

Bruk av optimeringsbaserte beslutningsstøtteverktøy til personalplanlegging innen jernbanesektoren



Hovedoppgave våren 2001

av
Patrik Pedersen

i samarbeid med
NSB Drift og teknikk



Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse
Fakultet for samfunnsvitenskap og teknologiledelse
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

FORORD

Personalplanlegging innen jernbanesektoren er en komplisert oppgave. Mitt første møte med temaet var gjennom norske medier sommeren 2000. Der ble jeg fortalt at NSB ikke hadde klart å planlegge ferieavviklingen slik at flere tog måtte innstilles på grunn av mangel på lokførere.

Da jeg fikk muligheten til å skrive min hovedoppgave på nettopp planlegging av lokførertjeneste syntes jeg dette hørtes veldig spennende ut, og jeg har ikke blitt skuffet. Arbeidet med denne oppgaven har gitt meg mange utfordringer av forskjellig art. Det være seg å forstå hvordan alt innen jernbanesektoren henger sammen, skjønne seg på metoder og algoritmer bak beslutningsstøtteverktøy til å lære meg å lese streklister. I tillegg til at jeg har lært mye under arbeidet med oppgaven håper jeg NSB vil få nytte av den.

Selve oppgaven tar for seg bruk av optimeringsbaserte beslutningsstøtteverktøy til personalplanlegging innen jernbanesektoren og er skrevet i samarbeid med Planavdelingen i NSB Drift og teknikk. I den sammenheng vil jeg rette en stor takk til Hans Petter Krane for oppfølging og interesse for min oppgave langt utover hva en kan forvente. Videre vil jeg takke hele TPO-teamet for deres store tålmodighet med alle mine spørsmål.

Under arbeidet med oppgaven har jeg hatt tilholdssted ved avdeling for Økonomi og logistikk ved SINTEF Teknologiledelse. Det har gitt meg et veldig bra utgangspunkt for arbeidet med oppgaven og jeg vil takke alle ved avdelingen for noen hyggelige måneder.

Min veileder Asgeir Tomasgard fortjener også en takk for gode råd og god veiledning. De gangene jeg har vært på vei til å la oppgaven skli helt ut har han forsøkt å hjelpe meg inn på riktig spor igjen.

Til slutt vil jeg takke min kjære Nina for støtte, oppmuntring og hjelp under arbeidet med hovedoppgaven.

Trondheim 23. juli 2001

Patrik Pedersen

SAMMENDRAG

Den europeiske jernbanen har gjennomgått og gjennomgår store omlegginger der målet er en mer effektiv jernbane som kan operere i et marked basert på konkurranse. De europeiske jernbaneselskapene innfører derfor nye styringsprinsipper og de tar i bruk nye beslutningsverktøy for å forbedre resultatene. Spesielt forsøkes nye verktøy innført for å optimalisere bruken av blant annet personalressursene.

I denne oppgaven vurderer jeg mulighetene for bruk av optimeringsbaserte beslutningsstøtteverktøy til personalplanlegging innen jernbanesektoren. Dette gjøres ved gjennomgang av litteratur, utvikling av måleparametere som kan brukes til å måle hvor god en personalplan er og ved praktisk bruk av NSB sitt beslutningsstøtteverktøy for personalplanlegging (TPO).

Ved utvikling av parametere for å måle hvor god en personalplan er har jeg tatt utgangspunkt i at de skal måle ressursutnyttelse, økonomi, robusthet og gjennomførbarhet i planene. Jeg har lagt vekt på å finne parametere som er kvantifiserbare.

Tre forskjellige optimeringsbaserte personalplanleggingssystemer er vurdert ut fra litteratur. Fordi litteraturen er skrevet av de som har utviklet systemene er det vanskelig å trekke klare konklusjoner om hvilket system som er best, noe som også er vanskelig uten å teste dem. Ingen av systemene garanterer optimale løsninger og de har alle styrker og svakheter. Mens det ene på grunn av sin basis i kunstig intelligens er lett å tilpasse til for eksempel nye regler og dermed lettere kan brukes til kontinuerlig produksjon uten omskriving av programvaren, er potensialet til i fremtiden å oppnå optimale løsninger størst med de to andre da disse er basert på teknikker fra matematisk programmering.

Ved hjelp av TPO har jeg generert personalplaner for Sørlandsbanen. Disse har jeg så sammenlignet med dagens manuelt lagde plan. Planene jeg har generert er betydelig dårligere enn planene som lages manuelt, og har dermed ingen verdi i planleggingsprosessen. Det er min oppfatning at planene blir dårlige fordi det er feil og mangler i programvaren.

I den automatiske funksjonen foretas konstruksjonen av dagsverk ved hjelp av grådighetssøk der det som ser best ut i øyeblikket forfølges. Kombinert med at søkerommet begrenses blir mange mulige løsninger forkastet selv om de egentlig burde vært en del av den endelige løsningen. For å bøte på dette problemet foreslår jeg at det legges til en modul som har som oppgave å forbedre dagsverkene etter at en løsning er konstruert.

Basert på de forsøk jeg har gjort er det vanskelig å anslå hvilket potensiale den automatiske funksjonen i TPO har. Jeg foreslår derfor at det foretas nye tester etter at de påpekte feil og mangler er rettet opp.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	I
SAMMENDRAG	III
1. INNLEDNING	1
1.1. BAKGRUNN FOR OPPGAVEN.....	1
1.2. FORMÅL MED OPPGAVEN	1
1.3. AVGRENSING AV OPPGAVEN	2
1.4. OPPGAVENS STRUKTUR	3
2. JERNBANESektoren: EN KORT INNFORING	5
2.1. OMLEGGING AV EUROPEISK JERNBANE	5
2.1.1. EU-politikk	5
2.1.2. Konkrete endringer	6
2.2. SITUASJONEN I NORGE	6
2.2.1. Jernbaneverket	6
2.2.2. NSB BA	6
3. PERSONALPLANLEGGING MED BESLUTNINGSSTOTTEVERKTØY	9
3.1. HVORFOR BESLUTNINGSSTOTTEVERKTØY?	9
3.1.1. Ledelsen	9
3.1.2. Planleggerne.....	10
3.2. HVORFOR BRUKES IKKE BESLUTNINGSSTOTTEVERKTØY I DAG?.....	11
3.3. HVA ER VIKTIG VED INNFORING AV BESLUTNINGSSTOTTEVERKTØY?.....	12
4. HVA ER EN GOD PERSONALPLAN?	13
4.1. BEGREPSAVKLARING.....	13
4.1.1. Stasjoningssted.....	13
4.1.2. Utestasjon.....	13
4.1.3. Dagsverk	13
4.1.4. Turnus	13
4.1.5. Materiellturnering	14
4.1.6. Passreise.....	14
4.2. ARBEIDSTIDSREGLEMENT	14
4.2.1. Dagsverkets lengde	14
4.2.2. Delt dagsverk	14
4.2.3. Tjenestetid.....	15
4.2.4. Hviletid	15
4.2.5. Sammenhengende kjøring.....	15
4.3. PARAMETRENER FOR Å MÅLE HVA SOM ER EN GOD PERSONALPLAN	15
4.3.1. Kriterier.....	15
4.3.2. Parametrer	16
5. METODER SOM BRUKES I BESLUTNINGSSTOTTEVERKTØY	19
5.1. KUNSTIG INTELLIGENS KONTRA MATEMATISK PROGRAMERING	19
5.2. KUNSTIG INTELLIGENS	20
5.2.1. Tilstandsrom	20
5.2.2. A*-algoritmen.....	20
5.2.3. Strålesøk.....	21
5.3. MATEMATISK PROGRAMERING	22
5.3.1. Set-covering	22
5.3.2. Dynamisk kolonnegenerering	23
5.3.3. Lagrange- relaksering	23
6. BESLUTNINGSSTOTTEVERKTØY FOR PERSONALPLANLEGGING	25
6.1. TPO/CREWS - NSB BA - NORGE	25
6.1.1. Behov for informasjon	26

6.1.2.	Planleggingsprosessen	26
6.1.3.	Planleggingsmodus	27
6.1.4.	Strategi for automatisk modus	28
6.1.5.	Søkeregler	29
6.1.6.	Evalueringsfunksjon	32
6.1.7.	Løsningstilstand	34
6.1.8.	Erfaringer med bruk	34
6.2.	TURNI - NS REIZIGERS - NEDERLAND	34
6.2.1.	Behov for informasjon	35
6.2.2.	Generelt om systemet	35
6.2.3.	Automatisk planleggingsmodul	35
6.2.4.	Erfaringer med bruk	36
6.3.	ALPI - FERROVIE DELLO STATO S.P.A - ITALIA	36
6.3.1.	Behov for informasjon	37
6.3.2.	Oppdeling av planleggingsprosessen	37
6.3.3.	Dagsverksplanlegging	37
6.3.4.	Erfaringer med systemet	38
7.	AUTOMATISK GENERERING AV PERSONALPLANER	39
7.1.	ETABLERING AV DATASETT	39
7.1.1.	Kriteriefil	40
7.1.2.	Innlesing av produksjonsplan	40
7.1.3.	Oppdatering av produksjonsplanen i TPO	41
7.1.4.	Sammenligning av datasett	42
7.2.	PRESENTASJON AV PRODUKSJONSPLAN	43
7.2.1.	Antall dagsverk	43
7.2.2.	Antall tjenestetimer	43
7.2.3.	Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver	43
7.2.4.	Personalkostnader	44
7.2.5.	Regelbrudd	44
7.3.	FREMGANGSMÅTE	45
7.4.	STANDARDOPPSETT	47
7.5.	PRESENTASJON AV AUTOMATISK GENERERTE PLANER	49
7.5.1.	Plan A	49
7.5.2.	Færrest betalte opphold - Plan B	51
7.5.3.	Reduksjon av passreiser - Plan D, G, H, I, J	52
7.5.4.	Oppnå færrest antall dagsverk - Plan L	53
7.5.5.	Færrest tjenestetimer - Plan F	53
7.5.6.	Færrest antall dagsverk - Plan G	55
8.	DISKUSJON	57
8.1.	DISKUSJON BASERT PÅ TEORETISK GJENNOMGANG	57
8.1.1.	Sammenligning av systemene	57
8.1.2.	Systemenes prestasjoner	58
8.1.3.	Oppsummering	58
8.2.	DISKUSJON BASERT PÅ AUTOMATISK GENERERTE PERSONALPLANER	59
8.2.1.	Tilrettelegging av datasett	59
8.2.2.	Parametersetting	60
8.2.3.	Feil og mangler i programvaren	60
8.2.4.	Oppsummering	63
9.	KONKLUSJON	65
10.	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	67
	LITTERATURLISTE	69

TABELLER

Tabell 7.1: Valgte tog.....	40
Tabell 7.2: Gjenværende arbeidsoppgaver.....	41
Tabell 7.3: Tidsforbruk for arbeidsoppgaver som skal planlegges	43
Tabell 7.4: Fordeling av dagsverk på stasjoneringsteder, produksjonsplan.....	43
Tabell 7.5: Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver, produksjonsplan	44
Tabell 7.6: Antall regelbrudd fordelt på typer, produksjonsplan	45
Tabell 7.7: Fordeling av dagsverk på stasjoneringsteder, plan A	49
Tabell 7.8: Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver, plan A.....	50
Tabell 7.9: Antall regelbrudd fordelt på typer, plan A.....	50
Tabell 7.10: Fordeling av dagsverk på stasjoneringsteder, plan B	51
Tabell 7.11: Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver, plan B.....	52
Tabell 7.12: Antall regelbrudd fordelt på typer, plan B.....	52
Tabell 7.13: ”Passreise-faktor straffes” effekt på planene	53
Tabell 7.14: Fordeling av dagsverk på stasjoneringsteder, plan F	54
Tabell 7.15: Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver, plan F	54
Tabell 7.16: Antall regelbrudd fordelt på typer, plan F	54
Tabell 7.17: Fordeling av dagsverk på stasjoneringsteder, plan G.....	55
Tabell 7.18: Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver, plan G	56
Tabell 7.19: Antall regelbrudd fordelt på typer, plan G	56
Tabell 8.1: Sammenligning mellom produksjonsplan og beste plan	59

VEDLEGG

Vedlegg A: Kart	A
Vedlegg B: Utrekning av personalkostnader	B
Vedlegg C: Systemfeil.....	C

1. INNLEDNING

I dette kapittelet vil jeg først beskrive bakgrunnen for oppgaven. Jeg vil så beskrive formålet med oppgaven og foreta avgrensning av denne. Til slutt gis en oversikt over oppgavens struktur.

1.1. BAKGRUNN FOR OPPGAVEN

Den europeiske jernbanen har gjennomgått og gjennomgår store omlegginger. Privatisering og deregulering er gjennomgangstemaer og følger som konsekvens av flere EU-direktiv som omhandler jernbanen (Caprara m.fl., 1999). Målet med direktivene er å gjøre jernbanen mer effektiv slik at den kan integreres i et marked basert på konkurranse (EU-direktiv 91/440). Jernbanen skal også gis mindre statsstøtte for å unngå konkurransevridning i forhold til andre transportmidler, og krysssubsidiering mellom markedssegmenter og deler av nettverket skal unngås (Caprara m.fl., 1999).

Med dette som scenario innfører de europeiske jernbaneselskapene nye styringsprinsipper og de tar i bruk nye beslutningsverktøy for å forbedre resultatene. Spesielt forsøkes nye verktøy innført for å optimalisere bruken av blant annet personalressursene (Caprara m.fl., 1999). Som Norges største jernbaneoperatør startet NSB BA arbeidet med anskaffelse og innføring av et slik verktøy for personalplanlegging i desember 1995 (NSB, 1997). Innføringen antas å være ferdig i løpet av 2001.

Basert på erfaring fra tidligere samarbeid mellom SINTEF Teknologiledelse og NSB Drift og teknikk ble det i 2000 gjennomført to studentoppgaver knyttet bruk av operasjonsanalyse innen planlegging i NSB. Som en videreføring av samarbeidet rundt disse ble det vinteren 2001 tatt initiativ til en oppgave knyttet til bruk av beslutningsstøtteverktøy i personalplanlegging hos NSB. Denne hovedoppgaven er et resultat av dette initiativet.

1.2. FORMÅL MED OPPGAVEN

Formålet med denne oppgaven er å vurdere muligheten til å benytte optimeringsbaserte beslutningsstøtteverktøy for å lage personalplaner innen jernbanesektoren. For å kunne foreta denne vurderingen vil jeg først se på personalplanlegging innen jernbanesektoren på et generelt nivå. Jeg vil her se på hvorfor en bør ta i bruk beslutningsstøtteverktøy, hvorfor dette ikke er gjort ennå og hva som er viktig ved valg og innføring av slike system. Jeg vil også utvikle måleparametere som kan si noe om hva som er en god personalplan.

Videre vil jeg foreta en beskrivelse av konkrete IT-systemer som i dag benyttes for personalplanlegging hos tre utvalgte jernbaneselskaper i Europa. Jeg vil også beskrive

metodene som ligger bak disse systemene da disse har mye å si for resultatene som produseres.

Ved hjelp av NSB sitt nyanskaffede personalplanleggingssystem vil jeg så generere personalplaner for lokførere på Sørlandsbanen¹. Disse vil bli sammenlignet med dagens manuelt fremstilte personalplan. Til denne sammenligningen vil jeg benytte de nevnte parametrene.

1.3. AVGRENSING AV OPPGAVEN

Personalplanlegging er et begrep som favner vidt. Vi kan dele det i strategisk og taktisk planlegging (Stølan m.fl., 2000). Strategisk planlegging dreier seg om langsiktig planlegging mens taktisk planlegging er planlegging på mellomlang sikt. Som eksempel fra jernbanesektoren vil strategisk planlegging på personalsiden blant annet dreie seg om å utdanne riktig antall lokførere til å møte fremtidige behov. Taktisk planlegging vil for eksempel dreie seg om å bemanne tog i neste ruteplanperiode. I denne oppgaven vil jeg ta for meg personalplanlegging på taktisk nivå. Konkret betyr det at jeg vil konsentrere meg om planlegging for en ruteplanperiode. De siste årene har en ruteplanperiode i Norge hatt en varighet på ett halvt år.

Den taktiske planleggingen kan videre deles opp i to hovedkomponenter. Først foretas dagsverksplanlegging som går ut på å sette sammen arbeidsoppgaver som skal løses av en person i løpet av en arbeidsdag. Disse dagsverkene blir så satt sammen i en turnus. En turnus er samling dagsverk som skal utføres i løpet av en gitt periode, vanligvis fire uker. Denne oppgaven vil begrenses til å dreie seg om dagsverksplanlegging og følgelig ikke turnusplanlegging. Dette i første rekke fordi dagsverkene kan sees på som selve byggeklossene i personalplanene. Disse må følgelig være gode for at turnusene skal kunne bli bra. Avgrensningen gjøres også for å begrense størrelsen på oppgaven.

Personalmessige avgrensninger av oppgaven til å gjelde lokførere. Dette kan gjøres da det ikke er noen planmessig avhengighet mellom disse og annet ombordpersonell, og det vil være i samsvar med dagens planleggingspraksis.

Generering av dagsverk er en oppgave med stor kompleksitet. For å begrense kompleksiteten i den praktiske delen har jeg valgt å foreta planlegging for en banestrekning, Sørlandsbanen. Tidsrommet det planlegges for er ruteplan R01.1 som går fra januar til juni 2001. Disse valgene gir gode muligheter til å sammenligne med dagens manuelle plan for gitte tidsrom da denne også er laget isolert for Sørlandsbanen.

¹ Se vedlegg A for kart over Sørlandsbanen.

Når jeg utvikler parametre for å vurdere hvor gode personalplanene er vil jeg ta utgangspunkt i at personalplanene skal føre til en så rasjonell drift av togene som mulig. Det vil si at personellressursene skal utnyttes best mulig.

1.4. OPPGAVENS STRUKTUR

I kapittel 2 gis en kort gjennomgang av de endringer som har skjedd og skjer innen europeisk jernbane. Dette for å motivere for hvorfor det iverksettes forbedringstiltak blant annet innen personalplanlegging. Jeg presenterer også NSB. I kapittel 3 tar jeg for meg personalplanlegging med beslutningsstøtteverktøy. Jeg ser på hvorfor en skal benytte beslutningsstøtteverktøy, hvorfor det ikke gjøres og hva som er viktig ved en innføring.

I kapittel 4 ser jeg på hvordan en kan måle om en personalplan er god. Her utvikles det parametere som skal brukes senere i oppgaven. Kapittel 5 omhandler metoder som brukes i noen utvalgte optimeringsbaserte beslutningsstøtteverktøy. Disse presenteres fordi de har stor innvirkning på resultatene som systemene som presenteres i kapittel 6 produserer.

Kapittel 7 omhandler min praktiske bruk av NSB sitt beslutningsstøttesystem for personalplanlegging. Jeg beskriver her hvordan jeg har etablert datasettet som er benyttet til automatisk generering av personalplaner, hvordan jeg har brukt programmet og jeg presenterer de genererte planene. I tillegg presenteres den manuelle planen som jeg vurderer de automatisk genererte planene opp mot.

I kapittel 8 diskuteres både teori og resultat fra genereringen av planer, mens jeg i kapittel 9 konkluderer basert på diskusjonen. Oppgaven avsluttes i kapittel 10 med forslag til videre arbeid med problemstillingen.

2. JERNBANESEKTOREN: EN KORT INNFORING

I dette kapitlet vil jeg foreta en kort gjennomgang av omleggingen av den europeiske jernbanen. Dette for å motivere for de forbedringstiltakene som skjer blant annet innen personalplanlegging. Jeg vil også gi en presentasjon av jernbanesektoren i Norge.

2.1. OMLEGGING AV EUROPEISK JERNBANE

2.1.1. EU-POLITIKK

Med utgangspunkt i flere EU-direktiv (91/440, 95/18, 95/19) fra første halvdel av 1990-tallet har den europeiske jernbanen gjennomgått store forandringer det siste tiåret. Hovedformålet med direktivene var å gjøre jernbanen mer effektiv slik at den kunne integreres i et marked basert på konkurranse. For å få til det fastslo EU gjennom direktiv 91/440 at det skulle foretas et skille mellom forvaltning av infrastrukturen på den ene siden og transport av personer og gods på den andre siden. Forvaltning av infrastrukturen skulle fortsatt være under statlig kontroll mens det på operatørsiden skulle tilrettelegges for konkurranse mellom flere aktører. Subsidiert mellom de to områdene er i følge direktivet ikke lov. Videre skulle de statlige jernbaneselskapene sikres status som selvstendige virksomheter for at de på den måten skulle kunne drives forretningsmessig og tilpasset markedets behovene. Til slutt gav direktivet retningslinjer for hvem som skal få tilgang til infrastrukturen.

Direktiv 95/18 trekker opp kriterier for tildeling av lisens for transportører. Det slår også fast at en lisens utstedt av et av medlemslandene også skal gjelde i resten av EU. Tildeling av linjekapasitet og betaling for dette er temaet i direktiv 95/19. Her fokuseres det på at dette må skje på "ikke-diskriminerende" måte og slik at infrastrukturen blir utnyttet best mulig.

Direktivene er i inneværende år endret og erstattet ved direktiv 2001/12, 2001/13 og 2001/14. Endringene forsterker fokuset på en mer effektiv utnytting av jernbanenettet og dermed en bedre produksjon av tjenester.

Denne nye jernbanepolitikken har utspring i de generelle EU-prinsippene om åpne markeder og fri flyt av personer, varer og tjenester mellom medlemslandene. Dette betyr blant annet at det også skal åpnes for større utnytting av jernbanenettet for internasjonale ruter, noe som krever kompatibel teknologi og felles industristandarder. Caprara m.fl. (1999) hevder at slike tiltak vil forandre europeiske jernbaneselskaper til mer produktive, kundeorienterte, kostnadsbevisste og bedre ledete selskaper. Dette representerer en stor endring fra de tradisjonelt vertikalintegreerte og statseide jernbaneselskapene.

2.1.2. KONKRETE ENDRINGER

En del land har allerede tilpasset seg den nye virkeligheten. Noen steder også uavhengig av EU-politikk, men som en konsekvens av nasjonal politikk. Dette gjelder for eksempel i Sverige der en allerede i 1988 foretok en delingen mellom Banverket, som fikk ansvaret for infrastrukturen, og SJ, som fikk ansvaret for togtrafikken (Caprara m.fl., 1999).

En liknende deling kom i Storbritannia i 1994 mellom Railtrack og ca 25 togoperatører (Encyclopædia Britannica, 2001). I flere andre land har en i første omgang valgt å dele jernbaneselskapene i uavhengige forretningsenheter med egne regnskap. Caprara m.fl. (1999) ser på dette som et første steg i forhold til videre oppdeling og privatisering.

Som nevnt i innledningen skal jernbanen gis mindre statsstøtte for å unngå konkurransevridning i forhold til andre transportmidler, og krysssubsidiering mellom markedssegmenter og deler av nettverket skal unngås. Disse markedsreglene introduseres først på de høyt trafikkerte og økonomisk lønnsomme strekningene. Caprara m.fl., (1999) hevder at dette påvirker de europeiske jernbaneselskapene til å innføre nye styringsprinsipper for å forbedre resultatene. Spesielt forsøkes nye verktøy innført for å optimalisere bruken av personal- og andre ressurser.

2.2. SITUASJONEN I NORGE

Som en følge av EØS-avtalen blir EU-direktiv en del av den norske lovgivningen, og de nevnte direktiv regulerer følgelig også norske forhold.

Tilpassing til direktiv 91/440 ble gjennomført i desember 1996 ved at trafikkdelen av NSB ble omgjort til et særlovsselskap, NSB BA, mens forvaltningen av infrastrukturen ble lagt til det statlige forvaltningsorganet Jernbaneverket (NSB, 1998a).

2.2.1. JERNBANEVERKET

Jernbaneverket er statens fagorgan for jernbanevirksomhet og har forvaltningsansvaret for det offentlige jernbanenettet. Det vil si at Jernbaneverket skal forvalte og utvikle infrastrukturen, utøve trafikkstyring og fordele tilgang til jernbanenett til aktuelle operatører. I desember 1999 hadde Jernbaneverket ca 3.600 ansatte og forvaltet 4.178 km jernbane. Drift og vedlikehold beløp seg til 2,6 milliarder mens investeringer beløp seg til 1,4 milliarder (Jernbaneverket, 2000).

2.2.2. NSB BA

NSB BA er et særlovsselskap eiet av Staten ved Samferdselsdepartementet. Styringsformen har mange likheter med et statsaksjeselskap og staten hefter kun for innskutt kapital og har derved begrenset ansvar (BA). Samferdselsministeren er NSBs

generalforsamling. NSB bærer selv det forretningsmessige ansvar for driften, og finansierer investeringer gjennom egen inntjening eller ved å oppta lån.

Konsernet NSB bestod ved utgangen av 2000 av morselskapet NSB BA med dets syv enheter; NSB Langdistanse, NSB Mellomdistanse, NSB Kortdistanse, NSB Persontrafikk Nord, NSB Eiendom, NSB Drift og teknikk og NSB Gods samt fire datterselskaper Flytoget AS, NSB Nettbuss, AS ROM Eiendomsutvikling AS og MI Trans AS.

NSB-konsernet hadde i desember 2000 i alt 10.029 ansatte. Konsernets driftsinntekter var i 2000 på 6.888 millioner kroner og driftsresultatet var -334 millioner kroner. Det ble i 2000 utført 54,9 millioner personreiser som utgjorde 2.811 millioner personkilometer og det ble fraktet 8 millioner tonn gods som utgjorde 2.328 millioner tonnkilometer (NSB, 2001a).

NSB Drift og teknikk

NSB Drift og teknikk er en støtteenhet som leverer tjenester til produktenhetene, og da særlig til NSB Langdistanse, NSB Mellomdistanse, NSB Kortdistanse og NSB Persontrafikk Nord, men også til NSB Gods. Tjenesten som leveres omhandler operatørforvaltning, fremføring og leveranser av togvedlikehold.

Enheten for operatørforvaltning (DTO) sørger for at gjeldende lover og forskrifter til en hver tid blir ivaretatt med hensyn til togenes konstruksjon, produksjon, utstyr, vedlikehold og fremføring. Enheten for fremføring (DTF) planlegger og styrer togproduksjonen, det vil si planlegging av ruter, vedlikehold og lokførerbemanning for person- og godstog, samt håndtering av avvik og kjøring av tog. Leveranser av togvedlikehold sørges for av avdelingen for teknisk innkjøp. Denne avdelingen har også et verksted som foretar kontroll og vedlikehold av materiell til person- og godstog. Resten av verkstedene til NSB eies av produktenhetene (NSB, 2001b).

Personalplanlegging med beslutningsstøtte i NSB

Som nevnt innledningsvis startet NSB BA arbeidet med anskaffelse og innføring av et beslutningsstøtteverktøy for personalplanlegging i desember 1995 (NSB, 1997). Dette arbeidet er organisert som et prosjekt under NSB Drift og teknikk og har en egen styringsgruppe. Denne gruppen har blant annet deltakere fra enhetene som skal benytte systemet. Systemet skal brukes til planlegging av konduktører og lokførere på lang og kort sikt samt til registrering og rapportering av utført tjeneste (NSB, 2001c). Planlegging av lokførertjeneste er underlagt Planavdelingen i DTO mens planlegging for konduktører utføres av produktenhetene.

3. PERSONALPLANLEGGING MED BESLUTNINGSSTØTTEVERKTØY

Personalplanlegging innenfor jernbanesektoren er en komplisert oppgave som tradisjonelt har blitt utført manuelt ved hjelp av papir og blyant. IT-systemer har i liten grad blitt benyttet blant annet fordi problemets kompleksitet har satt veldig store krav til datakraft. Cordeau m.fl. (1998) hevder at det også har manglet fokus på forbedret effektivitet og at det dermed ikke har blitt satset penger på å utvikle programvare for personalplanlegging. At det for andre deler av kollektivbransjen finnes programvare for slik planlegging støtter denne antakelsen (Watson, 2000).

De siste årenes utvikling av maskinvare og optimeringsteknologi har gjort det mulig å behandle stadig større problemstillinger og de nevnte endringene innen den europeiske jernbanen har ført til at det nå utvikles flere forskjellige systemer for personalplanlegging i Europa.

I dette kapittelet vil jeg drøfte forskjeller i synet på bruk av beslutningsstøtteverktøy hos ledelse og planleggere, hvorfor beslutningsstøtte ikke brukes i dag og hva som er viktig ved en innføring av beslutningsstøtteverktøy.

3.1. HVORFOR BESLUTNINGSSTØTTEVERKTØY?

Morgado og Martins (1996) hevder at fordelene med å ta i bruk et beslutningsstøtteverktøy for bedriften vil være å lettere bevare kunnskap i organisasjonen, planleggingsprosessen går raskere og at det dermed blir mulig å produsere alternative løsninger, at samme regler følges av alle og at det blir lettere å omstille seg til nye situasjoner.

Watson (2000) har fulgt den engelske jernbane gjennom flere år. Han hevder at synet på hva som er viktig med planleggingsprosessen og dermed motivasjonen for å ta i bruk beslutningsstøtteverktøy er forskjellig hos ledelse og planleggere. Ønsket funksjonalitet er følgelig også forskjellig. Jeg vil gjennomgå motivasjonen og ønskene fra de to gruppene hver for seg.

3.1.1. LEDELSEN

Ledelsen er opptatt av at en forbedret planprosess skal bidra til at det oppnås kostnadseffektiv produksjon av pålitelige tog tjenester. Forbedret effektivitet deler ledelsen i mer effektiv bruk av infrastrukturen og mer effektiv bruk av materiell og personal. Planer må legges slik at påliteligheten blir stor og at de blir robuste mot avvik. En robust plan er lagt slik at for eksempel forsinkelser for et tog ikke skal føre til forsinkelser for andre og at sykdom hos en lokfører ikke skal føre til store problemer med avvikling av togtrafikken.

Ledelsens mål for personalplanlegging er komplekse. Typisk er det et mål å ha så få ansatte som mulig, men kanskje viktigere er å minimalisere personalkostnadene. Da må det tas hensyn til bestemmelser i tariffavtalene som for eksempel overtidsbetaling og nattillegg. Videre uttrykker de at fleksibilitet i planer og i bruk av personalet er viktig slik at en lett kan tilpasse seg nye situasjoner som for eksempel endring i etterspørsel. Det er også viktig at personalet og fagforeningene er fornøyde.

Ledelsen uttrykker at de ønsker enkle løsninger på disse kompliserte spørsmålene. De ønsker planer som bruker infrastruktur, materiell og personell effektivt slik at en oppnår et minimalt forbruk av ressurser samtidig som en oppnår det forutsatte nivået av pålitelighet. De ønsker raske løsninger og å minimalisere antallet ansatte involvert i planleggingsprosessen. Disse ønskene mener de kan nås ved å ta i bruk beslutningsstøtteverktøy (Watson, 2000).

Det er ikke å anbefale å minimalisere antall ansatte som er involvert i planleggingsprosessen slik ledelsen ønsker. Den tiden som spares på å benytte beslutningsstøtteverktøy bør benyttes til å generere alternative planer slik at en kan foreta analyser på for eksempel kostnadsnivå og robusthet. Ideelt sett burde resultatene fra personalplanleggingen også spilles tilbake til planleggingen av ruteplan og materiellturnering slik at disse kan tilpasses for å forbedre den totale ressursutnyttelsen (Sætermo og Tomasgard, 2000).

3.1.2. PLANLEGGERNE

Noen av planleggerne ønsker til endringer i planleggingsprosessen er sammenfallende med ledelsens. Dette gjelder ønsket om å lage robuste planer, møte kundens behov samt kostnadseffektiv utnyttelse av ressursene. Selv om noen av ønskene er sammenfallende er prioritering av ønskene forskjellig og noen ganger også begrunnelsene.

Først av alt ønsker planleggerne støtte slik at de skal kunne nå de tidsfrister som settes. Videre ønsker de å få opp tempoet på planleggingen slik at tidsfristene kan være kortere og at planleggerne dermed kan bli mer kundeorienterte. Som nevnt er planleggerne også opptatt av å lage robuste planer, men ikke for å oppnå økonomisk gevinst. De er opptatt av å ikke få kritikk ved avvik. Videre ønsker de å kunne møte kundenes behov. Kostnadseffektiv utnyttelse av ressursene er fra planleggerne side rangert sist av åtte prioriterte ønsker.

Fra et eventuelt IT-verktøy ønsker planleggerne først og fremst hjelp til å bli kvitt rutinearbeid som datahåndtering og -manipulering² og tegning av løsninger. De ønsker seg også et grafisk arbeidsmiljø. Dette kan kalles brukernes grunnbehov. Når dette er oppfylt ønsker de seg hjelp til kvalitetssjekking forstått som feil- og konfliktdetektering. Med slik hjelp kan de konsentrere seg om de interessante planleggingsoppgavene. Bare helt til slutt, hvis i det hele tatt, ønsker de seg funksjoner for automatisk planlegging med optimalisering og konfliktløsning (Watson, 2000).

3.2. HVORFOR BRUKES IKKE BESLUTNINGSSTØTTEVERKTØY I DAG?

Utvikling av programvare for jernbaneplanlegging ligger noen år bak tilsvarende for andre deler av kollektivtransportsektoren som for eksempel fly- og bussektoren. Watson (2000) oppgir følgende grunner til dette; større kompleksitet, lite engasjement fra jernbanesektoren til å bruke avanserte algoritmer samt strukturen på programvareindustrien.

Cordeau m.fl. (1998) antyder at flere av løsningene som hittil har blitt laget har manglet realisme. Wren og Rousseau (1995) hevder at reglene som gjelder innen planlegging for jernbane er mer kompliserte og mer utbredt enn innen annen kollektivtrafikk. Dette fører til at det for mange spesifikke jernbaneproblemer må gjøres endringer i grunnalgoritmene for å produsere tilfredsstillende løsninger. Spesielt gjelder dette ruteplanlegging hvor jernbanenettet er mye mer komplekst enn i resten av kollektivtrafikken. Wren anfører også at regler som endres er et stort problem særlig i de tilfeller der algoritmene har blitt tilpasset spesielle situasjoner. På bakgrunn av de store endringene som skjer i europeisk jernbane med internasjonalisering, liberalisering og effektivisering som nøkkelord vil jeg anta at regelendringene er hyppigere og mer omfattende enn i andre deler av kollektivtransporten.

Watson (2000) anfører at det er et sprang fra hva som er utviklet til hva som ønskes av brukerne. Hovedproblemet er at løsningene som er utviklet har fokusert på algoritmer for optimalisert planlegging og at disse ikke har vært integrert i programvare som møter brukernes grunnbehov³. Modellene har også hatt en tendens til å overse mange aspekter av virkeligheten. Eksempel på dette kan være forenklinger i modellene som overser at det gjelder forskjellige regler på forskjellige steder i nettverket.

² Datahåndtering og -manipulering dreier seg om innsamling, innlegging, tilpassing og oppbevaring av de data og den informasjon som trengs for å lage en personalplan. Eksempler på slik data og informasjon kan være ruteplaner, materiellturnering og opplysninger om stasjoneringsmønster (se kapittel 4.1 for begrepsavklaring).

³ Se kapittel 3.1.2.

3.3. HVA ER VIKTIG VED INNFØRING AV BESLUTNINGSSTØTTEVERKTØY?

Morgado og Martins (1996) hevder at det viktigste med et beslutningsstøtteverktøy er at det hjelper planleggerne i prosessen. Siden mesteparten av kunnskapen om personalplanlegging kommer fra erfaring er en veldig avhengig av planleggerne og deres vilje til å bruke eventuelle nye verktøy. Dette støttes av undersøkelser gjort i Storbritannia der det konkluderes med at fokuset først må være å få gode løsninger for datahåndtering og -manipulering, for så å få på plass kvalitetssjekking og først helt til slutt satse på moduler for automatisk planlegging med optimalisering og konfliktløsning (Watson, 2000). Løsninger som ikke møter de første kravene vil ikke bli suksessfulle.

Watson (2000) påpeker også at det er viktig at programvare som blir utviklet er fleksibel slik at den kan tilpasses stadige endringer i miljøet det skal operere i, for eksempel endringer i tariffavtalene. To europeiske prosjekter har nylig blitt stoppet på grunn av deres manglende evne til å takle slike endringer. Løsningen er å skifte fokus fra utvikling av elegante optimaliseringsalgoritmer til utviding av eksisterende algoritmer slik at disse kan håndtere et globalt sett med regler og begrensninger. Da kan forskjellige selskapers behov dekkes uten at hele programvaren må skrives om.

Watson oppsummerer med å fastslå at utsiktene for dataassistert planlegging er gode, med brukere som aksepterer at det blir innført og ledelse som er ivrige på å få uttelling for de forbedringene som antas å følge. Fokuset må nå være på å få integrert avanserte modeller inn i kommersiell programvare slik at ønskene til både planleggerne og ledelsen kan bli møtt. For å få til dette foreslår han at det satses en trinnvis utvikling og innføring av beslutningsstøtteverktøy. Hele prosessen kan deles i fire trinn:

Trinn 1: Verktøy som reduserer tidspresst ved planleggingen med at det innføres støtte for datahåndtering og -manipulering.

Trinn 2: Verktøy som støtter interaktiv planlegging og som støtter opp om feilfrie løsninger.

Trinn 3: Programvare som inneholder funksjoner for automatisk generering og optimalisering av personalplaner.

Trinn 4: Programvare som integrerer rute-, materiell- og personalplanlegging med hensikt å optimalisere på tvers av disse.

4. HVA ER EN GOD PERSONALPLAN?

Watson (2000) hevdet at lederne i jernbaneselskaper ønsker planer som bruker personell effektivt slik at en får et minimalt forbruk av ressurser samtidig som en oppnår det forutsatte nivået av pålitelighet. Lederne er også av en oppfatning at beslutningsstøtteverktøy kan bidra til at planene blir bedre enn de som produseres manuelt i dag.

For å kunne vurdere hvorvidt denne antakelsen er riktig er det viktig å finne måleparametre som kan si noe om hvor god en plan er. Måleparameterne kan utledes fra mer overordnede kriterier og bør være mulig å kvantifisere. Hensikten med dette kapitlet er å foreslå slike parametre som jeg kan benytte til å vurdere de personellplanene jeg skal generer senere i oppgaven. Kapitlet starter med en gjennomgang av en del begreper som brukes innen personalplanlegging i jernbanesektoren og en gjennomgang av utvalgte deler av lokførernes arbeidstidsreglement.

4.1. BEGREPSAVKLARING

4.1.1. STASJONERINGSSTED

Lokførerne er ansatt for å utføre tjeneste fra et gitt geografisk sted, for eksempel en jernbanestasjon. På stasjoneringsstedet skal lokføreren ha tilgang til pauserom og omkleddningsrom.

4.1.2. UTESTASJON

For en lokfører regnes alle andre stasjoner enn stasjoneringsstedet for utestasjoner.

4.1.3. DAGSVERK

Et dagsverk er en samling oppgaver som skal utføres av en ansatt i løpet av en arbeidsdag. Et dagsverk skal i prinsippet starte og slutte på stasjoneringsstedet. Hvis dette ikke er tilfelle får en det som kalles dobbelttur der lokføreren overnatter på utestasjon. Et dagsverk skal være i henhold til et sett av regler og begrensinger som gjelder lokførernes arbeidsdag⁴. Dagsverkene blir ikke knyttet til konkrete personer.

4.1.4. TURNUS

En turnus settes sammen av dagsverk slik at den utgjør en ansatt sitt arbeid i en gitt periode. Vanligvis gjelder en turnus for fire uker. Turnusene konstrueres uavhengig av personene som skal utføre dem. Selve tilordningen av personell foregår etter at lokførerne

⁴ Se kapittel 4.2.

har fått kommet med ønsker til hvilke turnuser de vil ha. En turnus skal også være henhold til et gitt sett med regler og bestemmelser.

4.1.5. MATERIELLTURNERING

Materiellturneringen angir hvilke fysiske tog som skal brukes til å kjøre de forskjellige rutene og når de skal til vedlikehold.

4.1.6. PASSREISE

Når en lokfører skal utføre en arbeidsoppgave som starter et annet sted enn der han oppholder seg benyttes passreiser. Det samme gjelder om arbeid dagen starter eller slutter et annet sted enn stasjoneringsstedet. Passreiser kan utføres ved bruk av tog, taxi eller til fots. Passreiser er å oppfatte som uproduktiv tid som det betales lønn for.

4.2. ARBEIDSTIDSREGLEMENT

Arbeidstiden til lokførerne i NSB reguleres etter Arbeidsmiljøloven, Hovedtariffavtalen og Særavtale om arbeidstid mellom NSB BA og Norsk Lokomotivmansforbund (NSB, 1998b). Sistnevnte er en kompleks avtale og jeg vil nedenfor gjennomgå de reglene som er viktigst å ta hensyn til når dagsverk lages. Jeg går ikke inn på regler og bestemmelser for turnus.

I gjennomgangen skiller jeg mellom klokketimer som omtales som timer og betalt tid som regnes og omtales som tjenestetimer. Tjenestetimer fremkommer når tidstillegg for arbeidstid for eksempel på helligdager er lagt til og når tid til passreiser på starten og slutten av et dagsverk er lagt til.

4.2.1. DAGSVERKETS LENGDE

Et dagsverk skal som hovedregle ikke være lengre enn 10 timer. Hvis dagsverket inneholder arbeid i tidsrommet 02.00 – 05.00 skal dagsverkets lengde ikke overstige 8 timer. I dagsverkets lengde inngår ikke passreiser på mindre enn to timer i forkant av arbeid dagen samt passreiser ved avslutning av dagsverket. Passreiser på godstog inngår alltid i dagsverkets lengde.

4.2.2. DELT DAGSVERK

Et dagsverk kan deles i to deler med en lengre pause i midten. Denne pausen regnes ikke som tjenestetid, men godgjøres med et engangsbeløp på stasjoneringssted og med en egen timesats på utestasjon. Et delt dagsverket skal ikke strekke seg over mer enn 16 timer.

4.2.3. TJENESTETID

Et dagsverk skal alltid beregnes til minimum 5 tjenestetimer. Det vil si at lokføreren alltid får betalt for 5 timer selv om han jobber mindre.

4.2.4. HVILETID

Mellom to dagsverk skal lokføreren ha minst 11 timers hviletid. For opphold på utestasjon er hviletiden på 9 timer.

4.2.5. SAMMENHENGENDE KJØRING

Etter 5 ½ times sammenhengende kjøring skal lokføreren ha minst 40 minutters pause på et sted hvor hvilerom kan benyttes.

4.3. PARAMETRENER FOR Å MÅLE HVA SOM ER EN GOD PERSONALPLAN

For å utvikle parametere for å måle hva som er en god personalplan tar jeg utgangspunkt i tre kriterier som brukes hos det nederlandske jernbaneselskapet NS Reizigers (NS) samt tre kriterier som NSB ønsker skal være rettleidende for vurdering av personalplaner.

4.3.1. KRITERIER

Kroon og Fischetti (2000) beskriver tre hovedkriterier som brukes i det nederlandske jernbaneselskapet NS Reizigers (NS) for vurdering av en personalplan. De tre kriteriene er gjennomførbarhet, effektiviteten i planen og akseptbarhet.

Om en plan er gjennomførbar går på hvorvidt planen lar seg gjennomføre i praksis. Et viktig punkt her er hvor robust planen er i forhold til forsinkelser og andre uforutsette hendelser som for eksempel sykdom hos lokførerne.

Effektivitet går på prosentandel av produktiv tid i dagsverkene. Produktiv tid brukes til togkjøring, uttak og innsett av materiell samt tilsyn. Ikkeproduktiv tid er forflytningstid mellom oppgaver, pauser og betalt opphold, passreiser og oppmøte- og fratredelsetid.

Om planen er akseptbar er et kvalitativt mål som referer til sannsynligheten for at planen blir akseptert av lokførerne. Hos NS er variasjon viktig, men det kan stride mot robusthet.

Hos NSB ønsker en å vurdere personalplaner ut fra tre hovedkriterier. Dette er god ressursutnyttelse, økonomi og robusthet.

God ressursutnyttelse inkluderer NS sitt kriterium for effektivitet, det er altså viktig at dagsverkene består av størst mulig andel produktiv tid og at ikke-produktiv tid reduseres mest mulig. Ved ressursknapphet kan en i tillegg tenke seg maksimal utnyttelse av overtidsarbeid og overnattinger utenfor stasjoneringsted samt bruk av passreiser på slutten

av en dag. Dette koster, men går utenfor vanlig arbeidstid. Ut fra en målsetting om å ha færrest mulig ansatte kan også slike tiltak være ønskelig.

Økonomi som vurderingskriterium vil være sammenfallende med kriteriet ovenfor når det gjelder normal effektiv utnyttelse av personalressursene. Det kan derimot hende at så ikke er tilfelle når det er snakk om bruk av for eksempel overtid og overnatting på utestasjon. Hvis det er mangel på ressurser kan det være mer lønnsomt å innstille tog, mens det ved god tilgang på ressurser kan være mer lønnsomt å bruke passreiser for å sende lokfører hjem til stasjoningsstedet istedenfor å la dem overnatte på utestasjon.

Robusthet dreier seg som omtalt ovenfor om hvordan en takler uforutsette hendelser. Dette kriteriet vil lett kunne komme i konflikt med ønsket om effektiv utnyttelse av personalressursene. En effektiv plan kan inneholde mange togbytter, mens en robust plan bør unngå dette.

4.3.2. PARAMETRER

Fra kriteriene ovenfor vil jeg så utlede konkrete måleparametere. Disse bør så langt som mulig være kvantifiserbare.

God ressursutnyttelse

I en situasjon med begrenset tilgang på lokførere eller der det er en målsetning med færrest mulig ansatte vil det være viktig at antall dagsverk minimaliseres. Antall dagsverk vil derfor være en parameter som en personalplan kan vurderes ut fra.

For å måle om ressursutnyttelsen er god vil det også være viktig å måle andel av produktiv tid. Hvis dette kobles mot tall som uttrykker andel tid som går med til betalte pauser og passreiser vil det være lett å sammenligne planer.

Økonomi

For å vurdere økonomien i en plan kan en se på lønnskostnadene til lokomotivførerne. Et slikt tall vil inkludere kostnader som henger sammen med antall tjenestetimer, opphold på utestasjon og delte dagsverk.

Robusthet

Hvor robust en plan er er vanskelig å måle ut fra planen. Parametere som påvirker robustheten er for eksempel antall togbytter og avsatt tid til forflytting og pauser mellom forskjellige oppgaver.

Nordlid (2000) beskriver en metode for vurdering av robusthet ved simulering av hendelser med etterfølgende replanlegginger. Dette er noe som kan og bør gjøres når planer legges, men er for omfattende til å gjøre i denne oppgaven.

Gjennomførbarhet

Om en plan er gjennomførbar henger i praksis nøye sammen med robusthet, altså hvordan går det når forutsetningene endrer seg. I denne oppgaven vil jeg derimot skille de to målene og sjekke om en plan er gjennomførbar i den betydning at planene som lages er lovlige, det vil si om de følger de reglene som ble beskrevet i avsnitt 4.2.

Akseptbarhet

Siden denne oppgaven går ut på å vurdere hvor gode personalplanen er ut fra et bedriftståsted vil jeg forutsette at hvis planene er i henhold til de regler og avtaler som finnes vil de bli akseptert av personalet.

5. METODER SOM BRUKES I BESLUTNINGSSTØTTEVERKTØY

Dette kapitlet starter med en diskusjon rundt valg av konsept for et beslutningsstøtteverktøy. Jeg vil her vurdere bruk av kunstig intelligens kontra matematisk programmering. Videre vil jeg gjennomgå utvalgte metoder og algoritmer som brukes i beslutningsstøtteverktøy for personalplanlegging innen jernbanesektoren.

Når dette og neste kapittel leses er det viktig å merke seg at Morgado og Martins står bak firmaet Sistemas Cognitivos Lda (SISCOG) som har utviklet beslutningsstøttesystemet CREWS. Dette systemet er basert på kunstig intelligens. Videre står Kroon og Fischetti bak en videreutvikling av verktøyet TURNI som er basert på matematisk programmering. Til slutt står Caprara, Fischetti, Guida, Toth og Vigo bak systemet ALPI som også bygger på matematisk programmering.

5.1. KUNSTIG INTELLIGENS KONTRA MATEMATISK PROGRAMERING

Morgado og Martins (1996) hevder at de fleste forsøk på automatisk personalplanlegging har vært lite suksessfulle. Dette fordi en har tatt utgangspunkt i matematisk programmering (MP), og har forsøkt å finne optimale planer. De hevder at dette ikke er særlig fruktbart da mesteparten av kunnskapen om løsning kommer fra erfaring og de enorme kombinatoriske mulighetene gjør at det er umulig å garantere optimal løsning.

SISCOG har derfor valgt kunstig intelligens (Artificial Intelligence = AI) som strategi. Bruk av teknikker fra AI reduserer de kombinatoriske løsningene ved at mulige løsningsveier som ikke virker lovende forkastes. Resultatet blir en plan som er god nok, men ikke optimal (Morgado og Martins, 1996).

Ved at systemet er basert på AI vil det være lett å tilpasse det til nye situasjoner som for eksempel endring i tariffavtaler. Systemet kan også lages åpent ("white box") slik at det blir mulig å forklare "veien" til løsningen. Dette gir brukerne muligheten til å få en dypere forståelse av selve prosessen og de kan være med på å stadig forbedre strategiene som brukes. AI legger også opp til en håndtering av data som gjør det lett å forholde seg til endringer i disse (Morgado og Martins, 1996).

Ved matematisk programmering prøver en å beskrive et objekt, system eller problem med en helhetlig modell. I disse modellene er det noe som skal optimaliseres. Dette kalles objektfunksjonen og den skal enten maksimeres eller minimaliseres (Williams, 1993). Når modellen løses tas det hensyn til alle deler av problemet og en unngår suboptimale løsninger.

Hovedproblemet med matematisk programmering som konsept er at det kan være vanskelig å beskrive virkeligheten med matematiske modeller. Videre kan ofte de kombinatoriske muligheten bli så store at modellen blir uløselig i praksis.

Matematiske modeller blir ofte oppfattet som "black-box"-teknologi og det kreves ofte spesialkompetanse for å skjønne hvorfor resultatene blir som de blir og for å endre modellene ved endrede forutsetninger.

Kroon og Fischetti (2000) påpeker i sin artikkel at utviklingen innen maskinvare gjør at stadig større problemer kan løses ved hjelp av matematiske programmeringsmodeller og optimalisering.

Personalplanlegging innen jernbanesektoren er som tidligere nevnt av stor kompleksitet, men ved hjelp av teknikker som begrenser datamengden og som løser problemet i flere omganger er det mulig å benytte matematisk programmering. Valg mellom AI og MP kan derfor ikke avgjøres ut fra størrelse på problemet, men må være basert på andre avveininger. Slik jeg ser det må valget være et resultat av en avveining mellom hva som er viktigst av et åpent system basert på AI og et system som produserer mer optimale planer basert på MP.

5.2. KUNSTIG INTELLIGENS

I dette delkapittelet presenteres begrep, metoder og algoritmer som benyttes i CREWS.

5.2.1. TILSTANDSROM

Et tilstandsrom er en representasjon av en problemløsningsstruktur. Et tilstandsrom består av en starttilstand, en eller flere måltilstander og et sett av mellomtilstander. I tillegg finnes det et sett av operatører som anvendt på en tilstand gir et sett av mulige etterfølgende tilstander (Aamodt, 2000).

5.2.2. A*-ALGORITMEN

A*-algoritmen er en algoritme for søkning i tilstandsrom. Den velger noder for ekspansjon ut fra verdien på en evalueringsfunksjon. Evalueringsfunksjonen beskriver løsningsveiens kostnad og kan uttrykkes som:

$$f^*(n) = g(n) + h^*(n)$$

Der :

$g(n)$: kostnad av korteste vei fra start til n

$h^*(n)$: estimert kostnad for korteste vei fra n til løsningstilstanden

Ved estimering av $h^*(n)$ er det viktig at dette gjøres på en måte som sikrer at $h^*(n)$ er lik eller mindre enn den virkelige kostanden, $h(n)$. Hvis en for eksempel skal beregne

kostanden forstått som kjørelengden mellom to byer kan en bruke luftlinjen som estimert kostnad. En vil da være garantert at den virkelige avstanden alltid er lik eller større.

A*-algoritmen har følgende gang (Raphael, 1992):

1. Legg startnoden i en tom liste med navn ÅPNE. Denne listen vil hele tiden inneholde de nodene som det kan genereres etterfølgere til. Siden det er første node har den verdien $g(\text{start})=0$. Estimer $h^*(\text{start})$.
2. Velg den noden N fra ÅPNE med lavest $f^*(N)$. Hvis N er en løsningsnode er veien til N en foretrukket løsningsvei og kostnaden er $g(N)$. Hvis det ikke er noen noder i ÅPNE er det ingen løsningsvei i grafen.
3. Fjern N fra ÅPNE. Finne alle etterfølgerne(S) til N og legg dem til ÅPNE. Kalkuler $h^*(S)$.
4. Gå tilbake til 2.

Forutsatt at $h^*(n) \leq h(n)$ vil A* finne en optimal løsning hvis den finnes (Raphael, 1992). Under denne forutsetningen vil også kostnadene øke på vei nedover i treet.

Hvis $h^*(n)$ er veldig forskjellige fra $h(n)$ blir effektiviteten lav, men så lenge $h^*(n) < h(n)$ vil A* alltid finne korteste vei (Stout, 1997).

5.2.3. STRÅLESØK

Strålesøk er en heuristisk søketeknikk for søking i tilstandsrom. I strålesøk søkes det kun innenfor en begrenset del av søkerommet. Dette gjøres ved at kun de N (N = strålebredden) mest lovende løsningene blir lagret for videre ekspansjon (Aamodt, 2000).

Strålesøk opererer med fire operatører og to datastrukturer. I datastrukturen Gjeldene.Tilstander legges tilstandene som skal utvides mens de nye genererte tilstandene legges i Nye.Tilstander. Ved hjelp av operatoren MÅL sjekkes det om løsningen er funnet, mens operatoren NESTE lager nye tilstander, POENG vurderer hvor lovende løsningene er og KLIPPE fjerner de minst lovende løsningen (Bisiani, 1992).

Algoritmen kan oppsummeres med følgende pseudokode (Bisiani, 1992):

```
Start: Gjeldene.Tilstander := Start.Tilstand
      så lenge (ikke (MÅL(Gjeldene.Tilstander))) gjør
          Nye.Tilstander:= NESTE(Gjeldene.tilstander)
          POENG(Nye.Tilstander)
          Gjeldene.Tilstander:= KLIPPE(Nye.Tilstander)
```

Algoritmen itererer inntil en løsning er funnet.

5.3. MATEMATISK PROGRAMERING

I dette delkapittelet presenteres begrep, metoder og algoritmer som benyttes i TURNI og ALPI.

5.3.1. SET-COVERING

Medlemmene i et sett S ønskes dekket ved hjelp av delsett av S . Til hvert delsett er det knyttet en kostnad C_i . Målet med modellen er å dekke alle medlemmene i S til en så lav kostnad som mulig.

Dette kan uttrykkes ved en binær heltallsmodell der variabelen x_i gis følgende betydning:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{hvis delsett } i \text{ brukes} \\ 0 & \text{ellers} \end{cases}$$

For å sørge for at alle medlemmene i S blir dekket minst en gang innføres det en restriksjon. En generell set-covering modell kan uttrykkes som:

$$\begin{aligned} \min \sum_{i \in N} C_i \cdot x_i \\ \text{slik at } \sum_{i \in D_m} x_i \geq 1, \quad m \in S \\ x_i \in \{0,1\}, \quad i \in N \end{aligned}$$

D_m er mengden av delsettene som inneholder m .

C_i er kostnaden forbundet med delsett i .

Set-covering problemer har en viktig egenskap som gjør dem relativt enkle å løse. Det kan vises at den optimale løsningen til et set-covering-problem må være en hjørneløsning på samme måte som for et lineærprogrammerings-problem (LP-problem). Dessverre er ikke løsningen nødvendigvis den samme som for det korresponderende LP-problemet, men det vil ofte være mulig å gå fra den kontinuerlige løsningen til heltallsløsningen med få steg. Dette kan gjøres ved hjelp av "Branch and Bound"-algoritmen. Den fungerer slik at problemet først løses kontinuerlig ved at kravene til heltallighet fravikes. Dette kalles LP-relaksering. Hvis dette gir en heltallig løsning er problemet løst. Hvis ikke foretas det et forgreningssøk (Williams, 1993).

Et set-covering problem har som oftest et stort antall variabler mens antall restriksjoner er lite i sammenligning. Det er derfor størrelsen på problemet og ikke problemets struktur som gjør det vanskelig å løse (Williams, 1993).

5.3.2. DYNAMISK KOLONNEGENERERING

Dynamisk kolonnegenerering brukes når antallet mulige delsett er for stort til at de kan modelleres på en gang. Metoden fungerer slik at det genereres et gitt antall sett som så brukes i en set-covering modell der de som gir best løsning samtidig som restriksjonene overholdes velges ut. Dette blir så gjentatt et antall ganger. Selve optimaliseringen foregår til slutt basert på alle settene som er valgt ut i de tidligere omgangene (Rardin, 1998).

5.3.3. LAGRANGE-RELAKSERING

For en del problemer gir ikke LP-relaksering tilfredsstillende resultat når en skal finne heltallsløsninger. Enten fordi LP-relaksering er vanskelig å løse eller fordi den gir for dårlige skranker. Lagrange-relaksering kan i slike tilfeller benyttes og istedenfor å relaksere heltallskravene relaksere en andre restriksjoner slik at problemet blir enklere å løse (Jörnsten m.fl., 1999). Set-covering-modellen fra 5.3.1 får følgende form ved Lagrange-relaksering:

$$\min L(x) = \sum_{i \in N} C_i \cdot x_i - \sum_{i=m} \lambda_i \left(\sum_{i \in D_m} x_i - 1 \right)$$

slik at $x_i \in \{0,1\}$, $i \in N$

m er medlem av S

D_m er mengden av delsettene som inneholder m

C_i er kostnaden forbundet med delsett i

Hvis problemet er et konvekst programmeringsproblem, det vil si at restriksjonene er konvekse, er det mulig å etablere relasjoner mellom primalproblemet og dualproblemet slik som i LP. Verdiene av λ_i i en optimal løsning av dualproblemet kan betraktes som skyggepriser i primalproblemet. Det vil si at de angir verdiøkningen på objektfunksjonen i primalproblemet ved en økning av høyre side i restriksjonene (Hiller, 2001).

6. BESLUTNINGSSTØTTEVERKTØY FOR PERSONALPLANLEGGING

I dette kapittelet vil jeg gi en oversikt over beslutningsstøttesystemer som brukes til personalplanlegging hos tre utvalgte jernbaneselskaper i Europa. Jeg vil også beskrive hvilke metoder og algoritmer som ligger bak disse systemene da de er betydningsfulle for resultatet som produseres. Selve metodene og algoritmene ble beskrevet i kapittel 5.

De tre systemene som beskrives er TPO/CREWS hos NSB BA, TURNI hos NS Reizigers og ALPI hos Ferrovie dello Stato S.p.A. Siden NSB sitt system skal brukes til automatisk generering av planer senere i oppgaven vil dette bli gjennomgått mer detaljert enn de andre. Tilgangen til informasjon om systemene har dessuten variert og jeg har hatt mest informasjon om systemet som NSB bruker.

6.1. TPO/CREWS - NSB BA - NORGE

NSB BA har valgt å anskaffe en IT-løsning med moduler for turnusplanlegging, personell disponering og oppgjør. Systemet er gitt navnet TPO og bygger på standardsystemet CREWS som er utviklet av Sistemas Cognitivos Lda (SISCOG).

I modulen for turnusplanlegging foretas det langsiktig planlegging. Først lages dagsverk som senere settes sammen til turnuser. Morgado og Martins (1996) hevder at dette gir bedre resultat enn å gjøre oppgavene samlet fordi en kan isolere de to fasene og bruke separate strategier. Dette står i kontrast til for eksempel Kroon og Fischetti (2000) som angir at størrelsen på problemet gjør at en må skille mellom de to fasene, forstått som at hvis det var mulig å behandle problemet samlet ville det vært å foretrekke.

Turnuser blir ikke tilordnet personer i modulen for turnusplanlegging. Det gjøres i modulen for personell disponering. Denne delen brukes til operativ styring av personalet og en korrigerer her for avvik fra de langsiktige planene. I oppgjørsfunksjonen lages grunnlag for utbetaling av lønn (NSB, 1996).

Hovedmålsettingen til SISCOG med utviklingen av CREWS var å utvikle et beslutningsstøtteverktøy som kunne hjelpe planleggerne i prosessen (Morgado og Martins, 1996) og samtidig oppnå de fordeler som ble omtalt i kapittel 3.1.

I tråd med avgrensingen av oppgaven vil jeg i resten av dette delkapittelet fokusere på dagsverksplanleggeren som er en del av modulen for turnusplanlegging. Jeg vil gjennomgå hvilken type informasjon som kreves for bruk av dagsverksplanleggeren, hvilke modus dagsverksplanleggeren kan brukes i samt gi en grundig forklaring på hvordan automatisk modus er bygd opp og fungerer.

Jeg har benyttet en norsk versjon av TPO der ikke alle navn og uttrykk er oversatt fra engelsk, og der heller ikke alle oversettelse er like presise og riktige⁵. Når jeg omtaler funksjoner og parameter i TPO vil jeg bruke de navnene som fremkommer i den norske versjonen av programmet.

6.1.1. BEHOV FOR INFORMASJON

Dagsverksplanleggeren behøver informasjon om infrastruktur, materiellturnering, tidstabell, lokale aktiviteter og personellressurser. Disse dataene er samlet i en felles database. I tillegg må dagsverksplanleggeren ha tilgang til restriksjoner, regler og begrensinger som gjelder planleggingen. Dette kan være restriksjoner som for eksempel at en lokfører kun kan kjøre et tog av gangen, begrensinger på arbeidssdagens lengde og regler som sier at en arbeidssdag skal inneholde minst en pause⁶. Til slutt må dagsverksplanleggeren ha tilgang til strategier som skal følges når personalplanene lages (Morgado og Martins, 1996).

6.1.2. PLANLEGGINGSPROSESSEN

Planleggingsprosessen i TPO/CREWS kan deles i tre deler. Først har vi datahåndtering, så følger tilrettelegging for planlegging og til slutt selve planleggingen (Morgado og Martins, 1996).

Datahåndtering

Datahåndtering gjøres av egen modul som tar seg av klargjøring av rådata, håndterer endring i dataene og vedlikeholder konsistensen og korrektheten til dataene både før og under planleggingen. Modulen sørger også for å bygge søketreet som gjenspeiler utviklingen av dataene underveis i planleggingsprosessen og som muliggjør at brukeren kan ”spole” tilbake til tidligere løsninger.

Tilrettelegging for planlegging

Tilretteleggingen består av tre deler. Først har vi oppgavegenerering som på bakgrunn av innleste data konstaterer hvilke oppgaver som skal planlegges for en gitt type personell. Videre reduserer oppgavesekvensieringen detaljgraden i dataene som skal behandles i planleggingen ved hjelp av forskjellige abstraksjonsteknikker. Oppgavene ordnes i sekvenser for å begrense antall og måter oppgavene kan kombineres på under planleggingen. Foretrukne sekvenser lages basert på gitte kriterier. Denne fasen avhenger blant annet av kunnskaper om hvor det er fornuftig å bytte personell. Til slutt deles

⁵ Se eksempler i avsnitt 6.1.5 og 6.1.6: ”Rest duration limit” og ”Beregne på gruppebasis”.

⁶ Se kapittel 4.2 for en grundigere gjennomgang av regler og begrensinger som gjelder lokførernes arbeidssdag.

sekvensene opp i mindre deler slik at de effektivt kan håndteres under planleggingen. Resultatet av denne oppdelingen kalles kandidater.

Planlegging

Planleggingen foregår ved at kandidater grupperes i dagsverk. Planleggingen kan foregå i manuell, semiautomatisk, automatisk eller kombinert modus. Underveis i planleggingen sjekkes det for eventuelle regelbrudd og det gjøres diverse beregninger. For eksempel begrenses dagsverkens lengde og antall tjenestetimer fortløpende.

6.1.3. PLANLEGGINGSMODUS

Manuell modus

I manuell modus er det brukeren av verktøyet som står for planleggingen. Fra kandidatvinduet velges oppgaver som skal planlegges og disse plasseres i dagsverk. Verktøyet sjekker fortløpende om de foreslåtte dagsverkene bryter med noen av reglene som gjelder. Hvis dette er tilfelle vil brukeren få spørsmål om han vil godta bruddene eller om han vil prøve med en annen oppgave. Systemet holder underveis rede på gangen i planleggingen slik at brukeren kan ”spole” tilbake til tidligere løsninger hvis han vil, for så å velge en annen strategi fremover. Morgado og Martins (1992) hevder at sammenlignet med vanlig manuell planlegging uten bruk av IT-støtte er det betydelig tid å spare fordi regelsjekkning gjøres automatisk og fordi planer tegnes og nøkkeltall beregnes automatisk.

Automatisk modus

I automatisk modus står programmet for all planlegging basert på regler og parametere satt av brukeren. Automatisk modus er basert på en modifisert versjon av A*-algoritmen⁷ der en tilstand består av kandidater som ikke har blitt plassert i dagsverk samt de dagsverkene som har blitt laget så langt. En ny tilstand lages ved å plassere en kandidat i et dagsverk. Løsningstilstanden er nådd når det ikke er flere kandidater igjen eller et på forhånd definert antall dagsverk er laget (Morgado og Martins, 1996).

Selve søkningen etter løsninger blir styrt ved hjelp av en strategi, et sett søkereglene for generering av etterfølgende tilstander, en evalueringsfunksjon og en test for å sjekke om løsningstilstanden er funnet (Morgado og Martins, 1996). Disse blir alle beskrevet i egne avsnitt.

Semiautomatisk modus

Brukeren kan i semiautomatisk modus kombinere manuell og automatisk modus. Det vil si at programmet foreslår forskjellige alternativer i hvert steg slik at brukeren kan styre planleggingen ut fra disse (Morgado og Martins, 1992).

⁷ Se kapittel 5.2.2 for gjennomgang av A*-algoritmen.

Kombinert modus

Alle de tre modusene kan kombineres hvis brukeren ønsker det. Dette kan for eksempel skje ved at brukeren først planlegger noen spesielle dagsverk for så å be systemet planlegge resten eller bare komme med noen forslag til videre fremdrift (Morgado og Martins, 1992).

6.1.4. STRATEGI FOR AUTOMATISK MODUS

I TPO skal det være mulig å velge forskjellige søkestrategier i automatisk modus. I den versjonen av programmet jeg har benyttet finnes det kun en ferdig definert strategi. Den fungerer slik at den genererer en ny dagsverksgruppe som forsøkes best mulig fylt med arbeidsoppgaver. Når, og ikke før, dagsverksgruppen er full genereres en ny dagsverksgruppe og prosessen fortsetter (SISCOG, 2000). Denne prosessen styres av fire søkereglene som gjennomgås i avsnitt 6.1.5. Det finnes to parametere som påvirker strategien i automatisk modus. Det er "*Grensen for dagsverkets lengde*" og "*Rest duration limit*".

Grensen for dagsverkets lengde

Parameteren "*Grensen for dagsverkets lengde*" begrenser lengden på dagsverkene. Når systemet ikke kan legge til flere kandidater i dagsverket uten at grensen overskrides genereres det et nytt dagsverk. Hvis dagsverket avsluttes med konferanse⁸ eller passreiser kan denne grensen brytes. Det vil uansett ikke bli generert dagsverk som er lengre enn det arbeidstidsreglementet tilsier.

Rest duration limit

Ved hjelp av "*Rest duration limit*" kan en sette en grense for hvor lange opphold på utestasjon kan være.

Mens det i original A* ikke settes begrensinger for antall etterfølgere og antall tilstander på hvert nivå i søketreet gjøres dette i dagsverksplanleggeren. Ved hjelp av en modifisert versjon av strålesøk⁹ blir antall etterfølgere og antall tilstander på hvert nivå begrenset. Dette blir gjort ved at løsninger som ikke er lovende blir forkastet når et på forhånd angitt antall etterfølgere eller tilstander nås og ved slutten av hver omgang med generering av etterfølgere (SISCOG, 2001). Følgende parametere regulerer størrelsen på søketreet:

Generert ved utvidelse

"*Generert ved utvidelse*" angir hvor mange etterfølgere en node kan ha etter at alternative løsninger er vurdert.

⁸ Konferanse betyr samtale mellom lokføreren som forlater toget og lokføreren som skal overta.

⁹ Se avsnitt 5.2.3 for gjennomgang av strålesøk.

Brukt overalt

Ved hjelp av ”*Brukt overalt*” kan en begrense det totale antall noder i søketreet.

Utvidet per nivå

”*Utvidet per nivå*” angir hvor mange noder det kan være på hvert nivå i søketreet.

6.1.5. SØKEREGLER

Strategien for automatisk modus benytter fire regler som styrer søking etter løsninger. Reglene er ordnet i tre sett og rangert etter rekkefølge de blir brukt (SISCOG, 2000):

Sett 1: Legg til en ny dagsverksgruppe

Sett 2: Start dagsverk

Fortsett dagsverk

Sett 3: Utfyll dagsverk

Sett 1 og 2 forsøkes brukt i hver tilstand, mens sett 3 kun brukes hvis sett 1 og 2 ikke har generert etterfølgere. Rangeringen avgjør hvilket regelsett som brukes når en tilstand skal utvides. Her brukes sett 1 først, deretter sett 2 og til slutt sett 3. Regelsettene med lav prioritet blir ikke brukt når regelsettene med høyere prioritet allerede har generert nok etterfølgere.

Legg til en ny dagsverksgruppe

Regelen ”*Legg til en ny dagsverksgruppe*” sørger for at det i tilstanden S blir valgt en dagsverksgruppe der en skal planlegge arbeidsoppgaver. Den valgte gruppen kalles ”*valgt dagsverksgruppe*” (D). Denne regelen er viktig fordi den avgjør om strategien har en planleggende eller replanleggende effekt.

Hvis S har en ”*valgt dagsverksgruppe*” (D) som er tom returneres ingen etterfølgere. Hvis ikke returneres en etterfølger S'. ”*Valgt dagsverksgruppe*” i S' velges etter følgende system (SISCOG, 2000):

Hvis S har en valgt dagsverksgruppe som ikke er tom, så er D' = den neste dagsverksgruppen til D i S. Hvis det ikke finnes noen neste dagsverksgruppe settes det inn en tom dagsverksgruppe i S'.

Hvis S ikke har noen valgt dagsverksgruppe så velges D' i samsvar med verdien på parameteren ”*Alltid en ny?*”.

Hvis verdien er ”*Ja*” så er D' den siste dagsverksgruppen i S.

Hvis verdien er ”*Nei*” så er D' den første dagsverksgruppen i S.

Hvis S ikke har noen dagsverksgruppe blir en ny og tom dagsverksgruppe satt inn i S'.

Det finnes to parametere som regulerer hvordan den ovennevnte transaksjonsregelen virker.

Alltid en ny?

Når parameteren *"Alltid en ny?"* har verdien *"Nei"* fører dette til at en oppnår en replanlegging. Dette fører til at før det genereres en ny dagsverksgruppe blir den sist genererte dagsverksgruppen åpnet på nytt slik at de andre transaksjonsreglene kan prøve å fylle opp dagsverksgruppen.

Enkelt tur?

Parameteren *"Enkelt tur?"* angir hvorvidt det bare skal genereres enkle dagsverk eller om det også kan genereres for eksempel dobbeltturer. Det er viktig å merke seg at en dobbelttur bare blir laget for arbeidsoppgaver som er så lange at hvis de plasseres i et tomt dagsverk overskrider *"Grensen for dagsverkets lengde"*. Dette kan for eksempel skje hvis utførelsen av oppgaven medfører en lang passreise hjem.

Start dagsverk

Regelen *"Start dagsverk"* genererer en etterfølger hvis tilstanden S har en *"valgt dagsverksgruppe"* (D) og den valgte dagsverksgruppen er tom. Hvis disse betingelsene er oppfylt følger reglene følgende gang (SISCOG, 2000):

1. Velger alle arbeidsoppgavene som ikke er planlagt ennå. Hvis det ikke finnes noen slike avsluttes regelen.
2. Blant alle arbeidsoppgavene som ligger innenfor *"Start begrensning for en blokk med aktiviteter"* (*"Start"*) og *"Slutt begrensning for en blokk med aktiviteter"* (*"Slutt"*) velges den oppgaven som ligger nærmest en av endene. Det vil si den oppgaven hvor avstanden fra oppgavens starttidspunkt til *"Start"* eller oppgavens sluttidspunkt til *"Slutt"* er minst.
3. a) Prøver å legge den valgte arbeidsoppgaven i D .
b) Hvis a) gikk bra genereres en etterfølger. Retningen for videre oppfylting av dagsverket bestemmes ut fra størrelsen på ledig tid før eller etter oppgaven. Retningen blir fra venstre mot høyre hvis det er minst tid i starten av dagsverket og fra høyre mot venstre hvis tiden er minst i slutten av dagsverket.

Som nevnt er det to parametre som påvirker hvordan *"Start dagsverk"* virker.

Start begrensning for en blokk med aktiviteter

Ved hjelp av *"Start begrensning for en blokk med aktiviteter"* kan det legges begrensninger på når et dagsverk kan begynne.

Slutt begrensing for en blokk med aktiviteter

Parameteren ”*Slutt begrensing for en blokk med aktiviteter*” begrenser når et dagsverk kan slutte.

Fortsett dagsverk

Regelen ”*Fortsett dagsverk*” prøver å fylle opp dagsverket laget av ”*Start dagsverk*”. Dette gjøres ved at det lages et antall etterfølgere som er begrenset av parameteren ”*Generert ved utvidelse*”. Siden denne reglen har som oppgave å fylle opp dagsverk som det allerede er planlagt minst en arbeidsoppgave i, vil alle etterfølgerne som blir konstruert ha samme utgangspunkt og kunne skille seg på den arbeidsoppgaven som planlegges ved hjelp av denne reglen.

Regelen har følgende gang (SISCOG, 2000):

1. Hvis S mangler ”*valgt dagsverksgruppe*” eller dersom det valgte dagsverket er tomt, gå til punkt 5.
2. Hvis antallet etterfølgere har nådd maksimalantallet, gå til punkt 5.
3. Hvis oppfylling fra venstre mot høyre:

Velger, blant de arbeidsoppgavene som ennå ikke er planlagt, den arbeidsoppgaven som har starttidspunkt nærmest enden til siste arbeidsoppgave i det valgte dagsverket. Gå til punkt 5 hvis slik arbeidsoppgave ikke finnes.

Hvis oppfylling fra høyre mot venstre:

Velger, blant de arbeidsoppgavene som ennå ikke er planlagt, den arbeidsoppgaven som har sluttidspunkt nærmest starten til første arbeidsoppgave i det valgte dagsverket. Gå til punkt 5 hvis slik arbeidsoppgave ikke finnes.

4. a) Planlegger oppgaven funnet i punkt 3.
b) Hvis a) gikk bra lages en etterfølger.
c) Gå til punkt 3.

5. Avslutter

Utfyll dagsverk

Denne regelen oppfører seg likt som den forrige med unntak av punkt 3 der retningen på søket er motsatt:

3. Hvis oppfylld fra venstre mot høyre:

Velger, blant de arbeidsoppgaven som ennå ikke er planlagt, den arbeidsoppgaven som har sluttidspunkt nærmest starten til den først planlagte arbeidsoppgaven i det valgte dagsverket. Gå til punkt 5 hvis slik arbeidsoppgave ikke finnes.

Hvis oppfylld fra høyre mot venstre:

Velger, blant de arbeidsoppgaven som ennå ikke er planlagt, den arbeidsoppgaven som har starttidspunkt nærmest enden til den siste planlagte arbeidsoppgaven i det valgte dagsverket. Gå til punkt 5 hvis slik arbeidsoppgave ikke finnes.

Ideen med denne reglen er å fylle de åpne delene av dagsverkene som oppstår i begynnelsen og slutten av disse. Denne reglene er nødvendig fordi de to forrige ikke kan fylle et dagsverk i mer enn en retning. Reglene blir kun brukt når de to foregående ikke laget noen etterfølgere, det vil si at de ikke klarte å fylle mer på dagsverkene.

6.1.6. EVALUERINGSFUNKSJON

Evalueringsfunksjonen består av to deler og uttrykkes ved (SISCOG, 2001):

$$\text{Cost} = F + H$$

der:

F = Kostnadsfunksjon

H = Heuristisk funksjon

Kostnadsfunksjon

Kostnadsfunksjonen angir tidsforbruk for dagsverkene i den gitte tilstanden. Her tas det hensyn til om dagsverkene er ferdig planlagte eller om de er under planlegging. For ferdig planlagte dagsverk tas innlagt tid til passreiser og ikke utnyttet tid med i beregningen, mens dette ikke gjøres for dagsverk som ikke er ferdig planlagt. Kostnader som for eksempel henger sammen med opphold på utestasjon regnes ikke som en del av kostnaden til dagsverket. Det er fem parametere som påvirker kostnadsfunksjonen.

Gjennomsnittlig varighet på dagsverk

"Gjennomsnittlig varighet på dagsverk" angir et mål for gjennomsnittlig dagsverkslengde. Parameteren brukes i sammenheng med "Vekting av ekstra timer".

Vekting av ekstra timer

Ved hjelp av "Vekting av ekstra timer" kan en angi hvor mye innflytelse arbeidstid som strekker seg utover "Gjennomsnittlig varighet på dagsverk" skal ha på de totale kostnadene til en tilstand.

"Vekting av ekstra timer" (V) har følgende effekt :

- $V = 0$ → Parameteren har ingen effekt
 $0 < V < 1$ → Det planlegges lengre dagsverk
 $V > 1$ → Det planlegges kortere dagsverk

Passreise-faktor straffes

Parameteren "Passreise-faktor straffes" brukes til å regulere passreisers innvirkning på total kostnadene.

"Passreise-faktor straffes" (P) har følgende effekt:

- $P = 0$ → Parameteren har ingen effekt
 $0 < P < 1$ → Det planlegges flere passreiser enn nødvendig.
 $P > 1$ → Kostanden øker når en passreise blir satt inn.

Hvis $P > 1$ vil systemet jobbe hardt i starten av en planlegging for å unngå passreiser, en kan da oppleve at en ender opp med mange passreiser i de sist planlagte dagsverkene.

Straff på oppholds faktor

"Straff på oppholds faktor" regulerer innvirkningen som opphold på utestasjon har på total kostnadene.

"Straff på oppholds faktor" (O) har følgende effekt:

- $O = 0$ → Parameteren har ingen effekt
 $0 < O < 1$ → Foretrekker dobbeltur
 $O > 1$ → Unngår opphold på utestasjon

Beregne på gruppebasis?

"Beregne på gruppebasis?" regulerer hvordan kostnadene beregnes. Oversettelsen fra det engelske "Compute on a case base?" til norsk er feil og spørsmålet skulle ha vært "Beregne på dagsverksbasis?". Dette har sammenheng med at den engelske betegnelsen "duty day" på norsk er å forstå som dagsverksgruppe mens "duty case" forstås som dagsverk.

Når TPO lager dagsverk legges disse i grupper. Hvis en velger å svare ja på spørsmålet vil kostnadene ved et dagsverk multipliseres med frekvensen på dette. Hvis en svarer nei vil kostanden ved dagsverket multipliseres med frekvensen for gruppen, noe som gir et mindre eksakt svar. Beregningstiden er derimot betydelig mindre.

Heuristisk funksjon

Den heuristiske funksjonen angir hvor mye tid utførelse av arbeidsoppgavene i de gjenværende kandidatene vil ta. Den heuristiske verdien kan vektet for å regulere den heuristiske funksjonens innflytelse på de totale kostnadene. Dette gjøres ved hjelp av

parameteren ”Konstant vektning” (K). Den heuristiske funksjonen (H) får dermed følgende form (SISCOG, 2000):

$$H = h^* * K$$

der:

h^* : heuristisk verdi før vektning.

Når $K > 1$ søker systemet å planlegge så mange arbeidsoppgaver som mulig så fort som mulig for å begrense kostnadene. Dette gir raskere planlegging, men dårligere løsninger med dagsverk der arbeidsoppgavene ikke er planlagt like tett. Når $K < 1$ får vi den motsatte effekten, planleggingen går tregere, men arbeidsoppgavene er ordnet tettere.

6.1.7. LØSNINGSTILSTAND

Løsning er funnet når alle arbeidsoppgavene er planlagt, eller når det er planlagt et gitt antall dagsverk for en gitt dag. Programmet anser å ha funnet løsningen når maksimalantallet nås for en vilkårlig dag. Dette antallet dagsverk kan spesifiseres ved hjelp av parameteren ”Prognose for ukedag 1, 2, ...,7”.

6.1.8. ERFARINGER MED BRUK

Morgado og Martins (1996) hevder at erfaringer med første versjon av CREWS (ESCALAS) viser at systemet i automatisk modus produserer like gode planer som de manuelle på mye kortere tid. Videre hevder de at neste versjon, CREWS_NS produserer planer med 3 % mindre lokførere (Morgado og Martins, 1998).

6.2. TURNI - NS REIZIGERS - NEDERLAND

NS Reizigers (NS) har siden 1996 benyttet en versjon av CREWS kalt CREWS_NS (Morgado og Martins, 1998). Fra NS sin side har en ikke vært helt fornøyd med planlegging i automatisk modus i CREWS_NS. Spesielt er det to områder de ikke er fornøyd med. For det første kan ikke CREWS_NS ta hensyn til restriksjoner som legges på en gruppe dagsverk, men bare på de enkelte dagsverkene. Et eksempel på dette er at systemet ikke kan planlegge med forutsetninger om at bare et gitt antall dagsverk kan knyttes til et stasjonsingssted. For det andre tar ikke programmet, siden det er basert på A*-algoritmen, hensyn til senere konsekvenser av valg når dagsverkene konstrueres, men gjør valg som ser gode ut der og da. Dette fører til at systemet lager planer som ofte inneholder alt for mange passreiser (Kroon og Fischetti, 2000).

NS har derfor som en del av prosjektet ”Destination: customer” tatt i bruk et personalplanleggingsverktøy som heter TURNI til automatisk generering av

personalplaner. TURNI tar utgangspunkt i matematisk programmering og bruker teknikker for optimalisering fra operasjonsanalyse. (Kroon og Fischetti, 2000).

Som Morgado og Martins (1996) hevder også Kroon og Fischetti (2000) at planlegging av dagsverk og sammensetting av turnuser må foregå i adskilte omganger. Begrunnelsen er derimot forskjellig. Kroon og Fischetti (2000) begrunner sitt syn med at problemene hver for seg er så kompliserte at hvis en slår de sammen vil få så store kombinatoriske problemer at de vil bli uløselige. Den delen av TURNI jeg har hatt tilgang til beskrivelse av tar kun for seg dagsverksplanlegging.

Som nevnt innledningsvis i kapittelet har jeg ikke hatt tilgang til like mye informasjon om TURNI-systemet som om CREWS. Beskrivelsen av TURNI vil derfor i hovedsak dreie som selve planleggingsdelen av systemet.

6.2.1. BEHOV FOR INFORMASJON

De data som er nødvendig for å gjennomføre en automatisk planlegging ved hjelp av TURNI kan hentes ut fra CREWS_NS (Kroon og Fischetti, 2000). I all hovedsak vil dette dreie seg om ruteplan og oversikt over arbeidsoppgaver knyttet til denne.

6.2.2. GENERELT OM SYSTEMET

TURNI har et relativt lite avansert brukergrensesnitt, men selve den automatiske planleggingsmodulen er kraftig. Resultatene fra en planlegging kan presenteres i tabellform, ved hjelp av Gantt-diagram eller i "time-space" diagram (Kroon og Fischetti, 2000).

6.2.3. AUTOMATISK PLANLEGGINGSMODUL

Modellen som ligger til grunn for systemet er en set-covering-modell med tilleggsrestriksjoner. Den løses ved dynamisk kolonnegenerering, Lagrange-relaksering¹⁰ og flere heuristikker. Dynamisk kolonnegenerering betyr i dette tilfellet at dagsverkene blir generert etterhvert som løsningsprosessen skrider fremover.

Systemet består av en modul som genererer mulige dagsverk og en modul som velger ut dagsverk. Dagsverkene blir generert ved hjelp av dynamisk programmering. Begrensinger som gjelder det enkelte dagsverk håndteres ved genereringen. Dagsverkene blir valgt ut slik at alle turene som skal kjøres blir dekket av minst ett av dagsverkene, at tilleggsrestriksjonene som omhandler sammensettingen av dagsverk blir dekket og at kostnaden blir minimalisert.

¹⁰ Se kapittel 5.3 for en gjennomgang av set-covering, dynamisk kolonnegenerering og Lagrange-relaksjon.

Programmet opererer trinnvis. Det vil si at det løser problemet i flere omganger der løsningen forbedres i hvert trinn. Vanligvis finnes de beste løsningene tidlig i prosessen.

I hvert trinn av prosessen byttes det et gitt antall ganger mellom generering og utvelging av dagsverk. Modulen som velger ut dagsverk ser etter en mulig løsning for det totale problemet basert på de dagsverkene som til en hver tid er tilgjengelige. Dagsverkene blir evaluert og valgt ut basert på Lagrange dualinformasjonen. Noen av dagsverkene som virker spesielt lovende blir låst slik at de oppfattes å tilhøre den endelige løsningen. Prosessen blir så gjentatt for de turene som ikke er dekket av de låste dagsverkene. Løsningene blir så bedre og bedre inntil alle dagsverkene er låst. Vi sier da at trinnet er ferdig. Neste trinn vil så prøve å forbedre løsningen som er funnet for eksempel ved å løse opp noen av de låste dagsverkene. Slik fortsetter det til et definert stoppunkt nås. Dette kan være et gitt antall trinn eller et gitt tidsforbruk.

Dagsverk som på et stadium i prosessen har vist seg lovende, men som etterhvert viser seg å ikke være gode blir slettet for å begrense antallet mulige dagsverk.

Underveis i planleggingen kan brukeren observere den foreløpig beste løsningen samtidig som systemet viser et optimistisk estimat (Lagrange nedre grense) på den endelige kostnaden. Basert på denne informasjonen kan så brukeren vurdere om han ønsker å fortsette beregningsprosessen (Kroon og Fischetti, 2000).

6.2.4. ERFARINGER MED BRUK

Kroon og Fischetti (2000) oppgir ikke direkte hvor mye bedre resultater de oppnår med TURNI kontra CREWS_NS, men de uttrykker at TURNI produserer gode løsninger.

6.3. ALPI - FERROVIE DELLO STATO S.p.A - ITALIA

Det italienske jernbaneselskapet Ferrovie dello Stato S.p.A (FS), startet på begynnelsen av 90-tallet utviklingen av et beslutningsstøtteverktøy for personalplanlegging. Før den tid ble all planlegging foretatt manuelt uten hjelp av IT-støtte. Utviklingen av systemet hadde som mål å integrere forskjellige faser av personalplanleggingen, bruke teknikker fra matematisk programmering i nært samarbeid med akademiske miljøer og forbedre "state-of-the-art" innen personalplanlegging i jernbanesektoren.

Resultatet av denne utviklingen ble et system kalt ALPI. Dette systemet håndterer dagsverk- og turnusplanlegging samt planleggingen av materiellturnus for lokomotiver (Caprara m.fl., 1999). I tråd med avgrensingen av oppgaven vil denne gjennomgangen i hovedsak ta for seg modulen for dagsverksplanlegging.

6.3.1. BEHOV FOR INFORMASJON

ALPI tar utgangspunkt i en ferdig planlagt ruteplan som inneholder opplysninger om togbevegelser både med og uten passasjerer. Videre er hver rute delt opp i sekvenser med togkjøring som skal utføres av den samme lokføreren.

6.3.2. OPPDELING AV PLANLEGGINGSPROSESSEN

Ved utviklingen av systemet valgte en å dele planleggingsprosessen i to på samme måte som ved manuell planlegging. Det vil si at først lages det dagsverk som så settes sammen til turnuser. En slik oppdeling garanterer ikke optimal løsning på det totale problemet selv om hver av delene planlegges optimalt, men med iterasjon mellom fasene kan resultatene bli tilnærmet optimale. Oppdelingen ble valgt for å minimalisere risikoen ved utviklingen av systemet, og fordi den var tilnærmet sammenfallende med den manuelle prosessen. Sistnevnte ble ansett som spesielt viktig da bruk av IT-støtte var helt fraværende hos FS (Caprara m.fl., 1999).

6.3.3. DAGSVERKSPLANLEGGING

På grunn av de store kombinasjonsmulighetene ved generering av dagsverk er selve dagsverksplanleggingen delt i to deler der en først generer mulige dagsverk for så å velge ut de beste dagsverkene¹¹ (Caprara m.fl., 1999).

Generering av dagsverk

Dagsverk blir generert ved hjelp av et dybde-først søk der søkene blir kuttet så fort en ugyldig løsning nås. For å øke hurtigheten til søket beskrankes dette slik at søk også blir kuttet hvis for eksempel fullføring av dagsverket vil føre til at maksimal dagsverkslengde overskrides.

For å begrense mengden av dagsverk må det underveis i genereringen foretas sletting av dagsverk. Dette gjøres først ved at dagsverk som har samme kostnad sammenlignes. De som inneholder færrest turer slettes så. Dette reduserer mengde dagsverk betraktelig. Når antall dagsverk så når et gitt antall blir de dårligste dagsverkene slettet basert på en rangering. Denne er gitt av en poengsum som reflekterer kostnadene ved dagsverket samt hva det inneholder.

¹¹ For å utvikle mulige algoritmer til disse delene ble det utlyst en konkurranse mellom de italienske universitetene. For del to ble løsningen forutsatt å være en set-covering-modell. DEIS, University of Bologna, vant begge konkurransene og ALPI ble deretter utviklet i fellesskap av FS og DEIS.

Utvelgelse av dagsverk

Til utvelgelsen av dagsverk brukes en set-covering-modell med tilleggsrestriksjoner. Den løses ved hjelp av Lagrange-relaksering og flere heuristikker. Med unntak av at ALPI generer dagsverkene på forhånd og ikke ved hjelp av dynamisk kolonnegenerering, er dette samme metode som beskrevet for TURNI.

Selve utvelgelsen foregår i tre trinn. Først blir dagsverkene evaluert basert på en poengsum som er beregnet basert på Lagrange dualinformasjonen. Poengsummen sier noe om sannsynligheten for at dagsverket skal bli en del av en optimal løsning. Disse poengsummene brukes så til utvelgelse av de dagsverkene som skal inngå i den foreløpige løsningen. Til slutt blir noen av dagsverkene som virker spesielt lovende låst slik at de oppfattes å tilhøre den endelige løsningen. Prosessen blir så gjentatt for de turene som ikke er dekket av de låste dagsverkene. Løsningene blir så bedre og bedre inntil alle dagsverkene er låst. Når alle dagsverkene er låst brukes det en prosedyre for å forbedre løsningen (Caprara m.fl., 1999). Denne prosedyren er ikke beskrevet.

6.3.4. ERFARINGER MED SYSTEMET

Caprara m.fl. (1999) hevder at modellen er bedre enn tidligere publiserte teknikker. I 92 av 94 tilfeller fant algoritmen optimal eller beste kjente løsning på et gitt problem i løpet av akseptabel søketid. Blant de 22 tilfellene der optimum ikke var kjent, fant systemet bedre løsning i 6 tilfeller. Forskjellen på nedre grense og løsning var i gjennomsnitt på 0,9%.

Systemet var beregnet tatt i bruk i juni 1997. Foreløpige tester viser en besparelse på 1% i forhold til dagens personalforbruk. I tillegg går planleggingen mye raskere slik at planleggingsperioden kan forkortes betraktelig.

7. AUTOMATISK GENERERING AV PERSONALPLANER

Hensikten med dette kapittelet er å vurdere hvor gode planer som kan lages ved hjelp av automatisk modus i dagsverksplanleggeren i TPO. For å kunne vurdere dette vil jeg bruke de parameterne som ble utviklet i kapittel 4.3 til å beskrive planene. Verdien på disse parameterene vil jeg sammenligne med tilsvarende verdier som jeg henter fra dagens manuelt lagde plan.

For at sammenligningene skal bli gode er det viktig at jeg planlegger for de samme togene og inkluderer de samme arbeidsoppgaven knyttet til disse togene som i den manuelle planen. Jeg har derfor lagt ned mye arbeid i etableringen av datasettet. Dette arbeidet gjennomgås i avsnitt 7.1.

Ved bruk av automatisk modus i dagsverksplanleggeren i TPO finnes det en rekke parameterinnstillinger som påvirker resultatet av planleggingen. Disse ble gjennomgått i kapittel 6.1 og jeg vil i avsnitt 7.4 presentere verdiene jeg bruker som utgangspunkt for mine planer. Hvordan en arbeider med TPO kan også ha innvirkning på resultatet, jeg beskriver derfor også fremgangsmåten jeg har brukt ved planleggingen.

7.1. ETABLERING AV DATASETT

Lokførertjenesten for R01.1 er planlagt manuelt uten IT-støtte. Resultatet av en manuell planlegging er et sett streklistor, som er en grafisk fremstilling av de planlagte dagsverkene. Streklistene er tegnet for hånd. Jeg vil i denne oppgaven omtale den manuelle planen for Sørlandsbanen som produksjonsplan. Fra NSB fikk jeg opplyst at produksjonsplanen i ettertid var lagt inn i TPO ved hjelp av manuell modus slik at det skulle være enkelt å hente ut de ønskede måltallene. Dette viste seg ikke å være tilfelle da produksjonsplanen ikke var fullstendig i TPO. Dette medførte et betydelig ekstraarbeid, noe jeg kommer tilbake til senere.

Datasettet som brukes i dagsverksplanleggeren bygges som tidligere forklart opp basert på informasjon hentet fra en TPO-spesifikk database med informasjon om infrastruktur, materiellturnering, tidstabell, lokale aktiviteter og personellressurser. TPO fungerer slik at en ved oppstart spesifiserer hvilke stasjoneringssteder og tog en ønsker å hente frem data for. Til disse stasjoneringsstedene og togene kan en også spesifisere hvilke arbeidsoppgaver som skal planlegges. Forskjellige typer arbeidsoppgaver kan for eksempel være togkjøring og tilsyn av materiell. Videre angir en om bare de oppgavene som ikke allerede er planlagt skal hentes frem eller om også ferdig planlagte dagsverk som inneholder de spesifiserte arbeidsoppgavene skal hentes frem.

For at brukeren skal slippe å spesifisere innlastingskriteriene ved hver planleggingssesjon kan det opprettes en kriteriefil. I mitt tilfelle, hvor jeg både skulle hente frem data fra en database som inneholder produksjonsplanen og fra en som inneholder testdata, var denne muligheten viktig. Ved bruk av kriteriefil kunne jeg være sikker på at jeg hentet frem de samme dataene fra de to basene.

7.1.1. KRITERIEFIL

I kriteriefila definerte jeg hvilke stasjoneringsteder og tog som skulle leses inn. De valgte stasjoneringstedene er Oslo, Drammen, Kristiansand og Stavanger. Togene som ble lest inn fremgår av tabell 7.1.

Tog nummer	Antall tog	Type tog
70 – 89	10	Langdistanse
700 – 789	16	InterCity
5800 – 5814	12	Godstog
10729 – 10730	2	Tomtog

Tabell 7.1: Valgte tog

I tillegg til selve togkjøringen er det en del andre arbeidsoppgaver knyttet til et gitt tog. Jeg har valgt å lese inn alle disse. Det vil si at jeg blant annet har lest inn uttak, innsett og tilsyn av tog. Siden kriteriefila skulle brukes både til å hente frem produksjonsplanen og data som jeg skulle bruke til planlegging, spesifiserte jeg at både planlagte og ikke planlagte oppgaver skulle hentes frem.

7.1.2. INNLESING AV PRODUKSJONSPLAN

Med den definerte kriteriefila hentet jeg så opp produksjonsplanen i TPO. Siden jeg hadde fått opplyst at den manuelle planen var lagt inn forventet jeg at innlastingen av data bare skulle gi meg ferdig planlagte dagsverk som resultat. Det viste seg ikke å være tilfelle. Datasettet inneholdt i tillegg til en del ferdige dagsverk også en rekke arbeidsoppgaver som ikke var planlagt. Ved nærmere undersøkelser viste det seg at bare ca 80% av dagsverkene i produksjonsplanen var lagt inn i TPO.

Siden det var viktig å komme frem til to like datasett vurderte jeg da å ekskludere de oppgavene som ikke var planlagt både fra innlesing av produksjonsplanen og fra mitt datasett. Dette ble forkastet fordi selve planleggingen ville bli urealistisk da produksjonsplanen jeg skulle sammenligne med faktisk er laget med utgangspunkt i de definerte kriteriene, og fordi det heller ikke var noe tydelig system i hvilke dagsverk som var lagt inn og hvilke som ikke var lagt inn. For eksempel var dagsverk som inneholdt togkjøring fra Oslo til Kristiansand lagt inn, mens dagsverk som inneholdt fortsettelsen til Stavanger ikke var lagt inn. Det var dermed ikke mulig å begrense datasettet ved å ekskludere enkelte tog.

7.1.3. OPPDATERING AV PRODUKSJONSPLANEN I TPO

Problemet med den ufullstendige produksjonsplanen i TPO ble forsøkt løst ved at jeg ved hjelp av de håndtegnede streklistene for de nevnte stasjoneringsteder la inn så mange som mulig av de manglende dagsverkene. Etter dette arbeidet gjenstod 63 arbeidsoppgaver som fordelte seg som vist i tabell 7.2.

Oppgavetype	Antall
Togkjøring	6
Uttak og innsett	18
Tilsyn	29

Tabell 7.2: Gjenværende arbeidsoppgaver

Det finnes flere mulige forklaringer på at jeg etter innlegging av den manuelle planen gjenstår med en del arbeidsoppgaver i TPO som ikke er planlagt.

For det første er det stor forskjell mellom streklistene fra de forskjellige stasjoneringstedene. Dette har sammenheng med at det ikke finnes noen felles standard for føring av slike. Det brukes ulike tegn og symboler, og nøyaktighetsgraden er ulik. På noen streklister angis det ikke hvilke arbeidsoppgaver dagsverkene inneholder, mens dette gjøres på andre. Samlet fører dette til at det er lett å gjøre feil når en legger inn en manuelt lagd plan i TPO.

Videre er den versjonen av TPO som jeg har jobbet med ny i forhold til den som ble brukt når produksjonsplanen opprinnelig ble lagt inn. Databasen er også oppdatert med mer korrekte data om for eksempel materiellturnering. Siden alle arbeidsoppgaver blir generert av TPO basert på data og informasjon som ligger i databasen kan en ved innlasting av en gammel plan få opp nye arbeidsoppgaver. Eksempler på dette kom tydelig frem i noen dagsverk. Ved innlegging av produksjonsplanen hadde muligheten i TPO til selv å lage arbeidsoppgaver blitt brukt. Dette for å oppveie for at en del oppgaver ikke var blitt generert av systemet, antakelig på grunn av manglende data. Disse arbeidsoppgavene var nå generert og for slike tilfeller byttet jeg ut de egendefinerte oppgavene med de som nå var generert av systemet.

For seks godstog var det ikke planlagt togkjøring for en delstrekning. Dette dreier seg om strekningen Sundland – Alnabru for tre tog, Alnabru – Sundland for to og Sundland – Phillipstad for ett¹². Grunnen til dette er antakelig at en bruker lokførere som i hovedsak er knyttet til andre strekninger enn Sørlandsbanen. For eksempel kan kjøring av tog fra Sundland til Alnabru være utført av en lokfører som er stasjonert i Oslo og som for det meste kjører på Vestfoldbanen. Dette fremkommer da ikke på de streklistene som er brukt som grunnlag for innlegging av produksjonsplanen. Det samme kan være tilfellet for enkelte av de andre gjenværende arbeidsoppgavene som tilsyn og uttak og innsett.

¹² Se vedlegg A for kart med stasjonsangivelse.

For tilsyn gjelder også at dette ikke planlegges like nøyaktig som selve togkjøringen. En lokfører kan for eksempel ha tilsyn med flere tog samtidig. Det er ikke mulig å angi dette i TPO, og det vil dermed se ut som en del arbeidsoppgaver ikke er planlagt utført.

Videre er det slik at tilsyn er en arbeidsoppgave som i TPO blir automatisk generert av systemet basert på ruteplanen. Disse arbeidsoppgavene lar seg i virkeligheten dele opp slik at ulike lokførere kan utføre dem. For eksempel kan en lokfører avslutte arbeidsdagen med å se til det toget han sist kjørte inntil den som skal føre det videre overtar tilsynet. Dette lar seg også gjøre i manuell modus i TPO og i produksjonsplanen var det foretatt flere slike oppdelinger. Noen ganger var ikke hele oppgaven planlagt. For eksempel kunne bare den første timen av et tilsyn være planlagt, men ikke den neste. Dette kan ha samme forklaring som for uplanlagte tilsyn som for eksempel at en lokfører har tilsyn med flere tog samtidig.

Det er ikke mulig å slette deler av et tilsyn fra TPO. Derfor har jeg manuelt planlagt de delene av tilsynene som ikke skulle være en del av de automatisk genererte planene i egne dagsverk. Disse har jeg så låst slik at de ikke blir endret av programmet under den automatiske genereringen. Før jeg har tatt ut rapporter etter hver planlegging har jeg så slettet disse manuelt lagde dagsverkene slik at de ikke har påvirket verdien til parametrene jeg skal vurdere planen ut fra.

Rapportene som hentes ut fra TPO beregner inneholder kun opplysninger om planlagte dagsverk. De arbeidsoppgavene som ikke er planlagt vil dermed ikke innvirke på rapportene som hentes ut for produksjonsplanen. Arbeidsoppgavene må derimot fjernes fra datasettet som skal brukes til automatisk planlegging. Dessverre går det ikke å ekskludere disse arbeidsoppgavene ved hjelp av kriteriefila. Jeg har derfor måttet slette dem manuelt etter hver innlasting av data, et meget tidkrevende arbeid.

Togkjøring for et godstog på strekningen Alnabru – Drammen var planlagt som en del av ett dagsverk der resten av arbeidsoppgavene var knyttet til Østfoldbanen. Dette dagsverket ble slettet i produksjonsplanen før rapportene ble tatt ut og kjøringen på strekningen ble også slettet manuelt i datasettet som skulle brukes til automatisk planlegging.

7.1.4. SAMMENLIGNING AV DATASET

De nevnte justeringene har gitt meg et datasett som er tilnærmet likt det som er benyttet til produksjonsplanen. Tiden forbrukt til forskjellige arbeidsoppgaver skal være konstant uansett hvordan en planlegger lokførertjenesten. Tabell 7.3 viser en sammenligning mellom tiden brukt til forskjellige arbeidsoppgaver i produksjonsplanen og i de automatisk genererte planene.

Klokketid (tt:mm)		
-------------------	--	--

Arbeidsoppgave	Produksjonsplan	Plan A	Avvik (%)
Togkjøring	1071:38	1 068,00	-0,34
Tilsyn	186:56	191,00	2,18
Uttak og innsett	68:15	68,00	-0,37

Tabell 7.3: Tidsforbruk for arbeidsoppgaver som skal planlegges

Som vi ser av tabell 7.3 er det avvik mellom produksjonsplanen og de automatisk genererte planene, men avvikene er så små at de ikke vil ha innvirkning på resultatene.

7.2. PRESENTASJON AV PRODUKSJONSPLAN

De automatisk genererte planene skal sammenlignes med produksjonsplanen og jeg vil derfor presentere denne her. De måleparametrene som trekkes frem er i samsvar med de som ble utviklet i kapittel 4.3.

7.2.1. ANTALL DAGSVERK

Det er for tiden mangel på lokførere i NSB. Samtidig er det et misforhold mellom hvor de er stasjonert og hvor det er bruk for dem. Det er derfor interessant å se på antall dagsverk som benyttes i planene og hvordan de fordeler seg på stasjonssteder.

Produksjonsplanen inneholder 210 dagsverk. Disse fordeler seg som vist i tabell 7.4. Som vi ser av tabellen er de fleste dagsverkene knyttet til Kristiansand. Dette henger sammen med at Kristiansand ligger midt på ruten mellom Stavanger og Oslo.

Stasjonssted	Antall	Andel (%)
Kristiansand	131	62
Stavanger	21	10
Oslo	39	19
Drammen	19	9

Tabell 7.4: Fordeling av dagsverk på stasjonssteder, produksjonsplan

7.2.2. ANTALL TJENESTETIMER

Produksjonsplanen inneholder 1681 tjenestetimer. Gjennomsnittlige lengde på dagsverket er dermed på 8 timer.

7.2.3. TJENESTETID FORDELT PÅ ARBEIDSOPPGAVER

Tabell 7.5 viser tjenestetid fordelt på forskjellige arbeidsoppgaver og de respektive oppgavens andel av den totale tjenestetiden. Det er ønskelig at andelen produktiv tid, det vil si tid brukt til togkjøring, uttak og innsett samt tilsyn er størst mulig¹³. Tabellen viser at ca 88 % av total tjenestetid brukes til dette.

¹³ Tid brukt til tilsyn og uttak og innsett er et resultat av planlegging av materiellturneringen. Når denne planlegges bør en søke å minimalisere disse arbeidsoppgavene. Når personalplanen legges er følgelig tid som må brukes på disse oppgavene fastlagt.

Aktivitet	Tjenestetid (tt :mm)	Andel av total tid (%)
Togkjøring	1196:56	71,18
Tilsyn	199:53	11,89
Uttak og innsett	76:17	4,54
Passreise med tog	40:25	2,40
Passreise med taxi	1:15	0,07
Passreiser til fots	28:05	1,67
Gangtid	87:38	5,21
Kjørepause	0:00	0,00
Betalt opphold	28:45	1,71
Fiktive passreiser	3:48	0,23
Ubetalt opphold	206:08	

Tabell 7.5: Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver, produksjonsplan

Tabellen viser også tall for forskjellige typer passreiser. Her er det viktig å merke seg at mens passreiser med tog ikke utløser andre kostander enn timelønn gjør taxi dette. Passreiser til fots vil alltid inngå i dagsverkets lengde mens passreiser med tog ikke gjør det hvis passreisen ligger i forkant eller etterkant av dagsverket. Gangtid fremkommer som et resultat av hvordan dagsverket er sammensatt og er tid som settes inn mellom hver arbeidsoppgave. Kjørepause settes inn i dagsverket for å oppfylle regelen om pause etter kjøring i 5 ½ time. Produksjonsplanen inneholder ingen slike pauser da en har valgt å legge inn betalte eller ubetalte pauser istedenfor. Betalt opphold er pauser der lokføreren venter på neste arbeidsoppgave. Det er selvfølgelig ønskelig å unngå slike pauser i størst mulig grad. Fiktive passreiser fremkommer som et resultat av at TPO ikke kan finne noen passreiser som kan bringe lokfører til det stedet han skal utføre oppgaven. Dette kan ha sammenheng med manglende data i TPO.

7.2.4. PERSONALKOSTNADER

Personalkostnadene er regnet ut basert på nøkkeltall som er hentet ut fra TPO og bearbeidet i et regneark (se vedlegg B).

For produksjonsplanen utgjør personalkostnadene 383.422 kr.

7.2.5. REGELBRUDD

Produksjonsplanen inneholder flere dagsverk med regelbrudd. Dette oppsummeres i tabell 7.6.

Regelbrudd	Antall
For kort opphold mellom arbeidsoppgaver	2
Dagsverket trenger kjørepause fordi det overstiger 5:30	4
Dagsverket overskrider grensen på 8 timer	5
Dagsverket overskrider grensen på 10 timer	1

Delt dagsverk overskrider grensen på 16 timer	1
Opphold mellom dobbelt dagsverk for kort	2
Opphold på stasjon uten overnattingsmulighet	3
Fiktiv passreise	9

Tabell 7.6: Antall regelbrudd fordelt på typer, produksjonsplan

Mellom forskjellige arbeidsoppgaver skal det være opphold av varierende lengde. Det finnes to brudd på denne reglene i produksjonsplanen. Det er også fire brudd på reglen om kjøreopphold etter 5 ½ times kjøring.

Som gjennomgått i kapittel 4.2 finnes det flere forskjellige regler for lengden på et dagsverk. I produksjonsplanen er det totalt syv brudd på disse reglene. Videre er det to brudd på regelen om ni timers hviletid på utestasjon.

Regelbruddet om opphold på utestasjon uten overnattingsmulighet henger konkret sammen med at det ikke er lagt inn passreiser fra Langemyr, der mange godstog har sin endestasjon, til Kristiansand der det finnes overnattingsmuligheter. Eneste forskjellen for planen hvis dette hadde blitt gjort er at mer tid hadde blitt brukt til passreise til fots. De fiktive passreisene har sammenheng med at systemet i manuell modus ikke finner passreiser mellom Oslo og Alnabru.

Med unntak av de fiktive passreisene og oppholdene på stasjon uten overnattingsmuligheter fører alle regelbruddene til en mer effektiv plan enn hvis reglene var blitt fulgt. Dette er et uttrykk for at en med overlegg bryter regler for å få til effektive planer under den manuelle planleggingen.

7.3. FREMGANGSMÅTE

I TPO finnes det kun mulighet for å lagre ferdige dagsverk og det er ikke mulig å lagre et sett med arbeidsoppgaver. Det vil si at hver gang jeg har avsluttet programmet har jeg vært nødt til å bygge opp datasettet på nytt. Dette er relativt tidkrevende og det er svært vanskelig å oppnå nøyaktig like datasett fra gang til gang.

Jeg har forsøkt å foreta så mange genereringer som mulig mellom hver gang jeg har avsluttet programmet. På grunn av ustabilitet i nett og programvare har jeg dessverre vært nødt til å starte på nytt en rekke ganger. For å sjekke om jeg har klart å gjenskape tilnærmet samme datasett har jeg hver gang startet med standardoppsettet¹⁴ for på den måten å se om jeg har kunnet oppnå samme resultat som tidligere. Resultatet av disse testen har vært varierende. De fleste gangene har jeg fått enten de samme resultatene eller bare små avvik som kan tilskrives de små forskjellene som oppstår ved bearbeidelsen av

¹⁴ Se avsnitt 7.4.

datasettet. Andre ganger har jeg fått avvik som har vært så store at jeg har vært i stand til å forklare årsaken til forskjellene. Når sistnevnte har skjedd har jeg startet helt på nytt.

I tillegg til de nevnte problemene med ustabilitet i nettverk og programvare, ble hele TPO-databasen som jeg benyttet ved en feiltakelse slettet i forbindelse med vedlikeholdsarbeid på nettverket. Databasen måtte da bygges opp helt på nytt og på grunn av usikkerhet rundt hvorvidt den nye basen inneholdt de samme dataene som den som ble slettet har jeg ikke benyttet noen av planen som ble laget før slettingen til min analyse. Det skal også nevnes at programvaren har blitt oppdatert i løpet av prosjektet. Dette har blant annet ført til at det har dukket opp en systemfeil¹⁵ som i flere tilfeller har medført at TPO har avsluttet planleggingen med beskjed om at løsning ikke er funnet. Det har ikke vært mulig å finne ut av grunnen til denne systemfeilen, og jeg har omgått den ved å starte på nytt.

Totalt har jeg gjort ca 40 forsøk på å generere personalplaner ved hjelp av automatisk modus. De fleste av disse vil ikke bli presentert da de ikke er av interesse for analysen og diskusjonen. Jeg har generert mange planer som en del av å lære meg TPO og for å eksperimentere med forskjellige verdier på diverse parametere. For å sikre at alle planene som blir presentert er generert basert på nøyaktig samme datasett er disse hentet fra en planleggingsomgang.

Etter innlesing av data blir alle arbeidsoppgavene som skal planlegges ordnet i kandidater som forklart i kapittel 6.1. Valg av hvordan dette skal gjøres er tatt etter anbefalinger fra NSB. Ved innlesing har jeg spesifisert at arbeidsoppgavene skal sorteres i kandidater i følge materiellturneringen. Det vil si at alle arbeidsoppgavene som tilhører et gitt fysisk tog blir ordnet fortløpende etter hverandre etter det klokkeslettet de skal utføres. Varigheten på en slik kandidat kan strekke seg fra for eksempel 7:00 til 24:00 og er følgelig alt for lang til at alle arbeidsoppgavene den inneholder kan utføres av en lokfører. Den må derfor deles opp videre. Dette har jeg gjort i to trinn. Først har jeg sortert alle arbeidsoppgavene i kandidater basert på ruteplanen. Deretter har jeg delt alle kandidatene opp i deler med maksimal varighet på 5 timer. 5 timer er valgt fordi en lokfører må ha pause etter 5 ½ times kjøring og at det skal legges inn en margin i tilfelle forsinkelser.

Det finnes mange måter å ordne arbeidsoppgavene i kandidater på. Jeg har gjort noen små forsøk på forskjellig ordning, men det ville bli en alt for stor oppgave å gå systematisk til verks for å finne ut av den optimale måten å gjøre det på. Det eneste jeg kan si er at hvordan dette gjøres har innvirkning på resultatet av den automatiske planleggingen. I alle planene som presenteres i denne oppgaven er derfor måten som er forklart over blitt brukt.

¹⁵ Se vedlegg C.

Resultatet av en automatisk planlegging er et antall ferdig planlagte dagsverk. TPO har en funksjon for å sjekke hvorvidt disse er lovlige. Dette kalles validering. Etter hver planlegging gjennomførte jeg en validering av de planlagte dagsverkene. I tillegg til å foreta regelsjekk løses sammensatte passreiser¹⁶ opp ved validering. Videre fjernes opphold på utestasjon i tillegg til at enkelte sammensatte passreiser fjernes helt. At opphold på utestasjon og at enkelte passreiser fjernes anser jeg som et resultat av en feil i programmet og blir nærmere kommentert i kapittel 8.2.3.

Når opphold på utestasjon fjernes blir alle dobbel- og trippelturer gjort om til enkle dagsverk som er alt for lange. Dette fører til planer med mange regelbrudd. Jeg har valgt å manuelt legge inn disse oppholdene på utestasjon igjen for på den måten å bøte på feilen i programvaren. Jeg kunne også ha lagt inn de passreisene som blir slettet, men det ville ha så liten innvirkning på resultatet at jeg har ansett det som lite hensiktsmessig.

For hver plan har jeg tatt ut tre rapporter på fil og en som utskrift. Rapportene på fil har jeg bearbeidet i regneark mens utskriften har blitt brukt til manuelt å registrere typer av regelbrudd i planene. Disse rapportene danner grunnlaget for de resultater som blir presentert i avsnitt 7.5.

7.4. STANDARDOPPSETT

I kapittel 6.1 gjennomgikk jeg de mulige innstillingene som kan gjøres når en bruker automatisk modus i TPO. Som et utgangspunkt for generering av planer med automatisk modus har jeg fra NSB fått anbefalt å bruke et sett verdier på noen av parameterne. I tillegg har jeg gjort noen innledende tester for å finne verdier på andre. Disse testen blir ikke presentert i oppgaven. Nedenfor presenter jeg parametrene med de verdier som vil være utgangspunkt for min generering av planer. Ut fra dette standardoppsettet vil jeg så gjøre endringer for å forsøke å oppnå spesielle resultat.

Grensen for dagsverkets lengde

"Grensen for dagsverkets lengde" er satt til 14 timer. Dette for å sikre at systemet bruker doble og triple turer istedenfor å sende lokføreren hjem igjen med passreiser på lange strekninger som for eksempel Kristiansand – Oslo. Denne verdien må sees i sammenheng med parameteren "Enkelt tur?".

Rest duration limit

¹⁶ En sammensatt passreise betyr at lokføreren må benytte flere forskjellige transportmidler for å komme seg fra et sted til et annet. For eksempel kan en passreise bestå av både bruk av taxi, lokaltog og langdistansetog.

Det finnes ingen spesielle retningslinjer for maksimumslengde på opphold på utestasjon. For ikke at ikke parameteren *"Rest duration limit"* skal legge ekstra begrensinger på mulige løsninger settes den derfor til standardinnstillingen på 24 timer.

Alltid en ny ?

"Alltid en ny ?" settes til *"Nei"* da det er ønskelig med en replanleggende effekt for å få best mulig resultat.

Enkelt tur ?

Det er ønskelig at det planlegges med doble og triple turer på grunn av lange strekninger. *"Enkelt tur"* settes derfor til *"Nei"*. Se ellers kommentaren til *"Grensen for dagsverkets lengde"*.

Start begrensing for en blokk med aktiviteter

Et dagsverk kan begynne ved midnatt. *"Start begrensing for en blokk med aktiviteter"* settes derfor til *"00:00"*.

Slutt begrensing for en blokk med aktiviteter

Et dagsverk kan avslutte ved midnatt to døgn senere. *"Slutt begrensing for en blokk med aktiviteter"* settes derfor til *"48:00"*. Dagsverket vil likevel ikke overstige 14 timer, men det gir systemet stor frihet til hvor de 14 timene plasseres innenfor en ramme på 48 timer.

Gjennomsnittlig varighet på dagsverk

For å få best resultat fra turnusplanleggingen bør et dagsverk i gjennomsnitt være på 7 ½ time. Parameteren *"Gjennomsnittlig varighet på dagsverk"* settes derfor til dette.

Vekting av ekstra timer

Antall tjenestetimer utover *"Gjennomsnittlig varighet på dagsverk"* straffes ikke og parameteren får dermed verdien *"0"*.

Passreise-faktor straffes

Det er ønskelig å unngå passreiser i størst mulig grad. Fra NSB ble det derfor anbefalt at *"Passreise-faktor straffes"* settes til *"15"*.

Straff på oppholdsfaktor

På grunn av lange strekninger er det nødvendig med opphold på utestasjon og *"Straff på oppholdsfaktor"* settes derfor til *"0"*.

Beregne på gruppebasis?

"Beregne på gruppebasis?" settes til *"Ja"* siden dette gir det mest nøyaktige resultatet.

Konstant vekting

Etter anbefaling fra leverandør settes ”Konstant vektning” til ”1,6”.

Generert ved utvidelse

Basert på innledende tester gir 6 etterfølgere best resultat innenfor fornuftig beregningstid.

Brukt overalt

Standard i programmet er 10.000. Verdien beholdes da den ikke setter begrensninger for søketreet og ikke påvirker beregningstiden.

Utvidet per nivå

Basert på innledende tester gir 6 etterfølgere best resultat innenfor fornuftig beregningstid.

”Prognose for ukedag 1, 2, ...,7”

For å sikre at alle arbeidsoppgavene planlegges settes dette tallet til ”150”, noe som i praksis betyr at det ikke legges begrensninger på antall dagsverk.

7.5. PRESENTASJON AV AUTOMATISK GENERERTE PLANER

I dette avsnittet vil jeg presentere de forskjellige planene som jeg har generert ved hjelp av TPO. Først presenteres en plan generert med standardinnstillingene forklart over. Videre vil jeg presentere de beste planene målt med forskjellige parametere fra kapittel 4.3.

7.5.1. PLAN A

Plan A er generert med standardinnstillingene. Basert på erfaringer referert av Morgado og Martins (1996) forventet jeg ved denne genereringen å finne en plan som var minst like god som produksjonsplanen. Jeg forventer også å få en feilfri plan siden TPO generer planer ut fra et regelsett med ufravikelige regler.

Antall dagsverk

Plan A inneholder 307 dagsverk. Dette er 46 % flere enn i produksjonsplanen. Dagsverkene fordeler seg som vist i tabell 7.7. De fleste dagsverkene er også i denne planen knyttet til Kristiansand, men de er jevnere fordelt enn i produksjonsplanen.

Stasjoneringssted	Antall	Andel (%)
Kristiansand	114	37
Stavanger	75	24
Oslo	73	24
Drammen	45	15

Tabell 7.7: Fordeling av dagsverk på stasjoneringssteder, plan A

Antall tjenestetimer

Plan A inneholder 3.277 timer. Det er 95 % mer enn i produksjonsplanen. Et gjennomsnittlig dagsverk er på 10,7 timer.

Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver

Tabell 7.8 viser tjenestetid fordelt på forskjellige arbeidsoppgaver og de respektive oppgavens andel av den totale tjenestetiden. Andelen produktiv tid utgjør ca 45 % av total tjenestetid mot produksjonsplanens 88%.

Aktivitet	Tjenestetid (tt:mm)	Andel av total tid (%)
Togkjøring	1193:26	36.42
Tilsyn	201:20	6.14
Uttak og innsett	77:08	2.35
Passreise med tog	812:54	24.81
Passreise med taxi	1:15	0.04
Passreiser til fots	50:43	1.24
Gangtid	162:52	4.97
Kjørepause	24:26	0.75
Betalt opphold	676:31	20.64
Fiktive passreiser	8:27	0.26
Ubetalt opphold	0:00	

Tabell 7.8: Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver, plan A

I forhold til produksjonsplanen er det særlig tid medgått til passreiser og betalt opphold som er lengre. Det er ikke planlagt med ubetalte pauser noe som henger sammen med at TPO i automatisk modus ikke setter inn slike pauser.

Personalkostnader

For plan A utgjør personalkostnadene 621.569 kr, noe som er 62 % høyere enn for produksjonsplanen. Planen har dog den laveste personalkostnaden av de planene jeg har generert.

Gjennomførbarhet og Akseptbarhet - Regelbrudd

Plan A inneholder 12 dagsverk med regelbrudd. Dette oppsummeres i tabell 7.9.

Regelbrudd	Antall
Dagsverket overskrider grensen på 8 timer	7
Dagsverket overskrider grensen på 10 timer	1
Fiktiv passreise	4

Tabell 7.9: Antall regelbrudd fordelt på typer, plan A

Sammenlignet med tabell 7.6 ser vi at det er betydelig mindre regelbrudd i plan A enn i produksjonsplanen.

Overskridelsen av 8 og 10-timersgrensen for dagsverkernes lengde har sammenheng med at TPO i automatisk modus planlegger med sammensatte passreiser og bruker reglene for passreiser med persontog for disse. Når brukeren validerer de genererte dagsverkene blir passreisene delt opp i sine respektive deler og systemet ”oppdager” at en del av dagsverkene blir for lange fordi de inneholder passreiser på godstog.

De fiktive passreisene har sammenheng med at systemet ved validering av de genererte dagsverkene fjerner enkelte sammensatte passreiser helt. TPO melder dermed om at det ikke finnes passreiser som passer og det blir laget fiktive passreiser. Fra mine observasjoner ser det ut som om det er sammensatte passreiser mellom Oslo og Alnabru som forsvinner.

Oppsummering

Forventningene til planen slo ikke til. Planen er dårligere enn produksjonsplanen målt med alle måleparametrene. Planen er heller ikke gjennomførbar siden 5 av dagsverkene er for lange, av samme grunn er det ikke sikkert at personalet vil akseptere planen.

7.5.2. FÆRREST BETALTE OPPHOLD - PLAN B

Fra plan A så vi at antall/andelen av betalt opphold var stor. Ved hjelp av parameteren "Konstant vektning" skal det være mulig å redusere denne andelen/antallet da "Konstant vektning" < 1 skal gi dagsverk der arbeidsoppgavene er planlagt tettere. "Konstant vektning" settes derfor lik 0,5 og jeg forventer en plan med færre timer betalt opphold. Jeg forventer også lang søketid.

Antall dagsverk

Plan B inneholder 336 dagsverk.

Dette er 60 % flere enn i produksjonsplanen og 9,5 % flere enn plan A. Dagsverkene fordeler seg som vist i tabell 7.10. Fordeling er stort sett lik som i plan A.

Stasjoneringssted	Antall	Andel (%)
Kristiansand	128	38
Stavanger	82	25
Oslo	68	20
Drammen	58	17

Tabell 7.10: Fordeling av dagsverk på stasjoneringssteder, plan B

Antall tjenestetimer

Plan B inneholder 3.284 timer. Det er 95 % mer enn i produksjonsplanen. Et gjennomsnittlig dagsverk er på 9,8 timer, ned fra 10,7 timer i plan A.

Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver

Tabell 7.11 viser tjenestetid fordelt på forskjellige arbeidsoppgaver og de respektive oppgavens andel av den totale tjenestetiden. Andelen produktiv tid utgjør ca 45 % av total tjenestetid mot produksjonsplanens 88%. Jeg ser også at andelen timer brukt til betalte pauser er redusert fra ca 21 % til ca 19 %.

Aktivitet	Tjenestetid (tt:mm)	Andel av total tid (%)
Togkjøring	1193:06	36.33

Tilsyn	201:18	6.13
Uttak og innsett	77:08	2.35
Passreise med tog	866:43	26.39
Passreise med taxi	1:15	0.04
Passreiser til fots	55:00	1.67
Gangtid	174:08	5.30
Kjørepause	31:39	0.96
Betalt opphold	608:03	18.51
Fiktive passreiser	2:03	0.06
Ubetalt opphold	0:00	

Tabell 7.11: Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver, plan B

I forhold til plan A har antallet timer brukt til passreiser økt tilsvarende nedgangen for betalte opphold.

Personalkostnader

For plan B utgjør personalkostnadene 623.455 kr, noe som er 63% mer enn i produksjonsplanen.

Gjennomførbarhet og Akseptbarhet - Regelbrudd

Plan B inneholder 11 dagsverk med regelbrudd. Dette oppsummeres i tabell 7.12.

Regelbrudd	Antall
Dagsverket overskrider grensen på 8 timer	8
Dagsverket overskrider grensen på 10 timer	1
Fiktiv passreise	2

Tabell 7.12: Antall regelbrudd fordelt på typer, plan B

Som vi ser av tabell 7.12 har plan B de samme typene som plan A. Forklaringene er også de samme.

Oppsummering

Forventningene til en plan med færre timer betalte pauser slo til. Det er også verdt å merke seg at antallet timer som ble spart inn på betalte pauser ble overført til passreiser. Søketid steg betraktelig fra ca 1 time til ca 2,5 timer.

7.5.3. REDUKSJON AV PASSREISER - PLAN D, G, H, I, J

Av både plan A og B så vi at andelen passreiser var stor. Ved hjelp av "Passreise-faktor straffes" skal det være mulig å styre bruken av passreiser. Denne parameteren var satt høyt fra begynnelsen av for å begrense bruken av passreiser. Når resultatet likevel ble en stor andel passreiser i de to foregående planene ønsker jeg å se hvilken effekt parameteren virkelig har. Jeg gjør derfor 5 forsøk der jeg varierer "Passreise-faktor straffes" fra 0 til 50.

	Plan G	Plan H	Plan I	Plan D	Plan J

Passreiser (timer)	850	844	963	846	882
Passreiser (%-andel)	25.9	25.5	27.06	24.92	26.39
Passreise-faktor	0,0	0,5	1,0	15,0	50,0
Totale tjenestetimer	3285	3312	3560	3397	3343

Tabell 7.13: "Passreise-faktor straffes" effekt på planene

Tabell 7.13 viser resultatet fra de fem forsøkene. Det er vanskelig å lese noe entydig ut fra tabellen. Når verdien er 0 tas det ikke hensyn til parameteren, mens en verdi mindre enn 1 (men større enn 0) oppfordrer til bruk av passreiser. Hvorfor det blir generert mye mer passreiser når verdien settes til 1 har jeg ingen forklaring på. Slik jeg har tolket parameteren burde den fått samme resultatet som ved 0. Som vi ser gir både parameterverdien 15 og 50 mer passreiser enn parameterverdien 0,5. Dette er helt motsatt av hva som er forutsatt i brukermanualen (SISCOG, 2000).

Da disse forsøkene ble utført som en del av et annet forsøk hadde parameteren "*Konstant vekting*" verdien 3,0. Det utgjør forskjellen på plan A og plan D.

7.5.4. OPPNÅ FÆRREST ANTALL DAGSVERK - PLAN L

Alle planene som hittil har vært generert har inneholdt langt flere dagsverk enn produksjonsplanen. Eneste måte å direkte påvirke dette antallet er å utvide lengde på de ønskede dagsverkene. Dette kan gjøres med parameteren "*Gjennomsnittlig varighet på dagsverk*". I standardinnstillingene er denne satt til 7,5 timer fordi slike dagsverk vil være lettest å lage gode turnuser av. Det anbefales derfor ikke å endre på denne parameteren, men for å illustrere muligheten har jeg satt den til 14 timer i plan L. Ved generering forventer jeg da å få færre, men lengre, dagsverk.

Dette stemte bra da jeg gikk fra 307 dagsverk i plan A til 295 dagsverk i plan L. Totalt antall tjenestetimer forholdt seg nesten uforandret slik at et gjennomsnittlig dagsverk gikk fra 10,7 timer til 11 timer.

Viktigst for antall dagsverk er selvfølgelig det totale antallet tjenestetimer. I forhold til de foregående planene er det dermed fortsatt antall timer som går med til pauser og passreiser som må reduseres.

7.5.5. FÆRREST TJENESTETIMER - PLAN F

Under forsøket med å redusere antallet timer med betalte pauser gjorde jeg en test med "*Konstant vekting*" satt til 15. Resultatet var som forventet at planen inneholdt flere timer med betalt pause enn plan B, men som en bieffekt var plan F den med færrest antall tjenestetimer og dermed den planen med størst produktiv tid. Dette forklares med at planen er den med færrest timer brukt på passreiser. Planen presenteres nedenfor.

Antall dagsverk

Plan F inneholder 304 dagsverk. Dette er 45 % flere enn i produksjonsplanen og 1 % færre enn i plan A. Dagsverkene fordeler seg som vist i tabell 7.14. Fordeling følger samme mønster som i plan A men flere dagsverk er plassert i Kristiansand.

Stasjonssted	Antall	Andel (%)
Kristiansand	150	49
Stavanger	55	18
Oslo	61	20
Drammen	38	13

Tabell 7.14: Fordeling av dagsverk på stasjonssteder, plan F

Antall tjenestetimer

Plan F inneholder 3.203 timer. Det er 91 % mer enn i produksjonsplanen og 2 % færre enn i plan A. Et gjennomsnittlig dagsverk er på 10,5 timer, ned fra 10,7 timer i plan A.

Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver

Tabell 7.15 viser tjenestetid fordelt på forskjellige arbeidsoppgaver og de respektive oppgavens andel av den totale tjenestetiden. Produktiv tid utgjør 46 % mot 88 % i produksjonsplanen og 45 % i plan A.

Aktivitet	Tjenestetid (tt:mm)	Andel av total tid (%)
Togkjøring	1192:54	37.24
Tilsyn	201:03	6.28
Uttak og innsett	77:06	2.41
Passreise med tog	781:05	24.39
Passreise med taxi	1:00	0.03
Passreiser til fots	48:06	1.50
Gangtid	166:54	5.21
Kjørepause	8:01	0.25
Betalt opphold	657:43	20.53
Fiktive passreiser	2:06	0.07
Ubetalt opphold	0:00	

Tabell 7.15: Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver, plan F

Personalkostnader

For plan F utgjør personalkostnadene 627.790 kr. Det er 68 % mer enn i produksjonsplanen.

Gjennomførbarhet og Akseptbarhet - Regelbrudd

Plan F inneholder 13 dagsverk med regelbrudd. Dette oppsummeres i tabell 7.16.

Regelbrudd	Antall
Dagsverket overskrider grensen på 8 timer	8
Dagsverket overskrider grensen på 10 timer	1
Fiktiv passreise	4

Tabell 7.16: Antall regelbrudd fordelt på typer, plan F

Som vi ser av tabell 7.16 har plan F de samme typene regelbrudd som plan A. Forklaringene er også de samme.

7.5.6. FÆRREST ANTALL DAGSVERK - PLAN G

Planen med færrest dagsverk kom som et resultat av forsøkene med å redusere antall timer brukt til passreiser. Når "Passreise-faktor straffes" ble satt til 0 fikk jeg den planen jeg har generert med færrest dagsverk. Planen presenteres nedenfor.

Antall dagsverk

Plan G inneholder 288 dagsverk.

Dette er 37 % flere enn i produksjonsplanen og 6 % færre enn plan A. Dagsverkene fordeler seg som vist i tabell 7.17. Fordeling følger samme mønster som tidligere planer.

Stasjoningssted	Antall	Andel (%)
Kristiansand	123	43
Stavanger	62	22
Oslo	66	23
Drammen	37	13

Tabell 7.17: Fordeling av dagsverk på stasjoningssteder, plan G

Antall tjenestetimer

Plan G inneholder 3.285 timer. Det er 95 % mer enn i produksjonsplanen. Et gjennomsnittlig dagsverk er på 11,4 timer, opp fra 10,7 timer i plan A.

Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver

Tabell 7.18 viser tjenestetid fordelt på forskjellige arbeidsoppgaver og de respektive oppgavens andel av den totale tjenestetiden. Produktivt arbeid utgjør 45 % mot 88 % i produksjonsplanen.

Aktivitet	Tjenestetid (tt:mm)	Andel av total tid (%)
Togkjøring	1193:26	36.33
Tilsyn	201:19	6.13
Uttak og innsett	77:01	2.34
Passreise med tog	850:51	25.90
Passreise med taxi	1:15	0.04
Passreiser til fots	51:30	1.57
Gangtid	163:52	4.99
Kjørepause	32:49	1.00
Betalt opphold	644:56	19.63

Fiktive passreiser	2:22	0.07
Ubetalt opphold	0:00	

Tabell 7.18: Tjenestetid fordelt på arbeidsoppgaver, plan G

Personalkostnader

For plan G utgjør personalkostnadene 622.236 kr, noe som er 62 % mer enn i produksjonsplanen.

Gjennomførbarhet og Akseptbarhet - Regelbrudd

Plan G inneholder 12 dagsverk med regelbrudd. Dette oppsummeres i tabell 7.19.

Regelbrudd	Antall
Dagsverket overskrider grensen på 8 timer	7
Fiktiv passreise	5

Tabell 7.19: Antall regelbrudd fordelt på typer, plan G

Som vi ser av tabell 7.19 har plan G de samme typene regelbrudd, med unntak av brudd på 10-timersregelen, som plan A. Forklaringene er også de samme.

8. DISKUSJON

I dette kapittelet vil jeg diskutere deler av teorien jeg har presentert samt resultatene fra den automatiske genereringen av personalplaner.

8.1. DISKUSJON BASERT PÅ TEORETISK GJENNOMGANG

I kapittel 6 presenterte jeg tre forskjellige systemer for personalplanlegging med beslutningsstøtteverktøy. Alle systemene har moduler for automatisk generering av personalplaner, men disse er basert på forskjellige prinsipper og fungerer ulikt.

8.1.1. SAMMENLIGNING AV SYSTEMENE

TPO/CREWS er basert på teknikker fra kunstig intelligens mens TURNI og ALPI er basert på matematisk programmering. Ingen av programmene kan garantere optimale planer. Dette har sammenheng med størrelsen på problemet. I alle tre programmene er heuristikker derfor tatt i bruk for å begrense datamengdene. I CREWS fremkommer dette ved at søketreet begrenses, mens TURNI og ALPI begrenser mengden dagsverk som evalueres med tanke på utvelgelse til den endelige løsningen.

Forskjellen mellom TURNI og ALPI er at TURNI konstruere grupper av mulige dagsverk underveis i prosessen med å finne en løsning, mens ALPI foretar genereringen på forhånd. Fordelen med å gjøre det på forhånd er at selve utvelgelsen går raskere. Ulempen er datamengden blir så stor at en fortløpende må vurdere om de genererte dagsverkene er bra nok til at de bør tas vare på. Fordi det ikke finnes noen måte en helt sikkert kan vurdere dette på, kan dagsverk som ville ha tilhørt den endelige løsningen blir slettet underveis. Dette unngås til en viss grad hvis det genereres dagsverk i grupper som evalueres sammen, men også her kan dagsverk som ville ha tilhørt den endelige løsningen bli slettet underveis.

Systemer basert på set-covering vil kunne finne optimal løsning på et problem gitt at datamengden ikke er for stor. Med videre utvikling av maskinvare vil det være mulig å behandle stadig større datamengder. Dette gjør at en etterhvert kan slippe opp på de begrensningene som foretas i dag, for eksempel kan det med TURNI lages flere dagsverk i hver omgang med genereringer, mens det med ALPI kan tas vare på flere forskjellige dagsverk.

CREWS/TPO lager ett dagsverk om gangen. Systemet prøver å finne en optimal sammensetning av arbeidsoppgaver i det dagsverket som lages for øyeblikket, men uten å ta hensyn til de dagsverkene som skal lages senere. Dette kan lett føre til en suboptimalisering der den totale planen blir for dårlig. Dette kan unngås hvis søketreet som brukes ikke begrenses. Da kan alle mulige løsninger undersøkes. Dette vil føre til enormt

behov for minne/lagringsplass og datakraft, og er derfor kun en teoretisk mulighet. En gradvis økning av søketreet har ikke en forutsigbar effekt slik gradvis fjerning av begrensningene i set-covering-modellene har, og en vil derfor ikke kunne hente like mye effekt ut av utviklingen innen maskinvare og datakraft. Videre forholder ikke CREWS/TPO seg til globale restriksjoner. Dette har å gjøre med metodene som CREWS/TPO er basert på og legger dermed en naturlig begrensning på resultatene som kan produseres.

Et av problemene til TURNI og ALPI er at de er vanskelig tilgjengelig for brukerne slik at disse må inneha spesialkompetanse. Videre er de matematiske modellene som brukes spesialtilpasset i hvert tilfelle slik at når for eksempel regler knyttet til arbeidstid endres må modellene endres. Dette er enklere i CREWS/TPO der slike begrensninger er definert i regler og strategier som ligger utenfor selve modellen.

8.1.2. SYSTEMENES PRESTASJONER

Alle tre systemene hevdes å produsere bedre løsninger enn det som er resultatet av manuelle planlegginger. Kroon og Fischetti (2000) antyder indirekte også at TURNI lager bedre planer enn CREWS_NS. Hvorvidt CREWS produserer bedre planer enn manuelt har jeg til en viss grad kunnet teste i denne oppgaven, men det er viktig å bemerke at TPO er en tilpassing og videreutvikling av CREWS og dermed ikke helt det samme systemet. TURNI og ALPI har jeg ikke testet så det er ikke mulig å si hvorvidt påstandene om disse stemmer.

Watson (2000) oppsummerer sin artikkel med å fastslå at utsiktene for dataassistert planlegging er gode hvis en utvikler og innfører systemene i riktig rekkefølge. Først og fremst må det innføres støtte for datahåndtering og -manipulering. Verktøy må så ha støtte for interaktiv planlegging som støtter opp om feilfrie løsninger. Når dette er dekket er det ønskelig med funksjoner for automatisk generering og optimalisering av personalplaner.

Ut fra den dokumentasjonen jeg har hatt tilgjengelig er det bare CREWS/TPO som dekker alle disse punktene. Kroon og Fischetti (2000) skriver da også at det er den automatiske planleggingsfunksjonen som er bra i TURNI. Når det gjelder ALPI antar jeg at det finnes eller vil bli laget moduler for datahåndtering og presentasjon av planer siden ALPI utvikles som et komplett IT-system for FS. Grunnlaget til å vurdere systemene ut fra denne vinkelen er likevel for tynt.

8.1.3. OPPSUMMERING

Situasjonen i dag er at ingen av de presenterte systemene kan garantere optimale løsninger. Ut fra tilgjengelig litteratur er det også vanskelig å avgjøre hvilket system som gir best resultat. Behov for spesialkompetanse som ofte ikke finnes i jernbaneorganisasjoner taler

mot bruk av TURNI og ALPI. Det gjør også det at selve modellene systemene er bygd på må endres hvis en for eksempel får endringer i arbeidstidsreglementet. CREWS/TPO har her en fordel da slike begrensinger er definert i regler og strategier som ligger utenfor selve modellen. I forhold til fremtidig utvikling av maskinvare og datakraft er det slik jeg ser det derimot størst potensiale for mer optimale løsninger i modellene som ligger bak TURNI og ALPI.

8.2. DISKUSJON BASERT PÅ AUTOMATISK GENERETE PERSONALPLANER

De automatisk genererte planene er for alle måleparametrene dårligere enn produksjonsplanen. Det er også slik at ingen av planene er gjennomførbare uten dispensasjon fra lover og regler da de har regelbrudd. I tabell 8.1 har jeg oppsummert forskjellene på produksjonsplanen og de automatisk genererte planene slik at verdien på parametrene for den beste planen er sammenlignet med verdien på parametrene i produksjonsplanen.

	Produksjons- plan	Beste plan	Avvik (%)	Plan
Dagsverk (antall)	210	288	37	G
Tjenestetimer (antall)	1681	3203	91	F
Produktiv tid (%-andel)	88	46		F
Passreiser (tt:mm)	69:45	830:11	1090	F
Passreiser (%-andel)	4,15	25,92		
Betalte opphold (tt:mm)	28:45	608:03	2015	B
Betalte opphold (%-andel)	1,71	18,51		
Personalkostnader	383 422	621 569	62	A

Tabell 8.1: Sammenligning mellom produksjonsplan og beste plan

Som tabellen viser er avvikene fra produksjonsplanen betydelig for alle parameterne. Det er antallet timer brukt til passreiser og til betalte opphold som fører til at planene blir så dårlige. Det er vanskelig å nøyaktig si hva som er grunnen til disse resultatene, men det er tre hovedforklaringer som utpeker seg. Det er tilrettelegging av datasett, feil bruk av parametersetting og feil og mangler i programvaren. Jeg vil nedenfor gå gjennom de tre mulige forklaringene.

8.2.1. TILRETTELEGGING AV DATASETT

Som tidligere nevnt måtte jeg manuelt gjøre en del endringer i datagrunnlaget før jeg kunne foreta planleggingen. Det er mulig at jeg gjennom disse endringene kan ha vært unøyaktig eller gjort feil slik at datagrunnlaget ikke er korrekt. For eksempel kan jeg ha fjernet et tilsyn på en mandag istedenfor på en fredag, noe som kan ha forskjellig påvirkning på resultatene fra en planlegging. Det er også mulig at sammenligningsgrunnlaget som jeg hentet ut fra TPO ikke er korrekt slik at jeg har planlagt på et lite relevant datasett eller sammenlignet med unøyaktige parameterverdier.

Alt dette kan være med på å påvirke resultatet fra de automatiske planleggingene, men siden avvikene er så store og faktisk tid brukt til produktive oppgaver som togkjøring, tilsyn og uttak og innsett er tilnærmet det samme i produksjonsplanen og i de automatisk genererte planene, må det være flere forklaringer.

Hvordan dataene blir tilrettelagt i kandidater har som nevnt også innvirkning på resultatene. I de planene som ble presentert i kapittel 7.5 har jeg benyttet en anbefalt måte å gjøre dette på, men jeg har i tillegg som en del av prosessen med å lære meg TPO eksperimentert med andre måter å ordne dataene på. Fra disse eksperimentene har jeg erfart at hvordan arbeidsoppgavene grupperes og hvor lange gruppene de ordnes i er, har innvirkning på resultatet av planleggingen. Hvor stor innvirkningen er og om den i dette tilfellet har vært god eller dårlig har det ikke vært mulig å finne ut av innenfor rammen av denne oppgaven.

8.2.2. PARAMETERSETTING

I TPO er det mulig å regulere hvordan programmet virker i automatisk modus ved hjelp av flere forskjellige parameter. Jeg har i de automatisk genererte planene tatt utgangspunkt i en del anbefalte verdier på parameterene for så å variere enkelte av dem ut fra ønsket om å oppnå spesielle effekter. Noen av disse forsøkene har gitt resultat som forventet mens andre ikke har gitt det. I tillegg har jeg fått helt uventede resultater som for eksempel at Plan F ble den planen som hadde færrest tjenestetimer og færrest passreiser. Dette antyder at hvordan en kombinerer parametrene kan ha effekt på resultatene. Jeg har dog ikke funnet noe tydelig system i dette.

8.2.3. FEIL OG MANGLER I PROGRAMVAREN

Under arbeidet med TPO har jeg avdekket en del feil og mangler med programvaren. Disse har i varierende grad innvirkning på de resultatene jeg har oppnådd ved automatisk generering av personalplaner. Jeg vil her beskrive disse feilene og manglene¹⁷ samt forklare hva de fører til.

Mangler

Av de mest åpenbare manglene med programvaren, og som også er påpekt av Kroon og Fischetti (2000), er at det ikke er mulig å angi hvor mange dagsverk som maksimalt kan knyttes til et stasjoneringssted. Dette fører til at den automatiske planleggingen ikke forholder seg til en av de viktigste begrensningene til NSB i dag, nemlig hvor mange

¹⁷ Jeg skiller mangler fra feil slik at mangler er når funksjonalitet er i samsvar med spesifikasjonene fra NSB, men der jeg mener det burde vært annen funksjonalitet.

lokførere som er tilgjengelig på hvert stasjoningssted. Mangelen begrenser derimot ikke muligheten for å søke etter optimale løsninger, under forutsetning av at en har ubegrensede ressurser på hvert stasjoningssted, noe som vil være aktuelt i situasjoner der en ønsker å få kartlagt optimal stasjoningsmønster. Med unntak av en situasjon der virkelig stasjoningsmønster er likt optimalt stasjoningsmønster bidrar denne mangelen til å forbedre de automatiske planene. Denne mangelen har dermed ikke negativ effekt på de automatisk genererte planene.

Som forklart tidligere kan et dagsverk deles i to deler med en lengre pause i mellom. Denne pausen regnes ikke som tjenestetid, men godtgjøres med et engangsbeløp på stasjoningsstedet og en timesats som er lavere enn timelønnen på utestasjon. Et delt dagsverk kan for eksempel benyttes slik at en lokfører kjører 4 timer fra A til B for så å ha 4 timer med pause før han kjører tilbake fra B til A i fire timer. Lengden på dette dagsverket blir 12 timer, noe som overskrider grensen på 10 timer, men fordi det er lagt inne en pause på midten og vi får et delt dagsverk er maksimumsgrensen utvidet til 16 timer. TPO setter ikke inn slike pauser under genereringen av dagsverk. For det første fører dette til at det ikke genereres delte dagsverk og mange mulige løsninger blir dermed aldri undersøkt. Konsekvensen av dette er at i eksempelet over ville lokføreren brukt passreise hjem igjen istedenfor å kjøre toget. Dette fører til at planene som lages ved automatiske generering inneholder unødvendig mange passreiser. For det andre fører mangelen av pauser til at de genererte dagsverkene inneholder alt for mange betalte pauser. Begge disse konsekvensene er tydelige i de automatisk genererte planene.

I produksjonsplanen er flere av tilsynene delt opp i flere arbeidsoppgaver. På den måten utnytter en dagsverkene mest mulig ved at de blir bestående av så mye produktiv tid som mulig. For eksempel har en delt tilsynet mellom den som avslutter kjøringen på et tog og den som skal overtar toget for videre kjøring. Automatisk modus har ikke den muligheten, og planlegger dermed bare hele tilsyn. Det fører til at hvis det er noe tid igjen i et dagsverk, men ikke nok til å dekke et helt tilsyn, må dette legges til et nytt dagsverk. Dette fører til flere og mindre effektive dagsverk. Som et eksempel kan følgende tenkes: I et dagsverk er lokføreren ferdig med kjøring frem til et gitt klokkeslett, det er en time til han skal utføre neste arbeidsoppgave og han er tildelt betalt pause i mellomtiden. Dette er i realiteten en unødvendig pause siden han kunne ha ført tilsyn med et tog i tiden. Problemet er at det tilsynet som er aktuelt er på to timer. Siden TPO ikke deler opp tilsynet blir dette lagt i et annet dagsverk slik at i den ene timen blir en lokfører mer enn nødvendig lønnet. Denne mangelen fører til at det brukes flere ressurser enn nødvendig ved at for eksempel betalte pauser ikke fylles med arbeidsoppgaver og de automatisk genererte planene blir dermed dårligere.

Feil

Av direkte feil er det mest graverende at mange av dagsverkene som blir laget ved automatisk søk ikke er lovlige. Dette har sammenheng med at TPO i automatisk modus planlegger med sammensatte passreiser og behandler disse under ett uten å ta hensyn til at forskjellige typer passreiser har forskjellig innvirkning på beregning av dagsverkets lengde. Konkret bruker TPO reglene for passreiser med persontog for de sammensatte passreisene. Siden en passreise med persontog på slutten av et dagsverk ikke teller inn i dagsverkets lengde, genererer TPO mange dagsverk som avsluttes med passreise. Når brukeren validerer de genererte dagsverkene blir passreisene delt opp i sine respektive deler og systemet ”oppdager” at en del av dagsverkene blir for lange fordi de inneholder passreiser på godstog. Nøyaktig hvilken konsekvens dette har for de planene som genereres er vanskelig å si. I noen tilfeller blir nok planene bedre enn de skulle ha vært siden TPO overser en begrensning. I andre tilfeller finnes det alternative passreiser som kan benyttes uten at planene blir dårligere, og resultatet ville derfor ikke blitt dårligere hvis systemet hadde tatt hensyn til begrensingen.

Valideringen har to konsekvenser til som må betraktes som feil i programvaren. For det første fjernes enkelte sammensatte passreiser helt. TPO melder dermed om at det ikke finnes passreiser som passer og det blir laget fiktive passreiser. Fra mine observasjoner ser det ut som om det er sammensatte passreiser mellom Oslo og Alnabru som forsvinner. Videre fjernes alle opphold på utestasjon. Dette fører til at for eksempel dobbeltturer blir slått sammen til et dagsverk, med resultat at dagsverket blir for langt. Disse feilene påvirker ikke planene verken i god eller dårlig retning under selve genereringen, men de fører til at planene må rettes opp manuelt etter validering.

En mer kuriøs ting er at TPO lager dobbeltturer som starter med en passreise til en utestasjon en kveld for så å fortsette med en passreise tilbake neste dag. Etter denne passreisen starter arbeidsoppgavene på stasjoneringssstedet. Det betyr at passreisen frem og tilbake til utestasjonen er helt unødvendig. Jeg har ikke lyktes i å finne noen fornuftig forklaring på hvorfor dette gjøres, men det er klart at det er kostander knyttet til slik unødvendig passreising slik at planene blir dårligere.

I noen dagsverk legges det inn noe som kalles ”constraint reserve”. Verken fra manualen til TPO eller fra noen i TPO-prosjektet har det vært mulig å finne ut hva dette betyr og hvorfor det legges inn. Det er følgelig også vanskelig å si noe om innvirkningen på genereringen av planer.

Problemer med statistikkfunksjon og rapporter

TPO inneholder en rapportfunksjon som er definert etter spesifikasjon fra NSB. Av de rapportene jeg har brukt har jeg oppdaget en feil ved rapporten ”*Fordeling på*

aktivitetstyper". Denne rapporten oppgir tall for forskjellige typer passreiser. Disse tallene angir ikke varighet på passreiser som er del av sammensatte passreiser. Resultatet er at varigheten på passreiser ikke blir riktig før en har brukt funksjonen "*Utvid passreiser*" eller har validert dagsverket. Siden jeg hver gang foretar validering av dagsverkene og jeg ikke har funnet flere feil i rapporten antar jeg at rapporteringsfeil ikke påvirker resultatene mine.

8.2.4. OPPSUMMERING

Planen produsert i automatisk modus er klart dårligere enn produksjonsplanen. Dette har sammenheng med flere faktorer. Først og fremst går dette på mangler i programvaren. Videre kan det ha sammenheng med parametersettingene i TPO og til slutt med tilretteleggingen av dataene. Ut fra de forsøkene jeg har gjort er det ikke mulig å si hvor store forbedringer som kan oppnås ved forbedringer/endringer i de forskjellige faktorene, men jeg er av den oppfatningen at en ved å rette opp feil og mangler i programvaren vil få et betydelig bedre resultat.

9. KONKLUSJON

Undersøkelser gjort av Watson (2000) viser et stort potensiale for bruk av optimeringsbaserte beslutningsstøtteverktøy innen jernbanesektoren. Sammenlignet med andre sektorer innen kollektivtrafikken ligger jernbanesektoren et godt stykke etter i bruk av moderne IT-støtte. Dette har jeg selv også erfart gjennom arbeidet med denne oppgaven.

Jeg har i denne oppgaven vurdert tre forskjellige optimeringsbaserte personalplanleggingssystemer ut fra publisert litteratur om dem. Artikkene er skrevet av de som står bak systemene og må dermed vurderes i lys av dette. Det er følgelig vanskelig å trekke klare konklusjoner i forhold til hvilket system som er best, dette er selvfølgelig også vanskelig å gjøre uten å teste dem. Ingen av de tre systemene garanterer optimale løsninger og de har alle styrker og svakheter. Mens CREWS/TPO i sin oppbygging er lett å tilpasse til for eksempel nye regler og dermed lettere kan brukes til kontinuerlig produksjon uten omskriving av programvaren, er potensialet til i fremtiden å oppnå optimale løsninger størst med TURNI og ALPI. Dette krever en videre utvikling av maskinvare og datakraft.

Basert på de praktiske forsøkene jeg har gjort i denne oppgaven er konklusjonen at de planene som TPO generer ved automatisk søk er langt dårligere enn de planene som lages manuelt. Når en bruker en automatisk funksjon som den i TPO vil det være naturlig å bearbeide planene før de tas i bruk. De planene som jeg har laget ved hjelp av TPO er såpass mye dårligere at de ikke egner seg som utgangspunkt for slik bearbeiding, og de har dermed ingen verdi i planleggingsprosessen. Det er min oppfatning at de dårlige planene i all hovedsak har sammenheng med mangler i programvaren som går ut på at det ikke lages delte dagsverk og at programmet ikke har mulighet til å dele opp tilsyn.

Den automatiske funksjonen tar utgangspunkt i en A*-algoritme med tillegg av strålesøk. Med utgangspunkt i søkestrategiene oppfører A*-algoritmen seg som et grådighetsøk der det som ser best ut i øyeblikket forfølges. Kombinert med strålesøket som begrenser søkerommet fører dette til at mange mulige løsninger blir forkastet. Dette kan være løsninger som på det tidspunktet den blir evaluert fremstår som dårligere enn andre, men som ville ført til bedre endelig løsning. Særlig vil det være slik at de først planlagte dagsverkene er best mens de siste er dårligst. Dette kan føre til at en for eksempel med å bytte om arbeidsoppgaver mellom to dagsverk kan få et dårligere første dagsverk, et bedre andre dagsverk og en bedre totalløsning. Dette har som nevnt med den grunnleggende oppbyggingen av programmet å gjøre, men det burde være mulig å legge til en modul som har som prøver å forbedre dagsverkene etter at en løsning er konstruert. Dette kan være en søkealgoritme som går gjennom de konstruerte dagsverkene og sammenligner disse for å se om det er mulig å foreta innbyrdes bytting av oppgaver for å oppnå en bedre totalløsning.

Ved presentasjonen av produksjonsplanen viste jeg at den inneholdt en del dagsverk med regelbrudd. Dette er regelbrudd som er lagt inn med vilje for å oppnå en bedre plan. For eksempel har en satset på å få dispensasjon fra arbeidstidsreglementet når det har vært snakk om små brudd på dette. Ved bruk av TPO i automatisk modus faller mulighetene til å velge slike brudd bort, noe som fører til at automatisk genererte planer i enkelte tilfeller vil bli dårligere enn de manuelle.

I automatisk modus i TPO er det flere parametre som er forutsatt å påvirke resultatet. I denne oppgaven har parameterinnstillingene gitt små og i noen tilfeller uventede utslag på resultatene.

Hvordan dataene organiseres i forkant av den automatiske planleggingen har innvirkning på resultatene. Jeg kan derfor ikke utelukke at resultatet i mine planlegginger kunne blitt bedre ved en annen organisering av dataene, men basert på arbeidet som er gjort i denne oppgaven er det ikke mulig å angi hvordan dette skulle vært gjort.

Størrelsen på søketreet har ingen klar betydning. Jeg har sett at resultatet i et søk blir dårligere når søketreet utvides istedenfor bedre slik jeg forventet. Dette har sammenheng med strålesøkets måte å begrense søketreet.

Basert på de forsøk jeg har gjort er det vanskelig å anslå hvilket potensial den automatiske funksjonen i TPO har. Dette har i all hovedsak sammenheng med at jeg anser de feil og mangler jeg har påpekt som så store at de påvirker resultatene i vesentlig negativ retning. I forhold til tidsbruk ved planlegging er det helt klart mye å hente ved bruk av automatisk modus i TPO i forhold til manuell planlegging, men dette krever at planene som lages blir vesentlig bedre enn de jeg har generert.

10. FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

I denne oppgaven har jeg konkludert med at dagens versjon av TPO ikke egner seg til å generere personalplaner ved hjelp av automatisk modus. Denne konklusjonen må selvfølgelig sees i sammenheng med diskusjonen rundt feil og mangler i selve programvaren, usikkerhet rundt datasett og sammenligningsgrunnlag samt parametersettingen.

Som tidligere nevnt antar jeg at resultatet fra planlegging i automatiske modus vil bli betydelig bedre hvis de feil og mangler jeg har påpekt rettes opp. Hvor gode resultatene kan bli er det derimot vanskelig å si. Det vil derfor være interessant å gjennomføre nye tester etter en endring av programmet.

Siden jeg antar at endringer i programvaren vil gi betydelige forbedringer antar jeg at resultatet vil ligge i nærheten av de planene som i dag lages manuelt. Det vil derfor være viktig å finne et mer presist sammenligningsgrunnlag enn det jeg har brukt, slik at feilmarginene blir mindre og vurderingen av resultatene kan bli mer nøyaktig. En bør derfor forsøke å unngå mye manuell bearbeiding av datamaterialet da dette lett kan føre til feil. Det er mulig det vil være vanskelig å etablere et slikt sammenligningsgrunnlag så lenge personalplanene legges manuelt. Dette på grunn av måten de lages på. En bør da vente til TPOs manuelle modus har blitt benyttet til en fullstendig planlegging av en ruteplan.

I et nytt forsøk bør en legge til rette for systematiske forsøk for å teste hvilken effekt tilrettelegging av dataene har på resultatet. Det vil også være interessant å gjøre flere undersøkelser på hvilke sammenhenger det er mellom de forskjellige innstillingene på parameterene.

Videre ville det være interessant å teste den automatiske modusen i TPO og for eksempel TURNI på det samme datasettet. Ved å sammenligne resultatene fra en slik planlegging vil det være mulig å si noe om TPOs styrke i forhold til andre optimeringsteknologier. En kan da også få testet påstandene til Kroon og Fischetti (2000) om at CREWS som TPO er bygd på ikke lager gode nok planer.

Planenes robusthet er et tema som ikke har vært berørt i vesentlig grad i denne oppgaven, men som er en viktig del av vurderingen av en plan. Det ville derfor være interessant å undersøke hvilke muligheter TPO har for vurdering av dette, både i forhold til hva TPO selv kan gjøre og hva en ved hjelp av resultatene fra TPO kan gjøre.

LITTERATURLISTE

- Bisiani, R. (1992): "Search, Beam". I Shapiro, Stuart C. (red.) *Encyclopedia of artificial intelligence*, 2. utg., bind 2, 1467-1468, Wiley, New York, USA
- Caprara, A., Fischetti, M., Guida, P. L., Toth, P., Vigo, D. (1999): "Solution of Large-Scale Railway Crew Planning Problems: the Italian Experience". I Wilson, N.H.M (red.) *Computer-Aided Transit Scheduling, Lecture notes in economics and mathematical systems*, Vol. 471, 1-18, Springer, Berlin, Tyskland
- Cordeau, J-F., Toth, P., og Vigo, D. (1998): "A survey of Optimization Models for Train Routing and Scheduling". I *Transport Science* 32, 380 - 404
- Encyclopædia Britannica (2001): *British Railways*,
<http://www.britannica.com/eb/article?eu=16770&tocid=0>, Aksessert: 10.06.2001
- Hiller, F.S. og Lieberman, G.J. (2001): *Introduction to operations research*. McGraw-Hill, Boston, USA
- Jernbaneverket (2000): *Årsmelding 1999*
- Jörnsten, K., Storøy, S. og Wallace, S. W. (1999): *Operasjonsanalyse*, Cappelen Akademisk Forlag, Oslo, Norge
- Kroon, L. og Fischetti, M. (2000): *Crew Scheduling for Neterlands Railways "Destination: Customer"*. Arbeid utført for NS Reizgers jernbanedrift i Nederland.
- Morgado, E. M. og Martins, J. P. (1992): "Scheduling and Managing Crew in the Portuguese Railways". I *Expert systems with applications*, Vol. 5, Nr. 3-4, 301-321
- Morgado, E.M. and Martins, J.P. (1996): "Managing Change in Scheduling Data". I *Computers in Railways V - Vol.1 Railway Systems and Management*, Computational Mechanics Publications, Southampton, UK
- Morgado, E. M. og Martins, J. P. (1998): "Crews_NS, Scheduling Train Crews in The Netherlands". I *AI Magazine*, Vol. 19, Nr. 1, 25-38
- Nordlid, H.D. (2000): *Bruk av optimering og simulering i kostnadsanalyse og risikostyring for NSB*. Hovedoppgave, IØT, NTNU
- NSB (1996): *Kravspesifikasjon - IT løsning for Turnusplanlegging, Personelldisponering og Oppgjør (TPO)*
- NSB (1997): *Kost- nytte analyse for TPO-Prosjektet*. Internt dokument NSB
- NSB (1998a): *Jernbanen i Norge 1840-1998*. Brosjyre utgitt av NSB
- NSB (1998b): *Særavtale om arbeidstiden for lokomotivpersonalet i NSB BA*. Avtale om arbeidstid inngått mellom NSB BA og Norsk Lokomotivmannsforbund
- NSB (2001a): *NSB BA Årsrapport 2000*, <http://www.nsb.no/aarsrapport2000/>, Aksessert: 27.06.2001.

- NSB (2001b): *Om Drift og teknikk*,
http://138.62.100.32/dt/om_drift_og_teknikk/article.jhtml?articleID=301460, Aksessert: 06.07.2001
- NSB (2001c): *Velkommen til TPO*, <http://138.62.100.9/tpo3/tpo/Side%204/Default.htm>, Aksessert: 06.07.2001
- Raphael, B. (1992): "A* Algorithm". I Shapiro, Stuart C. (red.) *Encyclopedia of artificial intelligence*, 2. utg, bind 1, 1-2. Wiley, New York, USA
- Rardin, R.L., (1998): *Optimizaion In Operations Research*. Prentice Hall, Upper Saddle River , USA
- Watson, R. (2000): "Prospects for computer aided railway scheduling: Perspectives from users and parallels from mass transit". I *Transportation planning and technology*, Vol. 23, Nr. 4, 303-321
- Wren, A. og Rousseau, J.M. (1995): Bus driver scheduling – an overview. I *Lecture notes in economics and mathematical systems*, 430, 173-188, Springer, Berlin, Tyskland
- SISCOG (2000): *TPO About the Search Strategies Technical Manual*. Dokument versjon 1.1 of 2000/07/14 Software version 1-1-1
- SISCOG (2001): *TPO Scheduler User Manual*. Dokument version 4.1 of 2001/03/23 Software version 1.2.0
- Stout, B. (1997): *Smart Moves: Intelligent Pathfinding*,
<http://www.gamasutra.com/features/19970801/pathfinding.htm>, Aksessert: 03.07.2001.
- Stølan, A., Sæbø, H.J., Sætermo, I-A.F., Tomasgard, A.(2000): *Planleggingspraksis i NSB*. SINTEF-Rapport STF38 F00610
- Sætermo, I-A.F. og Tomasgard, A.(2000): *NSB Drift og teknikk – forslag til endringer i planprosessen*. SINTEF-Rapport STF38 F01616.
- Williams, H.P. (1993): *Model Building in Mathematical Programming*, 3.utg. John Wiley & Sons, Chichester, England
- Aamodt, A. (2000): *Kunstig intelligens (MNFIT-272)*. Forelesningsnotater, IDI, NTNU, Trondheim, <http://www.ifi.ntnu.no/~agnar/it272/f2/f2-h00.pdf>,
<http://www.ifi.ntnu.no/~agnar/it272/f3/f3.pdf>, Aksessert: 05.06.2001
- EU-direktiv:
- Rådets direktiv 91/440/EOEF af 29. juli 1991 om utvikling af Faellesskabets jernbaner.
- Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2001/12/EF af 26. februar 2001 om ændring af Rådets direktiv 91/440/EØF om udvikling af Fællesskabets jernbaner.
- Rådets direktiv 95/18/EF af 19. juni 1995 om udstedelse af licenser til jernbanevirksomheder.

Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2001/13/EF af 26. februar 2001 om ændring af Rådets direktiv 95/18/EF om udstedelse af licenser til jernbanevirksomheder.

Rådets direktiv 95/19/EF af 19. juni 1995 om tildeling af jernbaneinfrastrukturkapacitet og opkrævning af infrastrukturafgifter.

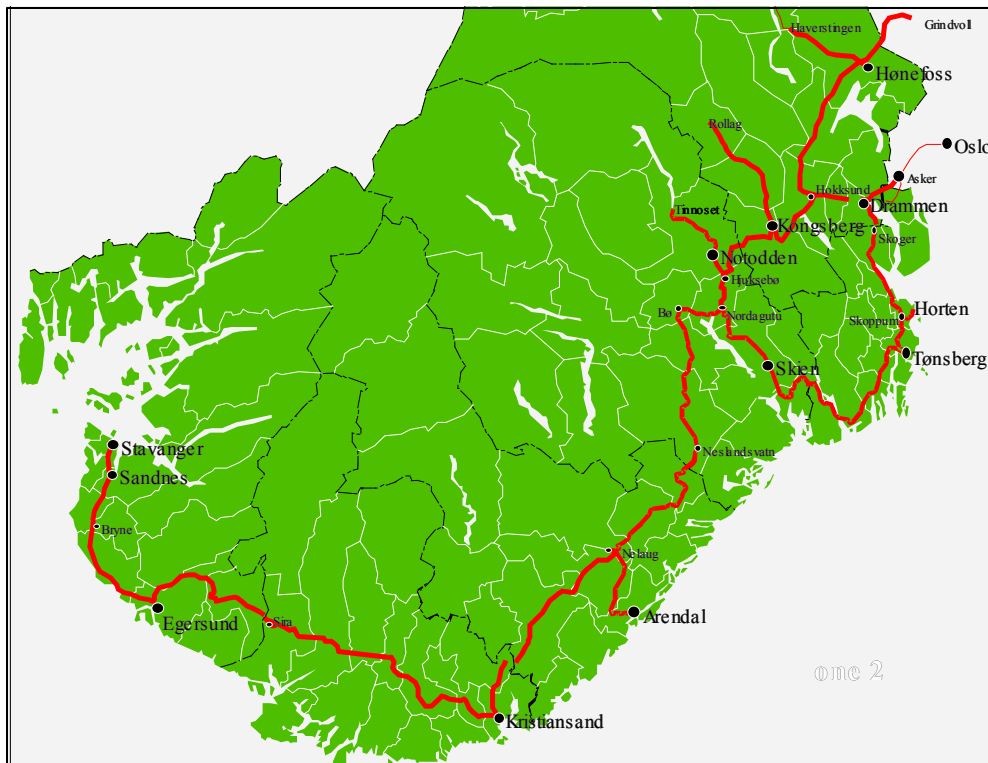
Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2001/14/EF af 26. februar 2001 om tildeling af jernbaneinfrastrukturkapacitet og opkrævning af afgifter for brug af jernbaneinfrastruktur samt sikkerhedscertificering.

VEDLEGG A: KART

Figur A viser jernbanenettet i Sør-Norge. I denne oppgaven har jeg konsentrert meg om Sørlandsbanen som er å forstå som strekningen Stavanger – Kristiansand – Kongsberg – Oslo.

I oppgaven omtales noen stasjoner som ikke fremkommer på dette kartet. Deres plassering er som følger:

- Langemyr: rett på utsiden av Kristiansand.
- Sundland: rett på utsiden av Drammen
- Alnabru: rett på utsiden av Oslo
- Alna: mellom Oslo og Alnabru
- Fillipstad: rett ved Oslo



Figur A: Jernbanenettet – Region sør (Kilde: Jernbaneverket Region Sør)

VEDLEGG B: UTREGNING AV PERSONALKOSTNADER

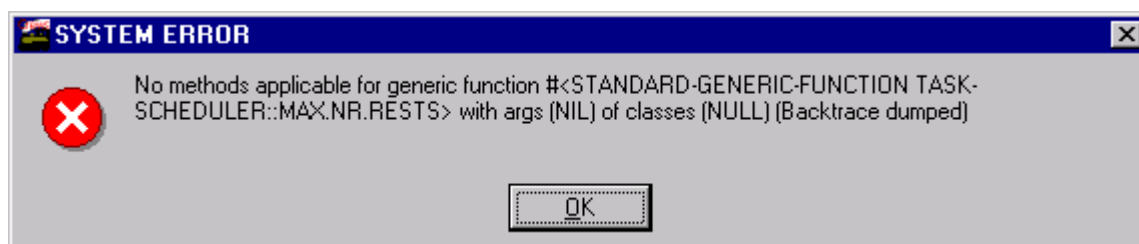
I personalkostnadene inngår lønn og godtgjøring for følgende:

- Antall tjenestetimer
- Kjørte kilometer
- Søndagstillegg
- Tillegg for delt dagsverk
- Nattillegg
- Skumringstillegg
- Opphold på utestasjon
- Diett for opphold i Norge over 12 timer uten overnatting
- Diett for opphold i Norge over 12 timer med overnatting

Satsene som er brukt i utregningene har jeg fått opplyst av NSB.

VEDLEGG C: SYSTEMFEIL

Etter en oppdatering av programvaren har feilmeldingen som vist i figur C dukket opp flere ganger.



Figur C: Feilmelding