter med innlasting av data og tilrettelegging av disse. Dette er beskrevet i de to påfølgende del-kapitlene. Deretter starter selve planleggingsprosessen. Denne kan gjennomføres i tre alternative modi: manuell, semi-automatisk og automatisk. I manuell modus styrer brukeren planleggingen fullstendig mens verktøyet bidrar med beregning av nøkkeltall og regelsjekkning. I den andre ytterligheten, automatisk, styrer verktøyet hele planleggingen. Semi-automatisk innebærer at verktøyet foreslår alternativer for neste steg i planleggingen og brukeren styrer ut i fra dette. Man kan skifte modus underveis i prosessen. En overordnet beskrivelse av automatisk modus er gitt i del-kapittel 3.1.3. Mer detaljer om dette temaet finnes i vedlegg 2.



Figur 1 Systemoversikt for TPOs planleggingsfunksjon

3.1.1 Datagrunnlag og datahåndtering

Dagsverksplanleggeren benytter seg av en rekke inngangsdata ved planleggingen. Dette gjelder informasjon om infrastruktur, ruteplan, materiellturnering, lokale aktiviteter og tilgjengelig personell. Dessuten behøves beskrivelser av hva som er lovlige dagsverk, eksempelvis arbeidstidsbegrensningene beskrevet i overenskomstene med NLF og NJF.

Dataene håndteres av en egen modul som lagrer dataene, håndterer endringer og sikrer konsistente data både i forkant av planleggingen og underveis. En valideringsfunksjon varsler brukeren dersom modulen finner inkonsistens i dataene. Modulen holder også orden på hvilke steg som er tatt i planleggingsprosessen, slik at brukeren kan velge å gå tilbake til et tidligere stadium av planen.

3.1.2 Tilrettelegging for planlegging

Før selve planleggingen starter bearbeides dataene for å etablere ”byggesteiner” av passende størrelse som deretter skal planlegges. Disse byggesteinene består av en eller flere oppgaver som skal utføres av personellet og kalles heretter sekvenser. Denne bearbeidingen gjøres av systemet, men med påvirkningsmulighet for brukeren.

Først genereres alle oppgaver som skal dekkes basert på ruteplanen og materiellturneringen. Deretter reduseres detaljeringsgraden ved hjelp av gruppering og abstraksjon. Gruppering betyr at oppgavene grupperes i foretrukne sekvenser basert blant annet på informasjon om hvilke stasjoner

² Øvrige parametere er ikke vurdert da de er hardkodet og eventuelle endringer må gjøres av TPO-leverandøren SISCOG.

det bør være tillatt å bytte personell. Abstraksjon innebærer at oppgaver som ligner hverandre i innhold, tidspunkt og sted men skjer på ulike dager grupperes. Dette kan eksempelvis være et tog på ulike dager. De resulterende sekvensene etter gruppering og abstraksjon kalles kandidater. Disse fordeles i ulike delmengder som planlegges hver for seg, eksempelvis en mengde for hvert stasjoneringssted. En kandidat kan tilhøre flere mengder slik at man kan vurdere underveis i planleggingen hvor kandidaten passer inn best.

Under selve planleggingen vil et stort antall korte sekvenser gi størst fleksibilitet til å finne den beste planen. På den annen side vil dette føre til at beregningsarbeidet som må gjennomføres for å finne fram til planen er stort. Hensikten med tilretteleggingsprosessen er derfor å finne en balansegang hvor verktøyet har fleksibilitet til å finne gode løsninger samtidig som regnetiden blir akseptabel. Dessuten kan grupperingen utformes med tanke på å øke robusthet og regularitet i planene.

3.1.3 Planlegging i automatisk modus

Planleggingsfunksjonen i TPO baserer seg på strålesøk, en metode fra kunstig intelligensretningen innen IKT. Metoden bygger opp en plan stegvis på en måte som ligner den stegvise prosessen en planlegger vil lage en plan manuelt. Denne relativt menneskenære måten å tenke på gjør verktøyet transparent for brukeren og metodevalget muliggjør nær brukerinteraksjon.

Noe forenklet gjennomføres planleggingen på følgende vis: Kandidater legges en og en til et dagsverk inntil det er fullt. Valg av kandidat gjøres med tanke på at minst mulig dødtid skal settes igjen i dagsverket. Deretter opprettes et nytt dagsverk som fylles. Slik arbeider verktøyet inntil planen er ferdig.

Verktøyet arbeider med flere alternative planutkast som har varierende ferdigstillelsesgrad. En evalueringsfunksjon benyttes til å vurdere hvilket alternativ som til enhver tid ser mest lovende ut, og som derfor velges til videre planlegging. Evalueringsfunksjonen beregner kostnaden ved de allerede planlagte dagsverkene og estimerer kostnaden ved å planlegge de gjenstående kandidatene.

Planen er ferdig når ett av to stoppkriterier er nådd:

1. Alle kandidater er planlagt
2. Grensen for antall dagsverk for en dag er nådd

TPOs automatiske modul bygger på en grådig heuristikk. En heuristikk innebærer at systemet er bygget for å lete etter gode løsninger, men ikke kan garantere at den optimale planen er funnet. Systemet har heller ingen mulighet til å indikere hvor langt fra optimum en foreslått plan er. Med optimal plan menes her en plan som det teoretisk kan bevises at har den lavest mulige kostnaden samtidig som den tilfredsstillende alle etterspørsel og alle regler definert i systemet. Kostnaden er definert av evalueringsfunksjonen.

4 Arbeid med case

4.1 Beskrivelse av case

Geografisk og trafikal avgrensning

I analysene ble det besluttet å fokusere på lokførere, da dette for øyeblikket er den knappeste ressursen. Stasjoneringsssted Stavanger og Egersund samt den kjøringen lokførere stasjonert her foretar fram til Kristiansand ble valgt som case³. Denne trafikken er relativt isolert og oversiktlig og bidrar til at analysene ikke blir unødvendig kompliserte. På sikt er det ønskelig å gjennomføre analysene beskrevet for produksjonen på Østlandet, og det var et poeng ved å velge Stavanger/Egersund som case at kombinasjonen av regiontog og lokaltog til dette caset har klare likhetstrekk med produksjonen på Østlandet.

Stavanger har 32 lokførere, derav 10 som bor i Egersund. Disse har en egen avtale utenom overenskomsten. I analysene håndteres Egersund som om det er et eget stasjoneringsssted og man tar ikke hensyn til disse spesielle avtalene.

Valg av ruteplan

Det er en fordel å bruke nyest mulig ruteplan, da bakgrunnsdataene gradvis blir bedre og bedre. 154.2 var nyeste ruteplan tilgjengelig da arbeidet ble startet opp. Denne ble derfor valgt.

Personellplanene som kjøres i dag

En gjennomgang av dagens planer for Stavanger og Egersund viste at disse hadde relativt mange manuelt innlagte aktiviteter. Gjennomgangen viste at endel uttak, innsett og bytte av ende var doblet. Det kan være flere ulike årsaker til at dette er gjort – det kan ligge feil tider (f.eks gangtider) i standardtabellene, ekstra aktiviteter som f.eks post er utelatt, eller det kan være ønske om å fylle ut dagsverk. I dagens situasjon er det 3 turnuser for Egersund og 6 turnuser for Stavanger. Tabell 1 og Tabell 2 gir en beskrivelse av henholdsvis fordeling av type dagsverk og dagsverktype etter kjøredager for lokførere på hver av stasjoneringssstedene.

Tabell 1 Dagsverktype etter kjøredager for lokførere. R154.2

Dagsverktype \ Ukedag	1	2	3	4	5	6	7
Stavanger							
Normal	12	12	12	12	12	8	8
Rammetjeneste	5	5	4	4	3	2	2
Sum	17	17	16	16	15	10	10
Egersund							
Normal	5	5	5	5	5	3	3
Rammetjeneste	1	3	3	3	3	1	2
Sum	6	8	8	8	8	4	5

³ Produksjonen på samme strekning som dekkes av personellet i Kristiansand holdes utenfor analysen.

Tabell 2 Type dagsverk etter kjøredager for lokførere. R154.2

Type dagsverk etter kjøredager for lokfører (Stavanger)

Type dagsverk\Ukedag	1	2	3	4	5	6	7
Stavanger:							
O	6	0	1	5	0	0	12
X	0	4	3	0	5	12	0
T	0	1	0	0	1	0	0
Sum	6	5	4	5	6	12	12
Egersund:							
O	3	0	2	1	0	0	6
X	1	2	0	2	1	6	0
T	0	0	0	0	1	0	0
Sum	4	2	2	3	2	6	6

Dagens planer har en AML 9300-tid for Stavanger og Egersund på totalt 831:27:00 som fordeler seg med 570:07:00 for Stavanger og 261:20:00 for Egersund. Total tjenestetid for disse to stasjoneringstedene er på 935:58:00 (hhv 641:03:30 for Stavanger og 294:54:30 for Egersund).

4.2 Resultat fra automatisk planlegging med TPO

I tråd med prosjektplanen ble det etablert et case i TPO som er beskrevet i kapittel 4.1. Det ble gjort en rekke testkjøringer med automatisk planlegging basert på dette caset. Det viste seg at funksjonen for automatisk planlegging var vanskelig å bruke, og den var ustabil. Vi har både opplevd at kjøring på samme oppsett stopper med ulike feilmeldinger, og at planleggingen avbrytes før den er slutført uten noen opplagt årsak.

Tabellen under viser resultatet av fire TPO-kjøringer. Formålet er å vise et estimat på andelen aktiviteter automatikken klarer å planlegge. Dagens situasjon vil være det nærmeste vi kommer ”fasit”, der alle aktiviteter er dekket.

Tabell 3 Sammenligning av mengde planlagt aktivitet (tjenestetid alle kjøredager – en uke)

TPO-kjøring	Estimert tjenestetid	Andel planlagt tjenestetid sml. med dagens situasjon
Dagens situasjon, analysert i mars		
(Stavanger	293:43:30)	(100 %)
(Egersund	592:57:30)	(100 %)
Totalt	886:41:00	
Testkjøring 1a (innsett/uttak ikke bundet til togkjøring), analysert i mars		
(Stavanger	556:36:30)	53,8 %
(Egersund	158:03:00)	93,9 %
Totalt	714:39:30	80,6 %
Testkjøring 1b (innsett/uttak ikke bundet til togkjøring), analysert i mai		
(Stavanger	141:46:00)	48,3 %
(Egersund	420:14:30)	70,9 %
Totalt	562:00:30	63,4 %
Testkjøring 2 (innsett/uttak bundet til togkjøring), analysert i mai		
(Stavanger	196:04:30)	66,8 %

(Egersund	338:32:30)	57,1 %
Totalt	534:37:00	60,3 %

Testkjøring 1a hadde den høyeste andelen planlagte aktiviteter, men den hadde en rekke svært merkelige dagsverk som ene og alene bestod av lokale aktiviteter som tilsyn, innsett, uttak og lignende. Flere av disse aktivitetene kunne vært lagt inn i andre dagsverk uten regelbrudd, men den automatiske planleggeren valgte i stedet å generere nye dagsverk med disse aktivitetene. Den automatiske planleggeren stoppet før alle aktivitetene var planlagt til tross for at den oppgitte grensen på maksimalt antall dagsverk ikke var nådd.

Testkjøring 1b er utført med samme inngangsdata og samme parametersetting som testkjøring 1a. Forskjellen på disse to er tidspunkt for analysene. I perioden mellom dem har SISCOG gjort endringer på systemet. Disse endringene skulle visstnok ikke påvirke den automatiske planleggingen, men det kan likevel virke som om det har skjedd. Også i dette tilfellet stopper den automatiske planleggeren før alle aktivitetene er planlagt uten at grensen for maksimalt antall dagsverk er nådd.

Dagsverkene i testkjøring 2 ser mer fornuftig ut, her stanset imidlertid planleggingen etter kort tid uten at vi vet hvorfor. Aktivitetene som ikke var planlagt lar seg enkelt legge inn manuelt uten regelbrudd, og stoppkriteriet relatert til en øvre grense for antall genererte dagsverk var ikke nådd.

5 Vurdering av TPOs egnethet for prosjektets analyser

Her pekes på noen grunnleggende egenskaper ved TPO og hvordan disse virker inn på systemets evne til å støtte analysearbeidet tenkt gjort i dette prosjektet.

Prosjektets mål har vært å vurdere hvordan endringer i overenskomstene vil slå ut i personellbehov ved å sammenligne resultatene TPO oppnår ved ulike alternativer for overenskomstene. Siden TPO ikke garanterer optimalitet kan man ikke være sikker på at forskjeller man finner tilskriver seg endringene i overenskomstene alene. Det kan også være forskjell på hvor god TPOs foreslåtte plan er sammenlignet med den teoretisk optimale for hver kjøring. Dette vil tilføre analysene en usikkerhet som gjør at man ikke med sikkerhet kan konkludere rundt de spørsmålene som skal vurderes.

For å redusere denne usikkerheten kan man velge å gjøre tester på flere datasett hvor de samme endringene i overenskomstene gjøres. Opplever man lignende resultater for de samme endringene anvendt på ulike testdata gir det en indikasjon på at endringene og ikke systemet er årsak til forskjellene i resultat. Til gjengjeld vil de ulike datasettene gjøre absolutte tallstørrelser lite sammenlignbare.

Dersom man har tilgang på optimale planer for enkelte datasett kan det også være interessant å foreta en sammenligning mot resultatene TPO produserer for å få et inntrykk av hvor gode planer TPO produserer. Denne typen sammenligninger er det vanlig at programvareutviklerne selv foretar, slik at resultatene allerede kan være tilgjengelige hos SISCOG. Siden kvaliteten på TPOs planforslag kan variere mellom ulike datasett vil heller ikke resultatet fra slike sammenligninger være gyldig for alle andre datasett. Ved sammenligninger med flere ulike datasett har man likevel en indikasjon på kvaliteten systemet gir.

5.1 Sammenlignbarhet i evaluering

Når kostnaden eller personellbehovet for ulike planer skal sammenlignes er det naturligvis essensielt at planene er bygd under de samme forutsetningene. I tillegg til at inngangsdataene, parametersetting og overenskomstene må være like, må også evalueringsfunksjonene være like. Dette kan særlig være en utfordring i forbindelse med sammenligning av manuelt lagte planer med planer generert av et verktøy. Mens verktøy gjerne har relativt enkle og absolutte evalueringsfunksjoner vil en planlegger gjerne gjøre en rekke avveininger som også blant annet inkluderer mer ”myke” personhensyn.

Ved bruk av TPO i tester er det viktig å ha klart for seg hvilken evalueringsfunksjon systemet bruker og at det stemmer med de egenskapene organisasjonen ønsker at planene skal ha.

For å vurdere kvaliteten til resultatene fra TPO kan en mulighet være å sammenligne TPOs planer med manuelt lagte planer hos NSB. Tidligere erfaringer tilsier at kvaliteten på de manuelle planene er svært god, særlig når det er lenge siden siste grunnruteendring. Ved sammenligning av automatisk planlagte med manuelt lagte planer vil man ofte oppleve behov for litt ekstra tid med planleggerne for å bli kjent med alle kvalitetskriterier de benytter. Det kan dessuten være nødvendig å gjøre noen grep for å korrigere for verktøyets manglende muligheter til å benytte seg av dispensasjoner, slik planleggere i virkeligheten gjør fra tid til annen.

6 Oppsummering og videre arbeid

6.1 Oppsummering

Funksjonaliteten knyttet til automatisk planlegging av dagsverk og turnering i TPO ble før prosjektets oppstart identifisert som kritisk for gjennomføring av prosjektet, og en evaluering av hvorvidt TPO er egnet til denne type analyser var definert som en av leveransene fra dette prosjektet.

Arbeidet med caset har vist at den automatiske planleggingen i versjonen av TPO som NSB har implementert, ikke fungerer godt nok til at de ønskede scenarie-analysene kan gjennomføres. Uttestingen av automatisk planlegging i TPO er utført dels på arbeidsmøtene, dels av personellplanleggerne i Trondheim og dels av SINTEF.

Den automatiske planleggingen er en funksjon i TPO som er relativt komplisert å bruke, og det ble derfor rettet en forespørsel til SISCOG i juni 2006 med spørsmål om hva som kan være årsaken til at planleggingen stopper når stoppkriteriene tilsynelatende ikke er oppfylt. Denne forespørselen har imidlertid NSB og SISCOG valgt å prioritere ned inntil videre, da ressursene i første omgang brukes til å få TPO til å fungere og støtte opp rundt avvikling av ordinær drift i NSB.

For å få bedre innsikt i hvordan den automatiske planleggingen utføres har foreliggende dokumentasjon gjennomgått. Dette er i hovedsak systembeskrivelsen (SISCOG, 2000a) algoritmebeskrivelsen (SISCOG, 2000b), og diplomoppgaven til Patrik Pedersen (Pedersen, 2001) Denne litteraturen gir en del informasjon om TPOs strategi for automatisk planlegging, men dekker ikke alle sidene ved den. En kort oppsummering hvor den underliggende algoritmens virkemåte er forsøkt forklart på en prinsipiell måte uten utstrakt bruk av formelverk er vist i kapittel 3. En vurdering av hensiktsmessighet er gitt i kapittel 5.

6.2 Videre arbeid

Prosjektplanen og caset som er definert anser vi fortsatt for å være hensiktsmessig i gjennomføring av denne typen analyser. I en videreføring må det vurderes om det bør etableres et case til for å få gjennomført bedre tester og bedre analyser.

For å kunne gjennomføre analysene er det nødvendig å ha et system for automatisk planlegging som fungerer godt, slik at man kan være sikker på at effektene man finner skyldes endringer i rammebetingelser og ikke egenskaper ved verktøyet som er brukt. Det finnes flere systemer som tilbyr den nødvendige typen støtte. Analysene kan derfor enten avvende den planlagte implementeringen av ny versjon av automatisk planlegging fra SISCOG, eller rette seg inn mot bruk av tilsvarende systemer fra andre leverandører.

I tillegg til et godt verktøy for automatisk planlegging er det viktig at en videreføring av dette prosjektet planlegges slik at det er mulig å trekke inn personellplanleggere. Denne type verktøy er kompliserte å bruke, og vurdering av planenes kvalitet er sentralt og gjøres best av erfarne personellplanleggerne.

Ellers vil det startes opp et studentprosjekt med temaet ”Optimering innen personellplanlegging” ved NTNU høsten 2006. Dette gjennomføres i samarbeid med NSB og SINTEF og vil trolig gi nyttige bidrag til videre analyser av personellutnyttelse.

7 Referanser

Morgado, E.M. og Marins, J.P. (1992):”Scheduling and Managing Crew in the Portugese Railways”. *Expert Systems With Applications*, Vol. 5, 301-321.

Morgado, E.M. og Martins, J.P. (1998):”Crews_NS, Scheduling Train Crews in The Netherlands”. *AI Magazine*, Vol. 19, Nr 1, 25-38.

Pedersen, P. (2001):*Bruk av optimeringsbaserte beslutningsstøtteverktøy til personellplanlegging innen jernbanesektoren*. Hovedoppgave, Institutt for Industriell økonomi og teknologiledelse, NTNU.

SISCOG (2000a): *TPO. About the Search Strategies Technical Manual*, dokument versjon 1.1 av 14.7.2000, programvare versjon 1-1-1

SISCOG (2000b): *TPO User Manual. Chapter 1 Planning (Semi-)Automatically*

Vedlegg 1 Parametre som kan endres i regelsett-fila til TPO

Dagsverk:

- Kjøredagene:
Default for NSB er planlegging for dag 1-7. Et dagsverk kan være likt 7 dager i uken, og planlegges kun en gang. Det er mulig å endre til andre varianter som f.eks 1-5, 6, 7 eller 67.
- Maksimumslengde på dagsverk, uten passreise på slutten.
Klokketimer, er pt. satt til 16:00
- Maksimumslengde på dagsverk, inkludert passreise på slutten.
Klokketimer, er pt. satt til 23:59
- Maksimalt antall AML timer i et dagsverk. (10:00)
- Minste dagsverksopphold, dagtid (00:20)
- Minste dagsverksopphold, natt (2:00)
- Opphold i dette tidsrommet krever overnattingsrom (23:00-05:00)
- Opphold med varighet over denne verdien krever overnattingsrom (4:00)
- Starttidspunkt for søndagstidsberegning (06:00)
- Slutt tidspunkt for søndagstidsberegning (20:00)
- Start tid for natt tidsberegning (20:00)
- Slutt tid for natt tidsberegning (06:00)
- Start tidspunkt for definisjon av natt tjeneste (01:30)
- Slutt tidspunkt for definisjon av natt tjeneste (04:59)
- Tid for forlengelse av natt tillegg (03:01-06:00)
- Passreise i forkant av et dagsverk som ikke skal inn i AML (02:00)
- Minste dagsverk i tjenestetimer (5:00)

Turnus:

- Maksimalt antall opphold mellom dagsverk("raid") (6)
- Minimumsopphold mellom dagsverk (08:00)
- Maksimumstid for opphold på utestasjon 24:00
- Max. AML timer pr. uke (48:00)
- Gj.snitt AML pr. uke (35:30)
- Gj.snitt timer pr. uke (tjenestetimer) (37:30)
- Minimumsopphold mellom dagsverk på helg (11:00)
- Avslutningstid før en ukefriday (17:00)
- Første start tidspunkt etter en ukefriday (06:00)
- Avslutningstid før en ekstrafriday (21:00) (gjelder bare i kombinasjon med andre fridager)
- Første start tidspunkt etter en ekstrafriday (03:00)
- Anbefalt starttidspunkt etter en ekstrafriday (06:00)
- Avslutningstid før en turnusfriday (23:59)
- Første start tidspunkt etter en turnusfriday (00:01)
- Minimum antall ukefridager per uke (1)
- Gj.snitt antall ekstrafridager pr. uke (1)
- Gj.snitt antall dagsverk pr. uke (5)
- Maksimum sammenhengende natt tjenester i turnus (2)
- Maksimum dagsverk i turnus (6)

Tidsberegninger:

Nattidsberegning: 1 time = 1 1/4

Søndagstidsberegning: 1 time = 1 1/6

Spesielle parametre for lokførere:

Dagsverk:

- Kjøretidsbegrensning (5:30)
- Minste varighet på et dagsverksopphold (00:40)
- Del av et stasjonsopphold som telles med i kjøretidsberegningen (de første 5 minuttene)
- Tabeller for diverse frammøte/avslutning/innsett/uttak/tilsyn/gangtider osv.
- Intervall for når TPO skal generere innsett/uttak eller tilsyn (<1:30, tilsyn)
- Maksimum for manuelt å kunne flytte uttakstiden i tid (5:00)
- Tider for skjøting og deling av materiell

Turnus:

- Tid pr. uke til lesing av sirkulærer (00:30)
- Total friperiode i forbindelse med enkeltstående ekstrasfridag (33:00)

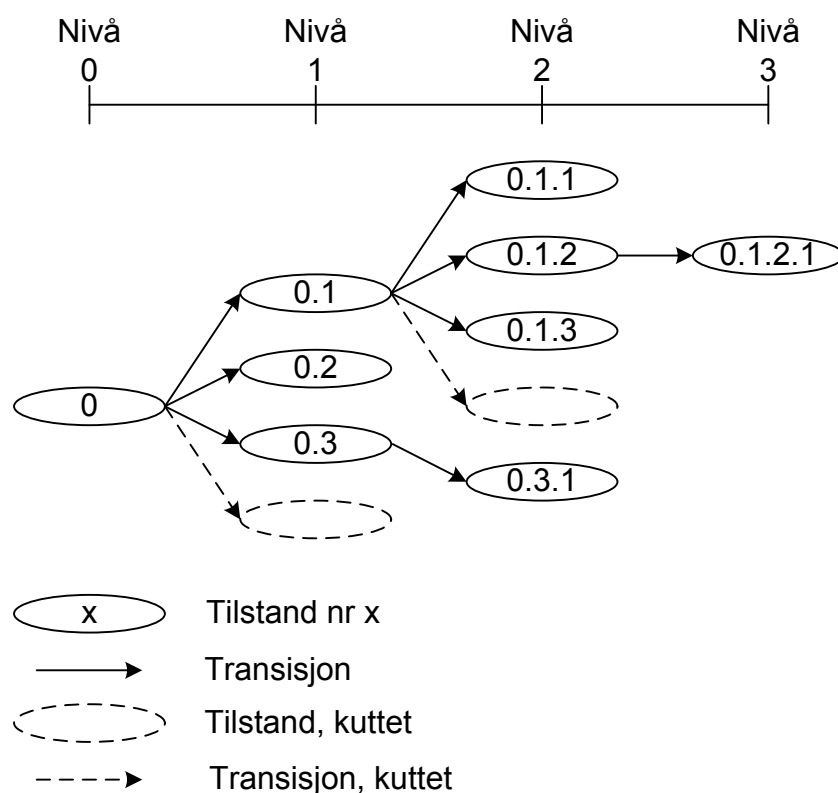
Vedlegg 2 Automatisk modus i TPO

Her gis en relativt detaljert beskrivelse av TPOs automatiske funksjon for generering av dagsverk. Beskrivelsen er basert på Pedersen (2001) og SISCOG (2000). Ved referanser til navngitte deler av verktøyet brukes de norske navnene som finnes i Pedersen (2001). Navnene skrives i kursiv.

7.1 Grunnprinsipp: søk i tilstander

Tilstand er et sentralt begrep i strålesøk. En tilstand består av en mengde kandidater som ikke er planlagt ennå og en mengde dagsverksgrupper (ferdige og uferdige) som er planlagt. En ny tilstand lages ved at en ny kandidat planlegges inn i en dagsverksgruppe. Dette kalles en transisjon. Fra en tilstand finnes det gjerne en rekke mulige transisjoner slik at det dannes et tre av tilstander som illustrert i Figur 2. Slutttilstanden er nådd når det ikke er flere kandidater igjen eller når et på forhånd definert antall dagsverksgrupper er planlagt.

For å redusere mengden tilstander som må vurderes og dermed mengden regnearbeid som må gjøres lages kun et begrenset antall etterfølger-tilstander fra en tilstand. Øvrige etterfølgere kuttet vekk og vurderes ikke videre i søket. Hvilke etterfølger-tilstander som lages bestemmes av et regelsett (transisjonsregler) med en tilhørende prioriteringsrekkefølge.



Figur 2 Søketre

7.2 Søkestrategi

Det skal være mulig å velge mellom ulike søkestrategier i TPO, men foreløpig er kun en søkestrategi definert. Denne strategien oppretter en dagsverksgruppe og fyller denne så langt som mulig med kandidater før neste dagsverksgruppe opprettes. Prosessen styres av flere parametere.

Parameteren *Generert ved utvidelse* begrenser hvor mange etterfølger-tilstander som maksimalt kan genereres fra en tilstand. Dette begrenser altså hvor mange forskjellige kandidater som kan prøves når man skal legge til én ny kandidat i en uferdig dagsverksgruppe. Dessuten finnes

parameterne *Brukt overalt* og *Utvidet pr nivå* som begrenser antall tilstander i henholdsvis søketreet totalt og i et nivå i søketreet. Dette fører til at tilstander som ikke ser lovende ut forkastes.

Parameterne *Grensen for dagsverkets lengde* og *Rest duration limit* definerer henholdsvis maksimal lengde for et dagsverk og maksimal lengde på et opphold på utestasjon. *Grensen for dagsverkets lengde* kan overskrides av konferanse eller passreise i slutten av et dagsverk.

Søkeprosessen går i en sykel. For hver runde velges en tilstand uten etterfølgere basert på tilstandens verdi i en evalueringsfunksjon. Deretter brukes transisjonsreglene på den valgte tilstanden slik at nye etterfølgere genereres.

7.3 Transisjonsregler

Det er definert fire transisjonsregler som kan generere etterfølgere fra en valgt tilstand:

1. *Legg til en ny dagsverksgruppe*
2. *Start dagsverk*
3. *Fortsett dagsverk*
4. *Utfyll dagsverk*

I hver sykel prøves disse i den rekkefølgen de er listet. Regel 4 benyttes kun dersom de foregående reglene ikke har klart å generere noen etterfølgere til den valgte tilstanden.

En tilstand kan ha en aktiv dagsverksgruppe. Dette er den dagsverksgruppen som er under planlegging i den aktuelle tilstanden.

Regel 1: *Legg til en ny dagsverksgruppe*

Regelen bestemmer hvilken dagsverksgruppe som skal gjøres aktiv for en tilstand og dermed være gjenstand for planlegging. Det avgjøres her hvorvidt de påfølgende planleggingsstegene skal ha en planleggende eller re-planleggende oppførsel.

Dersom valgt tilstand S har en aktiv dagsverksgruppe D som er tom vil ingen ny dagsverksgruppe bli laget. I stedet fortsetter planleggingen med å fylle D med kandidater ved å bruke de påfølgende reglene.

Hvis D ikke er tom lages det en ny etterfølger-tilstand hvor neste dagsverksgruppe i kronologisk rekkefølge settes aktiv. Dersom D er siste dagsverksgruppe i S, slik at det ikke finnes noen ”neste”, lages en ny tom dagsverksgruppe.

Finnes det derimot ingen aktiv dagsverksgruppe for S lages en ny etterfølger-tilstand. I denne settes første eller siste dagsverksgruppe fra S som aktiv dagsverksgruppe. Hvorvidt første eller siste gruppe velges bestemmes av parameteren *Alltid en ny?*. Hvis ingen dagsverksgrupper eksisterer i S lages en ny tom dagsverksgruppe.

Regel 2: *Start dagsverk*

Dersom aktiv dagsverksgruppe D for den valgte tilstanden S er tom lages en ny etterfølger-tilstand hvor den første kandidat legges til i dagsverksgruppen. Ellers gjøres ingenting. Det gjøres heller ingenting dersom det ikke finnes noen kandidater som verken er planlagt i S eller i en etterfølger av S.

Det finnes to parametere som avgjør hvilken kandidat som først legges inn i en ny dagsverksgruppe. Disse er *Start begrensning for en blokk med aktiviteter* (ts) og *Slutt begrensning for en blokk med aktiviteter* (tf). Parametrene representerer henholdsvis tidligste og seneste tidspunkt for et ethvert dagsverk.

Regel 2 velger ut den kandidaten som setter igjen minst dødtid i en av endene i dagsverket. Altså den kandidaten hvor differansen $\text{start_av_kandidaten} - \text{ts}$ eller $\text{tf} - \text{slutt_av_kandidaten}$ er minst. Samtidig som man velger kandidat velges også planleggingsretning for dagsverksgruppen. Dersom kandidaten ligger nærmest start-grensen ts vil påfølgende planlegging forsøke å fylle dagsverksgruppen fra slutten av den valgte kandidaten mot tf (med tiden). I motsatt tilfelle vil planleggingsretningen gå fra starten av den valgte kandidaten mot ts (mot tiden).

Regel 3: *Fortsett dagsverk*

Denne regelen prøver å fylle opp den valgte dagsverksgruppen D. Regelen anvendes kun på dagsverksgrupper hvor minst en kandidat er planlagt. Det kan lages flere etterfølger-tilstander som kun skiller seg ved den ene kandidaten som er lagt til av denne regelen.

Det velges blant kandidater som ikke allerede er planlagt i den valgte tilstanden eller i en av etterfølger-tilstandene. Den kandidaten som starter nærmest sluttidspunktet for allerede planlagte kandidater i D dersom planleggingsretningen er forover. Er planleggingsretningen bakover velges kandidaten som slutter nærmest startidspunktet for allerede planlagte kandidater i D.

Det lages nye etterfølger-tilstander med ulike nye kandidater inntil maksimumsgrensen for antall etterfølger-tilstander er nådd eller ingen flere utprøvde kandidater finnes.

Regel 4: *Utfyll dagsverk*

Regel 4 fungerer på samme måte som regel 3 bortsett fra hvilken kandidat som velges ut. Dersom planleggingsretningen er framover velges den kandidaten som ender nærmest starten av de eksisterende kandidatene i D. Tilsvarende velges kandidaten som starter nærmest enden av eksisterende kandidater i D hvis planleggingsretningen er bakover.

Hensikten med denne regelen er å fylle opp eventuelle hull i den valgte dagsverksgruppen som står igjen etter at regel 3 har fullført planleggingen i en retning. Denne regelen benyttes kun når regel 3 ikke har klart å lage noen etterfølger-tilstander fra en tilstand.

7.4 Stoppkriterier

Søket stopper når slutttilstanden er nådd. Slutttilstanden identifiseres ved at alle kandidater er planlagt eller minst en dag har nådd maksimumsgrensen for antall dagsverk. Denne grensen defineres i parametrene *Prognose for ukedag 1, 2, ..., 7* og kan variere for ulike ukedager.

7.5 Evalueringsfunksjon

Evalueringsfunksjonen er summen av to deler, en kostnadsfunksjon og en heuristisk funksjon. Disse beskrives her.

7.5.1 Kostnadsfunksjon

Kostnadsfunksjonen angir tidsforbruket i minutter for dagsverkene i en gitt tilstand. For ferdig planlagte dagsverk gis det en straff for tid som ikke er utnyttet. Dette gjøres ikke for den aktive dagsverksgruppen som ikke er ferdig planlagt.

Parameteren *Beregne på gruppebasis?*⁴ regulerer hvordan kostnaden for et dagsverk beregnes. Når TPO lager dagsverk legges disse i dagsverksgrupper. Dersom parameteren har verdien "yes" vil kostnadene ved et dagsverk bli multiplisert med frekvensen for dagsverket. Har parameteren

⁴ Oversettelsen fra den engelske betegnelsen *Compute on a case base?* burde vært *Beregne på dagsverksbasis?* og ikke *Beregne på gruppebasis?*, da dette stemmer bedre med systemets oppførsel ved parameterens verdier "yes" og "no".

verdien ”no” multipliseres kostnadene med frekvensen for gruppen, noe som er mindre presist. Til gjengjeld vil ”no” innebære betydelig mindre regnearbeid.

Det kan gis straff for lange dagsverk som inneholder såkalt ekstratid. Ekstratid er definert som all tid ut over en grense definert av parameteren *Gjennomsnittlig varighet på dagsverk*. Størrelsen på straffen bestemmes av parameteren *Vekting av ekstra tid* som multipliseres med ekstratiden. Dette produktet adderes til kostnadsfunksjonen. Standardoppsettet til TPO setter vektingsparameteren til null slik at det ikke gis noen straff for ekstratid.

Tiden som brukes på passreiser kan straffes ved vekting med parameteren *Passreise-faktor straffes* og adderes til kostnadsfunksjonen. Denne parameteren bør settes med litt forsiktighet siden en høy verdi kan føre til at verktøyet fokuserer hardt på ikke å bruke passreiser i starten av planleggingen og blir tvunget til å bruke mange passreiser mot slutten. Standardoppsettet til TPO setter parameteren til null slik at det ikke gis noen straff for passreiser.

Dersom parameteren *Enkelt tur?* er satt til ”yes” har verktøyet adgang til å lage delte dagsverk. Det er mulig å samtidig gi en straff pr delt dagsverk som adderes til kostnadsfunksjonen. Denne straffen defineres av parameteren *Straff på oppholdsfaktor*. Standardoppsettet tillager ikke delte dagsverk og gir dermed heller ingen straff for dette.

7.5.2 Heuristisk funksjon

Heuristikkfunksjonen gir et grovt estimat på tidsforbruket i minutter for kandidatene som ikke er planlagt i en gitt tilstand.

Funksjonen kan styres av en parameter *Konstant vekting*. Denne bestemmer hvordan kostnadsestimeringen for ikke-planlagte kandidater skal vektes i forhold til kostnadene ved de planlagte dagsverkene. Verdien fra heuristikk funksjonen multipliseres med parameteren slik at parameterverdier > 1 skalerer opp betydningen av ikke-planlagte kandidater mens verdier < 1 skalerer ned. SISCOGs erfaring tilsier at verdier > 1 generelt gir raskere søk, men med dårligere planer. Standardoppsettet setter parameterverdien lik 1.