



Vagtplanlægning for sygeplejersker - et kombinatorisk optimeringsproblem

Henrik T. Poulsen

Kandidatafhandling ved Datalogisk Institut 2004

Technical Report no. 2004/12

ISSN: 0107-8283

Resumé

Der udarbejdes en 3-fase model til generering af vagtplaner for sygeplejersker. Modellen foretager apriori generering af samtlige lovlige 1-uges planer og benytter dem til at løse et 1-uges set covering problem. Løsningen til set covering problemet angiver hvilke 1-uges planer der skal indgå i vagtplanen. Disse 1-uges planer byttes rundt med en metaheuristik. Metaheuristikkerne tabu søgning og simuleret udglødning blev afprøvet og til dette formål blev de bedste vagtplaner genereret med simuleret udglødning. De løste vagtplanlægningsproblemer stammer fra en af tre hospitalsafdelinger som er blevet interviewet om deres krav til en vagtplan. Disse krav er beskrevet, såvel formelt som uformelt. Den udviklede metode viste sig i stand til at generere gode lovlige vagtplaner indefor ganske kort tid.

Indhold

1	Indledning	4
2	Introduktion til vagtplanlægning	6
2.1	Personalet	6
2.2	Vagttyper	7
2.3	Bemandingskrav	7
2.4	Kontraktlige forhold	7
2.5	Overenskomst	8
2.6	Fridage	9
2.7	En god vagtplan	10
3	Vagtplaner på en Anæstesi- og operationsklinik	12
3.1	Personalet	12
3.2	Vagtplanen	12
3.3	Vagttyper, bemandingskrav og norm-timer	13
3.4	Fridage	14
3.5	Øvrige regler for vagtplanen	15
3.6	En god vagtplan	15
3.7	Afgrænsning	19
3.8	Formel definition for Anæstesi- og operationsklinikken	20
4	Vagtplaner på en Obstetrisk klinik	29
4.1	Personalet	29
4.2	Vagttyperne	29
4.3	Hviletidsregler	30
4.4	Vagtkombinationer	31
4.5	Vagtplanen	31
4.6	En god vagtplan	32
4.7	Formel definition for Obstetrisk Klinik, RH	34
5	Vagtplaner på en gynækologisk og obstetrisk operationsafdeling	42
5.1	Personalet	42
5.2	Vagttyperne	42
5.3	Hviletid	44

5.4	Fridage	44
5.5	Vagtplanen	44
5.6	En god vagtplan	45
5.7	Formel definition for Afd. D, OUH	47
6	En fælles model	55
7	Hvad har andre gjort ?	57
7.1	Ikke-cykliske vagtplaner	58
8	Hvordan løses problemet her ?	60
8.1	Fase 1: Generering af 1-uges planer	61
8.2	Fase 2: Løsning af 1-uges set-covering problemet	63
8.3	Fastsættelse af constraints	65
8.4	Fase 3: Løsning af 14-ugers problemet	66
8.4.1	Objektfunktionen	67
8.5	Tilføjelse af constraints	69
9	Metaheuristikker	71
9.1	Lokalsøgning	71
9.2	Tabu søgning	72
9.2.1	Tabu listen	72
9.2.2	Aspirationskriterie	73
9.2.3	Afveksling	73
9.3	Simuleret udglødning	74
9.4	Nabolag	75
10	Datasæt	77
10.1	Bemandingskrav	77
10.2	Disponibelt mandskab	78
11	Eksperimentiel afprøvning	80
11.1	Nabolag	81
11.2	Konfigurering af tabu søgning	81
11.3	Konfigurering af simuleret udglødning	84
12	Kvaliteten af vagtplanerne	88
13	Konklusion	91
A	Tabu søgning - Eksperimentielle resultater	92
B	Simuleret udglødning - Eksperimentielle resultater	95
C	Testresultater	102
D	Eksempel på en vagtplan	112

Kapitel 1

Indledning

I vores informations teknologiske tidsalder kan det være temmelig svært at forestille sig, at der stadig findes virksomheder, der benytter sig af manuelt arbejde til avancerede og tidskrævende opgaver såsom at udarbejde vagtplaner. Ikke desto mindre forholder det sig således, at langt størsteparten af afdelingerne i det danske hospitalsvæsen gennemsnitligt bruger 3-4 arbejdsdage om måneden til at udfærdige en mandskabsplan for en afdeling med 15-20 ansatte.

En årsag til, at brugen af informations teknologi endnu ikke har vundet indpas på dette område, er sandsynligvis opgavens komplekse natur, hvilket gør det problematisk at automatisere genereringen af vagtplaner. Operationsanalytisk er generering af vagtplaner et velkendt fænomen, men med vagtplaner til sygeplejersker forholder det sig noget anderledes, end det gør med de fleste andre vagtplanlægningsproblemer. Det er ansættelsesforholdene på hospitaler, der adskiller sig markant fra andre institutioner eller virksomheders ansættelsesforhold. Vagtplanlægningsproblemer beskrives som oftest i litteraturen som omhandlende personale med et timeantal, der kan varieres alt efter antallet af ansatte, der på det givne tidspunkt er behov for i virksomheden. Som en konsekvens heraf er det resultat, som man oftest kommer frem til en løsningsmodel, der minimerer de samlede lønudgifter, som igen opnåes ved at benytte et minimalt antal ansatte. Denne anskuelse af problemstillingen medfører normalt, at kvaliteten af en vagtplan alene måles ud fra størrelsen af de samlede lønudgifter. Således forholder det sig ikke på hospitalerne, hvor der findes et konstant antal medarbejdere, som alle kontraktmæssigt er forpligtet til at arbejde et bestemt antal timer. Personalet er med andre ord fastansatte og har krav på deres faste månedlige hyre, uanset hvilke vagtplaner der benyttes. Endvidere tilgodeser man traditionelt en lang række regler for sammensætningen af vagter for de enkelte medarbejdere det drejer sig dels om overenskomstmæssige regler og dels om personlige individuelle hensyn. Kvaliteten af en vagtplan på et hospital vurderes derfor ofte efter, hvor høj grad af tilfredshed en given vagtplan har for medarbejderne.

En økonomisk gevinst kan opnås hvis generering af vagtplaner automatiseres, idet vagtplanlæggeren derved får reduceret tidsforbruget væsentligt og dermed

får frigjort arbejdstid til andre opgaver. Det kunne for eksempel dreje sig om mere tid til patienterne. Desuden kan det tænkes, at de ansatte vil opfatte en automatisk generering af vagtplaner som værende mere upartisk end ved en manuel udarbejdelse af vagtplaner. Måske det kan være medvirkende til et bedre arbejdsmiljø.

Formålet med dette speciale er kort og godt at undersøge hvorledes vagtplaner i dag udarbejdes på danske hospitalsafdelinger og efterfølgende at beskrive og implementere en løsningsmetode til automatiseret generering af vagtplaner. Dette arbejde indebærer en dybdegående analyse af de krav der stilles til en vagtplan på danske hospitalsafdelinger - det vil dels sige de krav som skal være opfyldt for at en vagtplan kan benyttes samt de kriterier der benyttes når det skal afgøres om en vagtplan blot er brugbar eller god.

Undersøgelsen af hvorledes vagtplaner udarbejdes på hospitalsafdelinger, er foretaget ved at interviewe en lang række vagtplanlæggere på danske hospitalsafdelinger. Af disse interviews er tre afdelinger med vidt forskellige typer af vagtplaner blevet udvalgt til nærmere analyse. Det drejer sig om Anæstesi- og operationsklinikken (Rigshospitalet), Obstetrisk klinik(Rigshospitalet) og Obstetrisk og gynækologisk operationsafdeling (Odense Universitets Hospital). Disse tre afdelinger og deres kriterier for udarbejdelsen af vagtplaner er hver i sær beskrevet i kapitel 3, 4 og 5. Derefter findes i kapitel 6 en beskrivelse af problemets sværhedsgrad og de problemer som det afstedkommer - ved manuel løsning af problemet såvel som ved udarbejdelsen af et automatiseret værktøj til generering af vagtplaner. I kapitel 7 ses nærmere på hvorledes andre har løst lignende problemer. Herefter følger i kapitel 8 og 9 en beskrivelse af den løsningsmetode som her er anvendt ved løsningen af vagtplanlægningsproblemet, samt en indføring i tabu søgning og simuleret udglødning som er de to metaheuristikker der er anvendt. Slutteligt ses nærmere på det eksperimentielle arbejde der er udført for at nå frem til et bud på hvordan et automatiseret værktøj til generering af vagtplaner kan se ud.

Indledningsvis beskrives der i det følgende kapitel indholdet af en typisk vagtplan, således at de basale begreber vedrørende vagtplaner introduceres og de normale overvejelser som skal gøres ved udarbejdelsen af en vagtplan præsenteres.

Kapitel 2

Introduktion til vagtplanlægning

En vagtplan kan benyttes på en arbejdsplads til angivelse af hvem der skal arbejde hvornår. Herved kan de ansatte, for hver dag i planlægningsperioden, se hvornår de skal begynde og afslutte deres arbejdsdag. Anvendeligheden af en sådan plan er selvsagt størst på arbejdspladser hvor der, alt efter tidspunktet på døgnet, er forskellige krav til fremmøde og flere forskellige muligheder for mødetider. Det er netop hvad der er tilfældet på de fleste hospitalsafdelinger, hvor der ofte er krav om bemanning af personale med særlige kvalifikationer på bestemte tidspunkter af døgnet. I det følgende vil det typiske indhold af en vagtplan for sygeplejersker blive gennemgået, således at det vil fremgå at det kan være en kompliceret process at udarbejde en brugbar vagtplan.

2.1 Personalet

På en hospitalsafdeling er det typisk afdelingssygeplejersken eller en oversygeplejerske der udarbejder vagtplaner for personalet. Her kan personalet blandt andet bestå af sygeplejersker, sygehjælpere og social og sundhedsassistenter. Andre faggrupper benytter ligeledes vagtplaner, så som nogle læger, portører og sekretærer, men i det følgende er der fokuseret på sygeplejersker og lignende (dvs. også sygehjælpere og social og sundhedsassistenter).

Nogle afdelinger inddeler personalet i kategorier, som eksempelvis på Kardiologisk afdeling C2, Amagerhospital [5], hvor der skelnes mellem de der har en Kardiologisk efteruddannelse og de der ikke har. Ligeledes kan der skelnes mellem erfaringsniveauer, fuldtids ansatter eller deltidsansatte osv. De afdelinger der har et behov for at opdele personalet i kategorier tilknytter typisk en række krav til disse kategorier. Det kunne være krav om at de tilstedeværende, på tidspunkter med spidsbelastning, maksimalt må bestå af 1/3 med lavt erfaringsniveau eller f.eks. som på Anæstesi- og operationsklinikken, Rigshospitalet [6], hvor hver af de ansatte er tilknyttet et af afdelingens tre fagområder og

til de fleste tider af døgnet findes der et minimumskrav om tilstedeværelse af repræsentater fra hvert fagområde.

2.2 Vagttyper

Behovet for vagtplaner opstår typisk ved arbejdspladser hvor dagene kræver bemanning i flere timer end en enkelt medarbejder kan håndtere, f.eks. ved døgnbemanning. Derfor opdeles døgnet normalt i en række perioder som hver i sær udgør en vagttype. Det kunne f.eks. være som på Obstetrisk Klinik, Rigshospitalet [7], hvor hver af ugens 7 døgn er inddelt i tre ikke-overlappende vagttyper af 8 timers varighed: en dagvagt (kl. 08:00-16:00), en aftenvagt (kl. 16:00-24:00) og en nattevagt (kl. 00:00-08:00). Andre afdelinger ønsker ikke hele personalet skiftet ud ved vagtskifte og har derfor f.eks. flere overlappende dagvagter. Det gælder eksempelvis Øre-Næse-Halsklinikken, Rigshospitalet [8], som har en dagvagt fra kl. 07:00-15:00 og en dagvagt fra kl. 08:00-16:00. Antallet af vagttyper kan variere, hvor der på afdelinger med døgnbemanning typisk ses omkring 3 vagttyper i døgnet, men det er ikke uanmeldigt, at der som på Obstetrisk og gynækologisk operationsafdeling, Odense Universitets Hospital, [9], kan forekomme op til 11 vagttyper i døgnet.

Længden af en vagttype kan enten opgøres i arbejds-timer eller i norm-timer, det er norm-timerne der er afgørende rent lønmæssigt og arbejds-timerne der er afgørende for om to vagter overlapper. Eksempel: en nattevagt fra kl. 24:00-08:00 har 8 arbejds-timer og kunne som compensation for vagtens placering på døgnet f.eks. blive aflønnet som var der blevet arbejdet 10 timer, dvs. 10 norm-timer.

2.3 Bemandingskrav

De fleste afdelinger har perioder af døgnet eller dage om ugen, hvor der er større behov for mandskab end andre. Det afspejler sig i vagtplanen ved at der kan være forskellige bemandingskrav til hver vagttype. De fleste afdelinger tillader overbemanning af nogle vagttyper og kræver præcis bemanning af andre vagttyper. F.eks. tillades overbemanning ved dagvagter på Rigshospitalets Obstetrisk klinik [7], mens aften- og nattevagter er uønsket af personalet hvorfor overbemanning ikke tillades ved disse vagter.

2.4 Kontraktlige forhold

Alle ansatte med en ansættelseskontrakt har i kontrakten angivet det antal timer der skal arbejdes ugenligt, hvor der med timer menes norm-timer. Men som det ses af afsnit 2.2, kan det forekomme, at der kun arbejdes med vagter af 8 timers varighed, hvorfor det er problematisk, for ikke at sige umuligt at arbejde 37 timer på en uge. Derfor opgøres antallet af norm-timer over en længere periode, således at det antal timer som de ansatte kontraktligt er forpligtiget til

at arbejde (også kaldet timetallet) blot er et gennemsnit. Herved vil en der er ansat med et ugentligt timetal på 37, først over en 8 ugers periode kunne arbejde 37 timer gennemsnitligt ($37 \cdot x/8$ giver først et heltalligt resultat ved $x = 8$). Derfor kan der forekomme uger hvor der arbejdes mindre end timetallet og uger hvor der arbejdes mere.

For at sikre at de ansatte ikke risikerer at skulle arbejde væsentligt mere eller mindre end deres timetal i for lange perioder, indgås der en aftale for hver afdeling om hvor lang perioden som de ansattes gennemsnitlige timetal beregnes over, må være. Det kunne f.eks. være 14 uger som på Anæstesi- og operationsklinikken, Rigshospitalet [6], hvilket medfører at fuldtidsansatte efter en 14 ugers periode skal have bemandet vagter svarende til $14 \cdot 37 = 518$ timer. Dog accepteres en mindre afvigelse, for den nævnte afdelings vedkommende er den acceptable afvigelse ± 3 timer efter hver 14 ugers periode. En sådan afvigelse bliver normalt enten udbetalt eller timetallet for den efterfølgende periode bliver korrigeret med et antal timer svarende til afvigelsen.

I ansættelseskontrakten kan der, udover timetallet, være angivet andre forhold som skal tilgodeses i udarbejdelsen en vagtplan. Det kan f.eks. være som på Obstetrisk Klinik, Rigshospitalet [7], hvor der for 5 medarbejdere er indgået aftale om helt bestemte vagtmønstre. Eller det kunne være som på Skejby Sygehus hvor der ifølge [10] er sygeplejersker der kun er ansat til at bemande nattevagter.

2.5 Overenskomst

Sygeplejersker og andet hospitalspersonale er underlagt overenskomstmæssige aftaler som sikrer dem visse rettigheder i udførelsen af deres erhverv, heriblandt *Primæroverenskomsten* [2], *Arbejdstidsaftale for syge- og sundhedsplejersker* [1], *Bekendtgørelse af lov om arbejdsmiljø, LBK nr. 784 af 11/10/1999* [3] og *Søgnehelligdagsbestemmelser i de nye arbejdstidsaftaler* [4]. Flere af disse overenskomstmæssige aftaler benyttes af vagtplanlæggere i deres udarbejdelse af vagtplaner for at sikre de ansatte rimelige arbejdsforhold. Eksempelvis kan nævnes "Kapitel 9, Hvileperiode og fridøgn" i [3] hvor § 50 blandt andet angiver "*Arbejdstiden skal tilrettelægges således, at de ansatte får en hvileperiode på mindst 11 sammenhængende timer inden for hver periode på 24 timer...*". Dette kaldes normalt for 11-timers reglen og tolkes i vagtplanmæssig sammenhæng normalt til at der skal være minimum 11 timers hvile mellem hver vagt for en ansat. Dog kan der indgås en lokal aftale om nedsættelse af de 11 timer til 8 timer, men kun et vist antal gange i en bestemt periode.

De overenskomstmæssige krav kan med andre ord betragtes som regler der skal følges af vagtplanlæggeren når der udarbejdes en ny vagtplan. Men der er selvfølgelig ikke regler uden undtagelser, hvorfor der ikke er nogen garanti for at det er de samme overenskomstmæssige regler der vil gælde i enhver afdeling. Visse regler er der lovhjelm til at afdelingen lokalt kan ændre omfanget af og andre kunne man snildt forestille sig kunne omgås så længe alle afdelingens ansatte er indforstået heri. Det er ikke utænkeligt at mange regler brydes for at få udarbejdet en brugbar vagtplan, dog må man formode at de

fleste brud på regler fra ansættelseskontrakten eller overenskomsten bliver fundet af dem som bliver udsat for det. Måske først midt i en vagtplansperiode, når den ansatte står midt i en vagtkombination der har brudt en eller flere regler. Sådanne brud kan enten være forsættelige fra vagtplanlæggerens side, for at få udarbejdet en brugbar vagtplan, men ligeledes kan det være uforsætteligt - for eksempel forekommer det sandsynligt at der ved vagtplanlægningen for Anæstesi- og operationsklinikken, Rigshospitalet [6], uforsætteligt kan forekomme brud på regler, da planlægningen af vagter til 28 ansatte, 7 dage om ugen for en 14 ugers periode, forekommer som et uoverskueligt stort "puslespil" at skulle udarbejde manuelt. Et automatiseret system til vagtplanlægning vil kunne rette op på dette og anskueliggøre brudene når de opstår, hvilket kan medføre at vagtplaner som accepteres idag ikke nødvendigvis vil blive accepteret i fremtiden. Det kan på den ene side betyde en reducere af antallet af brugbare løsninger og kan dermed være medvirkende til at det kan blive vanskeligere at udarbejde en brugbar vagtplan - på den anden side kan det medføre at de ansatte, med et automatiseret system, vil få vagtplaner der overholder de regler som netop er udarbejdet for at tilgodese de dem.

2.6 Fridage

En vagtplan der for en medarbejder ikke kræver bemanning af vagter på et døgn, er en fridag - men en fridag er ikke bare en fridag. I det følgende vil der blive benyttet 3 forskellige måder til at markere en fridag på en vagtplan: Nul-dag (forkortes NL), Hvile dag (forkortes HD) og et Beskyttet fridøgn (BF). Det skal bemærkes at i denne forbindelse er en fridag og et fridøgn to ord for det sammen, nemlig at når en af de 3 fridags markeringer er placeret på en vagtplan kan der ikke påbegyndes vagter samme døgn.

Nul-dage

Det antal timer som en ansat er kontraktligt forpligtiget til at arbejde er, som nævnt i afsnit 2.4, et gennemsnit over en periode. Derfor kan der forekomme uger hvor der arbejdes mere og uger hvor der arbejdes mindre end den ansattes timetal. Som en beskyttelse for de deltidsansatte, er der afdelinger der benytter sig af begrebet Nul-dage, til eksempelvis at kræve at alle der er ansat med et timetal på 32 skal have tildelt en ugentlig Nul-dag. Herudover har deltidsansatte, fuldstændig som de fuldtidsansatte, ret til Hvile Dage og Beskyttede Fridøgn, beskrevet i det følgende.

Andre afdelinger benytter istedet for nul-dage en øvre grænse for hvor mange timer en deltidsansat må arbejde i løbet af en uge.

Hvile dag

De fleste afdelinger der benytter sig af nattevagter, benytter ligeledes en Hvile dag til at markere at døgnnet efter en nattevagt ikke må indeholde vagter.

Desuden kan der forekomme afdelinger hvor en hvile dag desuden benyttes til markering af afspadsring.

Beskyttet fridøgn

I følge arbejdstidsaftalen for sygeplejersker [1] (§ 20), har de ansatte krav på en ugentlig lang fridøgnperiode af 55 til 64 timers varighed. Dog kan fridøgnperioden opdeles i 2 korte fridøgnperioder på mindst 35 timer, dog 32 timer for afdelinger hvor hviletiden lokalt er aftalt nedsat til 8 timer. Til at markere disse fridøgnperioder på en vagtplan, benyttes i det følgende begrebet ”Beskyttet Fridøgn” (forkortet BF).

En lang fridøgnperiode svarer til at holde fri i weekenden, hvilket antages at de fleste ønsker. Derfor ønsker de fleste normalt disse beskyttede fridage placeret på netop lørdage og søndage, men for afdelinger der kræver bemanning i weekenderne er det ikke altid muligt, så et beskyttet fridøgn kan være placeret på andre dage end lørdage og søndage.

2.7 En god vagtplan

Det fremgår formentlig af de forrige afsnit at ikke to hospitalsafdelinger er helt ens med hensyn til vagtplanlægningen. Dels er der forskel på vagttyperne, bemandingskravene, kategoriseringen af personalet - og ikke mindst er der forskel på de regler som en afdeling anser for nødvendige at benytte i udarbejdelsen af en vagtplan. Set i det lys er det nok ikke overraskende at der ligeledes er forskel fra afdeling til afdeling, på hvad der karakteriserer en god vagtplan. De fleste afdelinger lader dog til at være enige om at et minimumskrav til en god vagtplan, er at bemandingskravene er overholdt, ligesom de ansattes timetal er overholdt. Desuden kræves normalt overenskomst-mæssige regler overholdt.

Herudover måles kvalitetsniveauet af en vagtplan ofte på antallet af *ufordelagtigheder* for de ansatte. Hvor en ufordelagtighed kunne være urimelig fordeling af upopulære vagter, eksempelvis nattevagterne. Normalt er nattevagterne de mindst populære vagter, hvorfor en vagtplan hvor alle nattevagter er tildelt enkelte medarbejdere mens resten af personalet får tildelt alle de populære vagter, ikke er en god vagtplan.

Et andet eksempel kunne være placering af vagter i weekenden, som ikke kan undgås i de afdelinger der har bemandingskrav i weekenderne. Derfor ønsker flere afdelinger at genere så få medarbejdere som muligt med arbejde i weekenden, men samtidig fordele weekendarbejde ligeligt mellem de ansatte. Dette opnåes normalt ved at udarbejde vagtplaner der indeholder vagter både lørdag og søndag til de medarbejdere der skal arbejde i weekenden - med andre ord forsøges det undgået at medarbejdere kun arbejder på en enkelt dag i weekenden. Ved at udarbejde vagtplaner der indeholder vagter både lørdag og søndag til de medarbejdere der skal arbejde i en weekend, opnås at så få medarbejdere bliver generet af weekendarbejde som muligt.

Generelt set kan de regler der ønskes overholdt ved udarbejdelsen af en vagtplan

opdeles i følgende typer regler:

- Regler udledt af overenskomsten
- Regler udledt af ansættelseskontrakterne
- Regler fastsat af afdelingen

hvor regler udledt af overenskomsten normalt drejer sig om 11-timers reglen, to beskyttede fridøgn pr. uge og maksimalt 6 arbejdsdage i træk. Reglerne udledt af ansættelseskontrakterne er typisk regler om overholdelse af de ansattes time-tal \pm en acceptabel afvigelse samt de ekstra aftaler som der kan være indgået mellem en ansat og afdelingen. Det kunne som tidligere nævnt f.eks. omhandle aftale om faste vagtmønstre. Regler fastsat af afdelingen er normalt regler der sikrer en minimumsbemanding der overholder afdelingens bemandingskrav til alle vagttyper, samt regler der sigter mod at skabe et fornuftigt arbejdsmiljø for de ansatte. Det kunne være regler som maksimalt arbejde hver anden weekend og f.eks. en regel om maksimalt tre nattevagter i træk.

Hvis man anskuer ovenstående regler fra et kombinatorisk optimeringssynspunkt, så vil reglerne fra overenskomsten og reglerne fra ansættelseskontrakterne typisk blive betragtet som hårde begrænsninger, hvor der med hårde begrænsninger menes regler som *skal* overholdes for at en lovlig løsning kan opnås. Af reglerne fastsat af afdelingen vil regler omhandlende bemandingskrav typisk være hårde begrænsninger, mens det kan variere fra afdeling til afdeling om de resterende regler betragtes som hårde eller bløde begrænsninger (hvor der med bløde begrænsninger menes regler der må brydes men med en omkostning)

For at afgøre om det er muligt at opstille en generel model der omfatter kravene til en vagtplan fra mere end en enkelt hospitalsafdeling, vil der i de følgende kapitler blive set nærmere på de krav som 3 hospitalsafdelinger stiller til en vagtplan. Informationerne er indhentet ved samtaler og korrespondence med hver af de ansvarlige for vagtplanlægningen på afdelingerne. De involverede afdelinger:

- Anæstesi- og operationsklinikken, Hoved Orto Centret, Rigshospitalet - Oversygeplejerske Ytte Hjert
- Obstetrisk klinik, Rigshospitalet - Oversygeplejerske Pernille Emmersen
- Obstetrisk og gynækologisk operationsafdeling, Odense Universitets Hospital - Oversygeplejerske Annette Storm

Kapitel 3

Vagtplaner på en Anæstesi- og operationsklinik

Anæstesi- og operationsklinikken, afsnit 4231, er en klinik på Rigshospitalet der yder operationsassistance og bedøvelse til følgende klinikker: Klinik for Plastikkirurgi og brandsårsbehandling, Ortopædkirurgisk klinik, Øjenklinikken og Øre-næse-halskirurgisk klinik. Desuden behandler de røg- og gasforgiftede patienter samt patienter med dykkersyge i trykkammer med hyperbar ilt.

3.1 Personalet

Personalet består af 1 afdelingssygeplejerske, 25 sygeplejersker (forkortes: sp) og 3 sygehjælpere (forkortes: shj). I det følgende ses dog bort fra afdelingssygeplejersken, da vedkommende altid har de samme arbejdstider.

18 af de ansatte er ansat på fuldtid, svarende til 37 timer om ugen og resten er ansat på deltid, til enten 32 eller 30,5 timer om ugen.

Klinikken dækker 3 forskellige fagområder, som i daglig tale kaldes for B(Blå), R(Rød) og G(Grøn). Alle de ansatte er tilknyttet et af disse fagområder, med undtagelse af de nyansatte, som tilhører kategorien H(Hvid).

3.2 Vagtplanen

Koordineringen af de ansattes arbejdstider foretages af afdelingssygeplejersken som hver 14. uge udarbejder en 14-ugers vagtplan. Afdelingen benytter en normperiode som svarer til vagtplanen, dvs. 14 uger. Derfor skal samtlige af de ansattes timetal stemme efter 14 uger dog accepteres en afvigelse på 3 timer. Det skal bemærkes at der ingen øvre grænse findes for antallet af timer en ansat må arbejde i løbet af en uge, blot de i det følgende skitserede regler overholdes. Det vil med andre ord sige at der kan forekomme uger hvor en deltidsansatte skal arbejde mere end en fuldtidsansat.

3.3 Vagttyper, bemandingskrav og norm-timer

Når de ansatte er på arbejde kaldes det ”at være på vagt”, hvor betegnelsen vagt dækker over et stykke arbejde der skal udføres på klinikken i et bestemt tidsrum. Tidsrummet for en vagt kan f.eks. være 7:30-15:15 (også kaldet en dagvagt) og i dette tidsrum findes et krav til en bestemt bemanning på klinikken. Dette bemandingskrav kan specificeres på forskellig vis, f.eks. som 2 ansatte hvoraf minimum 1 skal være en sygeplejerske eller 15 ansatte med minimum 1 ansat fra hver af de fire farvegrupper.

Da der er stor variation i bemandingskravet på klinikken, alt efter ugedagen og tidspunktet, er en uge opdelt i 10 forskellige vagttyper, hvoraf hverdagene er inddelt i en dagvagt (D), en lang dagvagt (L), en aftenvagt (A) og en nattevagt (N). Weekenden indeholder dog kun en enkelt vagttype.

En oversigt over vagttyperne findes i tabel 3.1.

Type	Ugedage	Tidsrum	Timer	Bemandingskrav
D_1	man-tor	07:30-15:15	7,75	$\geq 15^*$
D_2	fre	07:30-14:30	7	$\geq 12^*$
L_1	man,tir	07:30-16:30	9	=2 sp.
L_2	ons,tor	07:30-16:30	9	=2(min. 1 sp.)
L_3	fre	07:30-15:30	8	=2(min. 1 sp.)
A_1	man-tor	15:00-22:00	7	=1
A_2	fre	14:00-21:00	7	=1
N_1	man-tor	15:00-23:45(tilk. 23:45-07:30)	11,33	=2 sp.
N_2	fre	14:15-22:45(tilk. 22:45-07:30)	11,42	=2 sp.
N_3	lør	(tilk. 07:30-07:30)	14	=2 sp.
N_4	søn	(tilk. 07:30-07:30)	14	=2 sp.

Tabel 3.1: De 10 forskellige vagttyper for Anæstesi- og operationsklinikken, Rigshospitalet.(*) minimum 1 ansat fra hver af de 4 farvegrupper.

Bemærkninger til tabel 3.1:

Ugedage

Vagttyperne kan kun forekomme på de tilhørende ugedage, dvs. D_1 kan kun forekomme på en mandag, tirsdag, onsdag eller torsdag mens en L_2 kun kan forekomme på en onsdag eller torsdag.

Tidsrum og Timer

Kolonnen Timer angiver længden af en vagt i norm-timer. Bemærk vagterne N_1 , N_2 , N_3 og N_4 hvor der i vagtperioden indgår et tidsrum hvor den ansatte skal stå til rådighed for klinikken, en tilkaldeperiode. Denne tilkaldeperiode aflønnes med et tillæg, uanset om den ansatte bliver tilkaldt til klinikken eller ej. Derfor de ”skæve” norm-timer til nattevagterne, som derved ikke afspejler hele den periode som en ansat kan risikere at skulle arbejde.

Bemandingskrav

Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
D_1	D_1	D_1	D_1	D_2		
L_1	L_1	L_2	L_2	L_3		
A_1	A_1	A_1	A_1	A_2		
N_1	N_1	N_1	N_1	N_2	N_3	N_4

Tabel 3.2: De 10 forskellige vagttyper for Anæstesi- og operationsklinikken placeret på de ugedage de kan forekomme.

Bemandingskravene til D_1 og D_2 er minimumskrav, så overbemanding er tilladt. For de øvrige vagttyper skal bemandingskravet overholdes *præcist*. For vagttyperne D_1 og D_2 skal minimumsbemandingen overholdes samtidig med kravet om at minimum 1 person fra hver af de 4 farvegrupper skal være tilstede. Ved vagttyperne L_1, N_1, N_2, N_3 og N_4 tillades ingen sygehjælpere, kun sygeplejersker er tilladt. Bemærk endvidere at hvis intet er angivet, så er der intet krav til om vagten bemandes med sygeplejersker eller sygehjælpere.

For overskuelighedens skyld kan der i tabel 3.2 ses en oversigt over hvilke vagttyper der er tilladte på hver af ugens 7 dage.

3.4 Fridage

Klinikken benytter alle tre måder til at markere en fridag, som beskrevet i afsnit 2.6: Nul-dage, Hvile Dage og Beskyttede fridøgn

Nul-dag(NL)

Klinikken kræver at alle deltidsansatte i gennemsnit får tildelt et ugentligt fridøgn, uanset om den deltidsansatte er ansat til 30,5 eller 32 timer pr. uge. Dette fridøgn markeres som en nul-dag. For en vagtplan med en længde på 14 uger kræves det derved at alle deltidsansatte får tildelt 14 nul-dage - helst placeret med een pr. uge, men det accepteres nogle uger indeholder mere end een nul-dag. Herudover har deltidsansatte ret til Hvile Dage og Beskyttet Fridøgn, beskrevet i det følgende.

Hvile Dag(HD)

En nattavagt (N_1, N_2, N_3 og N_4) skal altid efterfølges af en hvile dag, dvs. en hvile dag skal placeres i det døgn hvor nattevagten ender. Eksempel: en vagtplan med en nattevagt fredag, dvs. N_2 der starter 14:15 og ender lørdag morgen kl. 07:30, *skal* indeholde en Hvile Dag for lørdagen. Herved er lørdagen markeret som hvileperiode og en ny vagt kan først påbegyndes om søndagen. Endvidere tillades det ikke at have en N_2 fredag og en N_4 søndag - selv om de to dage adskilles med en hvile dag.

En hvile dag benyttes desuden til markering af afspadsering.

Beskyttet Fridøgn(BF)

Da en nattevagt altid efterfølges af en Hvile dag, vil et Beskyttet fridøgn aldrig kunne efterfølge en nattevagt, hvorved placeringen af et Beskyttet Fridøgn sikrer den ansatte en fridøgnperiode på minimum 33,5 timer, hvilket overholder arbejdstidsaftalens krav om korte fridøgnperioder. Dette ses da den vagt der slutter senest på døgnet og som ikke er en nattevagt, er aftenvagten A_1 (afsluttes kl. 22:00) og den vagt der starter tidligst, starter kl. 07:30 (f.eks. D_1). Herved haves at en A_1 på dag 1, efterfulgt af en BF på dag 2, vil give en fridøgnperiode på $2 + 24 = 26$ timer, hvortil skal lægges perioden til 3. dagens tidligste vagt, f.eks. D_1 . I alt opnås en fridøgnperiode på $2 + 24 + 7,5 = 33,5$ timer. Heraf ses endvidere at arbejdstidsaftalens krav om lange fridøgnperioder ligeledes er overholdt, da to på hinanden følgende dage med BF'er minimum vil give en fridøgnperiode på $2 + 24 + 24 + 7,5 = 57,5$ timer.

For en 14-ugers vagtplan skal der derved placeres $2 \cdot 14 = 28$ BF'er pr. medarbejder, helst fordelt med 2 pr. uge. Det foretrækkes at placeringen af disse fridøgn sker på lørdage og søndage.

3.5 Øvrige regler for vagtplanen

Afdelingen har indgået en lokalaf tale om hviletiden, hvilket medfører at afslutningen af en vagt kun skal efterfølges af minimum 8 timers hvile. Dette krav medfører at en medarbejder maksimalt kan bemande en vagt i døgnet, hvilket illustreres i figur 3.1, hvor det ses at en vagt efterfulgt af 8 timers hvile (den stiplede kasse) ender hvor det ikke er muligt i samme døgn at begynde en ny vagt. Bemærk dog at samtlige vagttyper for illustrationens skyld er indtegnet i samme døgn, hvilket ikke er muligt i praksis, da f.eks. N_3 er den eneste vagttype lørdag og derfor ikke kan optræde sammen med blandt andre D_1 .

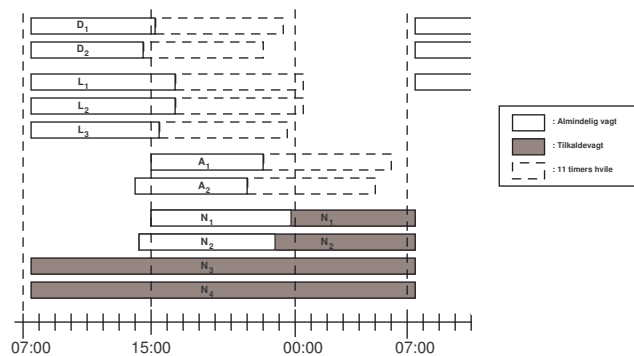
Afdelingen har sat et loft på antallet af tilladte arbejdsdage i træk til 5 dage, hvorefter der skal følge en ikke-arbejdsdag, dvs. enten en hvile dag, en nul-dag eller et beskyttet fridøgn.

Endvidere har afdelingen indført at der aldrig må forekomme to weekender i træk med vagter til den samme person. I denne forbindelse skal det bemærkes at fredags nattevagten N_2 regnes for arbejde i en weekend, hvorfor blot vagt på enten N_2 fredag, N_3 lørdage eller N_4 søndag i en weekend, skal medføre at der for samme medarbejder i den følgende weekend ikke forekommer vagter af typen N_2 fredag, N_3 lørdag eller N_4 søndag.

3.6 En god vagtplan

Afdelingen definerer en god vagtplan efter hvor godt følgende er opfyldt:

- Ligelig fordeling af weekendvagter
- God fordeling af nul-dage



Figur 3.1: Alle vagttypene placeret i det samme døgn - som det ses er det ikke muligt for en medarbejder at bemande mere end een vagt i døgnet. Bemærk at en nattevagt skal efterfølges af en Hvile dag.

- God fordeling af beskyttede fridage

Disse kriterier skal modeleres på en sådan måde, at det ved en given vagtplan vil være muligt at udtrykke hvor godt vagtplanen lever op til de tre kriterier. Derfor er der til hver af kriterierne, knyttet en omkostning, c^1 , c^2 og c^3 , som er et udtryk for hvor langt en vagtplan befinder sig fra en vagtplan der opfylder hver af de tre kriterier. En høj værdi for c^1 vil betyde at vagtplanen indeholder en meget ulige fordeling af nattevagter, mens en lav værdi for c^2 vil betyde at vagtplanen indeholder en god fordeling af nul-dage. Summen af c^1 , c^2 og c^3 udtrykker herved en vagtplans samlede omkostninger, målt i ufordelagtigheder. For at give mulighed for at vægte omkostningerne forskelligt, benyttes en vægt, γ , for hver omkostning. Samlet er den bedste vagtplan hermed defineret til, at være den vagtplan der har den laveste sum af vægtede omkostninger for hver af de ansatte. I det følgende beskrives hvorledes omkostningerne præcist udtrykkes for hver af de tre kriterier.

Ligelig fordeling af weekendvagter

Der er blandt de ansatte enighed om at nattevagterne N_2 , N_3 og N_4 er de mindst ønskede, da de alle forhindrer muligheden for at kunne holde fri i weekenden. Disse vagter ønskes fordelt ligeligt mellem de ansatte, men da afdelingen har udtrykt at N_3 er en værre nattevagt at få tildelt end en N_4 , er det ikke umiddelbart oplagt hvordan man skal tolke "ligelig fordeling" af nattevagter mellem de ansatte. Afdelingens udtryk om at N_3 er en værre nattevagt end N_4 , vil betyde at følgende fordeling af de omtalte nattevagter ikke er rimelig: 10 N_2 til medarbejder m_1 , 10 N_3 til medarbejder m_2 og 10 N_4 til medarbejder m_3 . Hvis det antages at afdelingen kun består af 3 ansatte, så har de alle fået tildelt lige

mange af de mindst ønskede nattevagter, men da der er forskel på hvor uønskede nattevagterne er, kan fordelingen ikke betragtes som værende "ligelig". Derfor er det nødvendigt at der i en fordeling af disse nattevagter tages højde for hvor uønskede vagterne er i forhold til hinanden og til dette formår har afdelingen givet udtryk for at den værste nattevagt er N_3 , dernæst N_2 og den bedste af de tre "under" er N_4 . Med denne prioritering, er det muligt for hver medarbejder at tildele strafpoint, $\gamma_v^1 \in \mathbb{N}$, $v \in \{N_2, N_3, N_4\}$, ved forekomsten af hver af disse vagter. Det gennemsnitlige antal strafpoint pr. medarbejder, kaldet $\lambda \in \mathbb{R}$, som må være den ideelle fordeling af strafpoint til hver medarbejder. For hver medarbejder kan det derved opgøres hvor stor differencen er til gennemsnittet pr. medarbejder og summen af disse differencer ønskes minimeret.

Eksempel: En afdeling har vurderet at N_2 , N_3 og N_4 er de mest upopulære vagter og derfor skal de fordeles ligeligt til de ansatte. Der er enighed om at N_4 er den mindst ønskede vagt og en sådan forekomst skal straffes hårdest og at en N_3 er den bedste af de tre "under", hvorfor den skal straffes mindst af de tre. Afdelingen har derfor tildelt strafpoint af følgende størrelse: N_4 tildeles 10 strafpoint ($\gamma_{N_4}^1 = 10$), N_2 tildeles 7 strafpoint ($\gamma_{N_2}^1 = 7$) og N_3 tildeles 5 strafpoint ($\gamma_{N_3}^1 = 5$). Hvis der i løbet af en vagtplan findes 28 forekomster af N_4 , 28 forekomster af N_2 og 28 forekomster af N_3 , vil den samlede strafsum for hele vagtplanen svare til $28 \cdot \gamma_{N_4}^1 + 28 \cdot \gamma_{N_2}^1 + 28 \cdot \gamma_{N_3}^1 = 280 + 196 + 140 = 616$ strafpoint. Hvis afdelingen har 4 ansatte, som skal have delt disse 616 strafpoint ligeligt, vil det ideelt set svare til $\lambda = \frac{616}{4} = 154$ strafpoint pr. medarbejder. For at opnå λ strafpoint for hver medarbejder, kan hver medarbejders vagtplan tildeles en omkostning, kaldet c_m^1 , proportionalt med medarbejderens afvigelse fra λ . Man kunne forestille sig, at de 4 medarbejdere, kaldet m_1, m_2, m_3 og m_4 , eksempelvis har fået tildelt vagter som følger:

$$\begin{aligned} m_1 &: 13N_2 + 8N_3 \\ m_2 &: 5N_2 + 5N_3 + 11N_4 \\ m_3 &: 8N_2 + 8N_3 + 5N_4 \\ m_4 &: 2N_2 + 7N_3 + 12N_4 \end{aligned}$$

En sådan fordeling af vagter vil med $\gamma_{N_2}^1 = 7$, $\gamma_{N_3}^1 = 5$, $\gamma_{N_4}^1 = 10$ resultere i følgende omkostninger:

$$\begin{aligned} c_{m_1}^1 &= |\lambda - (13 \cdot \gamma_{N_2}^1 + 8 \cdot \gamma_{N_3}^1 + 0 \cdot \gamma_{N_4}^1)| = |154 - 131| = 23 \\ c_{m_2}^1 &= |\lambda - (5 \cdot \gamma_{N_2}^1 + 5 \cdot \gamma_{N_3}^1 + 11 \cdot \gamma_{N_4}^1)| = |154 - 170| = 16 \\ c_{m_3}^1 &= |\lambda - (8 \cdot \gamma_{N_2}^1 + 8 \cdot \gamma_{N_3}^1 + 5 \cdot \gamma_{N_4}^1)| = |154 - 146| = 8 \\ c_{m_4}^1 &= |\lambda - (2 \cdot \gamma_{N_2}^1 + 7 \cdot \gamma_{N_3}^1 + 12 \cdot \gamma_{N_4}^1)| = |154 - 169| = 15 \end{aligned}$$

resulterende i en samlet omkostning for vagtplanen på $23 + 16 + 8 + 15 = 62$.

En vagtplan for de samme 4 medarbejdere, med en bedre fordeling af vagterne

N_2, N_3 og N_4 , kunne være følgende:

$$m_1 : 14N_2 + 9N_3 + 1N_4$$

$$m_2 : 4N_2 + 5N_3 + 10N_4$$

$$m_3 : 8N_2 + 8N_3 + 6N_4$$

$$m_4 : 2N_2 + 6N_3 + 11N_4$$

Denne fordeling af vagter, vil med $\gamma_{N_2}^1 = 7$, $\gamma_{N_3}^1 = 5$, $\gamma_{N_4}^1 = 10$, resultere i følgende omkostninger:

$$c_{m_1}^1 = |\lambda - (14 \cdot \gamma_{N_2}^1 + 9 \cdot \gamma_{N_3}^1 + 1 \cdot \gamma_{N_4}^1)| = |154 - 153| = 1$$

$$c_{m_2}^1 = |\lambda - (4 \cdot \gamma_{N_2}^1 + 5 \cdot \gamma_{N_3}^1 + 10 \cdot \gamma_{N_4}^1)| = |154 - 153| = 1$$

$$c_{m_3}^1 = |\lambda - (8 \cdot \gamma_{N_2}^1 + 8 \cdot \gamma_{N_3}^1 + 6 \cdot \gamma_{N_4}^1)| = |154 - 156| = 2$$

$$c_{m_4}^1 = |\lambda - (2 \cdot \gamma_{N_2}^1 + 6 \cdot \gamma_{N_3}^1 + 11 \cdot \gamma_{N_4}^1)| = |154 - 154| = 0$$

Resultatet er en samlet omkostning for vagtplanen på $1 + 1 + 2 + 0 = 4$, hvilket er en klar forbedring i forhold til en omkostning på 62.

God fordeling af Nul-dage

De deltidsansatte har alle krav på en ugentlig nul-dag, dog findes intet overenskomstmæssigt eller kontraktligt krav på placeringen af disse nul-dage. Det kunne i yderste konsekvens medføre at alle nul-dagene for hele planlægningsperioden blev placeret til sidst i perioden, f.eks. som de sidste 14 dage i en 14 ugers vagtplan. Formålet med Nul-dage er netop at sikre at de deltidsansatte kun arbejder *deltid*, dvs. mindre end fuld tid. Derfor synes det mest rimeligt at tilstræbe at samtlige uger for en deltids medarbejder indeholder en Nul-dag, helst den samme uge dag. Dette kan opnås ved, for hver medarbejder for hver uge, som ikke indeholder en Nul-dag, at tildele strafpoint svarende til $\gamma_1^2 \in \mathbb{N}$. Samt for hver medarbejder at tildele strafpoint givet ved til $\gamma_2^2 \in \mathbb{N}$, for antal forskellige ugedage indeholdende en nul-dag. Eksempel: nul-dage på 5 mandage, 5 tirsdage og 4 fredage, er 3 forskellige ugedage, svarende til i alt $3 \cdot \gamma_2^2$ straf point.

Ved at tildele strafpoint på denne vis opnås der for hver deltidsmedarbejder et udtryk for hvor godt nul-dagene er placeret udtrykt ved strafpoint. Summen af disse strafpoint ønskes minimeret.

God fordeling af Beskyttede fridøgn

Alle medarbejdere har krav på to ugentlige beskyttede fridøgn, helst placeret i weekenden. På samme vis som for Nul-dagene, er det ikke hensigtsmæssigt med en vagtplan hvor alle de beskyttede fridøgn er samlet sammen til sidst i vagtplanen. I stedet ønskes to beskyttede fridage placeret i hver uge, helst

placeret i weekenden. Dette kan opnås ved at tildele strafpoint $\gamma_1^3 \in \mathbb{N}$, for hver medarbejder for hver uge der ikke indeholder to beskyttede fridage, samt strafpoint svarende til $\gamma_2^3 \in \mathbb{N}$, for hver af de beskyttede fridage der ikke rammer en lørdag eller søndag. Tildeling af strafpoint på denne måde danner et udtryk for hvor godt de beskyttede fridøgn er fordelt udtrykt ved strafpoint. Summen af disse strafpoint ønskes minimeret.

Eksempel: En afdeling bestående af 3 ansatte, kaldet m_1, m_2 og m_3 , har vedtaget at uger der indeholder mindre end to beskyttede fridøgn skal straffes med 10 strafpoint ($\gamma_1^3 = 10$) og hver beskyttet fridøgn der ikke er placeret på en lørdag eller søndag skal straffes med 2 strafpoint ($\gamma_2^3 = 2$). En vagtplan med en længde på 2 uger, kunne for denne afdeling se ud som i tabel 3.3, hvor alle dage der ikke indeholder et beskyttet fridøgn (forkortet BF) er markeret med en bindestreg.

	man	tir	ons	tor	fre	lør	søn	man	tir	ons	tor	fre	lør	søn
m_1	-	-	-	-	-	BF	BF	-	-	-	-	-	BF	BF
m_2	BF	BF	BF	BF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
m_3	-	-	-	-	-	BF	BF	-	-	BF	-	-	BF	-

Tabel 3.3: 3 ansatte med hver deres 14 dages vagtplan - dog kun med angivelse af placeringen af de beskyttede fridage (BF).

Med en vagtplan som i tabel 3.3 kan omkostningerne c_m^3 for placeringen af de beskyttede fridøgn beregnes for hver medarbejder.

$$\begin{aligned} c_{m_1}^3 &= 0 \cdot \gamma_1^3 + 0 \cdot \gamma_2^3 = 0 \cdot 10 + 0 \cdot 2 = 0 \\ c_{m_2}^3 &= 1 \cdot \gamma_1^3 + 4 \cdot \gamma_2^3 = 1 \cdot 10 + 4 \cdot 2 = 18 \\ c_{m_3}^3 &= 0 \cdot \gamma_1^3 + 1 \cdot \gamma_2^3 = 0 \cdot 10 + 1 \cdot 2 = 2 \end{aligned}$$

Som det ses af ovenstående omkostninger, så er det med den valgte vægtning relativt dyrt at benytte en vagtplan som for medarbejder m_2 , hvor en stor straf er tillagt uge 2 som ikke indeholder mindst 2 beskyttede fridøgn samt yderligere straf for ikke at have placeret nogen af de beskyttede fridøgn i weekenden. En mindre straf opnås for m_3 , der kun for eet beskyttet fridøgn bliver straffet for ikke at have placeret det i weekenden. Bedste vagtplan i denne sammenhæng, er fundet for medarbejder m_1 , der har placeret samtlige beskyttede fridøgn på lørdage og søndage og dermed også placeret to beskyttede fridøgn i hver af vagtplanens uger.

3.7 Afgrænsning

Hver anden uge har afdelingen et højere bemandingskrav til vagttyperne D_1 og D_2 end normalt. Normalt er det minimum 15 for D_1 og minimum 12 for D_2 , men hver anden uge er det minimum 16 for D_1 og minimum 13 for D_2 . Det ses der bort fra i specialet, da der derved er ens bemandingskrav for hver uge i hele planlægningsperioden.

3.8 Formel definition for Anæstesi- og operationsklinikken

Konstante problemparametre for en vagtplan:

- U : Antal uger $U = 14$
- V^+ : Mængden af vagter $V^+ = \{D1, D2, L1, L2, L3, A1, A2, N1, N2, N3\}$
- V^- : Mængden af fridage $V^- = \{BF, NL, HD\}$
- V : Mængden af aktiviteter $V = V^+ \cup V^-$
- D_{man} : alle mandage $D_{man} = \{1, 8, 15 \dots (U - 1) \cdot 7 + 1\}$
- D_{tir} : alle tirsdage $D_{tir} = \{2, 9, 16 \dots (U - 1) \cdot 7 + 2\}$
- D_{ons} : alle onsdage $D_{ons} = \{3, 10, 17 \dots (U - 1) \cdot 7 + 3\}$
- D_{tor} : alle torsdage $D_{tor} = \{4, 11, 18 \dots (U - 1) \cdot 7 + 4\}$
- D_{fre} : alle fredage $D_{fre} = \{5, 12, 19 \dots (U - 1) \cdot 7 + 5\}$
- $D_{lør}$: alle lørdage $D_{lør} = \{6, 13, 20 \dots (U - 1) \cdot 7 + 6\}$
- $D_{søn}$: alle søndage $D_{søn} = \{7, 14, 21 \dots (U - 1) \cdot 7 + 7\}$
- D : mængden af dage $D = D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \cup D_{fre} \cup D_{lør} \cup D_{søn}$
- M_R : medarbejdere tilhørende Rød-faggruppe
- M_G : medarbejdere tilhørende Grøn-faggruppe
- M_B : medarbejdere tilhørende Blå-faggruppe
- M_H : medarbejdere tilhørende Hvid-faggruppe
- M_{sp} : alle sygeplejersker
- M_{shj} : alle sygehjælpere
- M : mængden af medarbejdere,
 $M = M_R \cup M_G \cup M_B \cup M_H = M_{sp} \cup M_{shj}$
- $b_{d,v}$: Bemandingskrav på dag d til vagttype v
- $b_{d,v}^{sp}$: Bemandingskrav til sygeplejerskerne på dag d til vagttype v
- t_v : Længden af vagttype v i timer, $v \in V^+$
- T_m : Det ugentlige timetal for medarbejder m , $0 \leq T_m \leq 37$
- δ : Acceptabel afvigelse af de ansattes timetal, $\delta = 3$

Konstante vægtningsparametre:

- γ^1 : Vægtning af c_m^1 , $\gamma^1 \in \mathbb{N}$
- γ^2 : Vægtning af c_m^2 , $\gamma^2 \in \mathbb{N}$
- γ^3 : Vægtning af c_m^3 , $\gamma^3 \in \mathbb{N}$
- $\gamma_{N_2}^1$: Straffen for nattevagt N_2 , $\gamma_{N_2}^1 \in \mathbb{N}$
- $\gamma_{N_3}^1$: Straffen for nattevagt N_3 , $\gamma_{N_3}^1 \in \mathbb{N}$
- $\gamma_{N_4}^1$: Straffen for nattevagt N_4 , $\gamma_{N_4}^1 \in \mathbb{N}$
- γ_1^2 : Straffen for en uge uden en nul-dag til de deltidsansatte, $\gamma_1^2 \in \mathbb{N}$
- γ_2^2 : Straffen for antallet af forskellige ugedage der indholder nul-dage $\gamma_2^2 \in \mathbb{N}$
- γ_1^3 : Straffen for ikke at have to beskyttede fridøgn i en uge, $\gamma_1^3 \in \mathbb{N}$
- γ_2^3 : Straffen for for beskyttede fridøgn placeret uden for weekenden, $\gamma_2^3 \in \mathbb{N}$

Indeks for en vagtplan:

- m : medarbejder $m \in M$
- d : dage $d \in D$
- v : aktivitet(vagt eller fridag) $v \in V$

Variable for en vagtplan:

$x_{m,d,v}$: Medarbejder m udfører aktivitet v på dag nr. d , $x \in \{0, 1\}$

Bemandingskravene skal overholdes

Alle dagvagter (D1 og D2) må gerne overbemandes.

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,D1} \geq b_{d,D1} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (3.1)$$

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,D2} \geq b_{d,D2} \quad \forall d \in D_{fre} \quad (3.2)$$

Alle L1-vagter må kun bemandes med sygeplejersker og overbemanding er ikke tilladt.

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,L1} = b_{d,L1}^{sp} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \quad (3.3)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,L1} = 0 \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \quad (3.4)$$

For alle L2-vagter findes et eksakt bemandingskrav til antallet af medarbejdere samtidig med et krav til en minimumsbemanding af sygeplejersker.

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,L2} = b_{d,L2} \quad \forall d \in D_{ons} \cup D_{tor} \quad (3.5)$$

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,L2} \geq b_{d,L2}^{sp} \quad \forall d \in D_{ons} \cup D_{tor} \quad (3.6)$$

For alle L3-vagter findes et eksakt bemandingskrav til antallet af medarbejdere samtidig med et krav til en minimumsbemanding af sygeplejersker.

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,L3} = b_{d,L3} \quad \forall d \in D_{fre} \quad (3.7)$$

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,L3} \geq b_{d,L3}^{sp} \quad \forall d \in D_{fre} \quad (3.8)$$

For alle A1- og A2-vagter findes et eksakt bemandingskrav, uden krav til kombinationen af sygeplejersker og sygehjælpere.

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,A1} = b_{d,A1} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (3.9)$$

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,A2} = b_{d,A2} \quad \forall d \in D_{fre} \quad (3.10)$$

Nattevagter kun for sygeplejersker

Alle nattevagter (N_1, N_2, N_3 og N_4) må kun bemandedes med sygeplejersker og hverken over- eller underbemanning accepteres.

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,N_1} = b_{d,N_1}^{sp} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (3.11)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,N_1} = 0 \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (3.12)$$

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,N_2} = b_{d,N_2}^{sp} \quad \forall d \in D_{fre} \quad (3.13)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,N_2} = 0 \quad \forall d \in D_{fre} \quad (3.14)$$

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,N_3} = b_{d,N_3}^{sp} \quad \forall d \in D_{lør} \quad (3.15)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,N_3} = 0 \quad \forall d \in D_{lør} \quad (3.16)$$

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,N_4} = b_{d,N_4}^{sp} \quad \forall d \in D_{søn} \quad (3.17)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,N_4} = 0 \quad \forall d \in D_{søn} \quad (3.18)$$

Alle farvegrupperne skal være repræsenteret

Alle dagvagterne skal bemandedes med minimum 1 person fra hver af de fire farvegrupper (R,G,B,H).

$$\sum_{m \in M_R} x_{m,d,D1} \geq 1 \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (3.19)$$

$$\sum_{m \in M_G} x_{m,d,D1} \geq 1 \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (3.20)$$

$$\sum_{m \in M_B} x_{m,d,D1} \geq 1 \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (3.21)$$

$$\sum_{m \in M_H} x_{m,d,D1} \geq 1 \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (3.22)$$

$$\sum_{m \in M_R} x_{m,d,D2} \geq 1 \quad \forall d \in D_{fre} \quad (3.23)$$

$$\sum_{m \in M_G} x_{m,d,D2} \geq 1 \quad \forall d \in D_{fre} \quad (3.24)$$

$$\sum_{m \in M_B} x_{m,d,D2} \geq 1 \quad \forall d \in D_{fre} \quad (3.25)$$

$$\sum_{m \in M_H} x_{m,d,D2} \geq 1 \quad \forall d \in D_{fre} \quad (3.26)$$

Ikke alle vagttyper er tilladt hver dag

På mandage og tirsdag er kun vagttyperne D1,L1,A1 og N1 tilladt

$$\sum_{d \in D_{man} \cup D_{tir}} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{D1, L1, A1, N1\} \quad (3.27)$$

På onsdage og torsdag er kun vagttyperne D1,L2,A1 og N1 tilladt

$$\sum_{d \in D_{ons} \cup D_{tor}} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{D1, L2, A1, N1\} \quad (3.28)$$

På fredage er kun vagttyperne D2,L3,A2 og N2 tilladt

$$\sum_{d \in D_{fre}} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{D2, L3, A2, N2\} \quad (3.29)$$

På lørdage er kun vagttypen N_3 tilladt

$$\sum_{d \in D_{lør}} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{N_3\} \quad (3.30)$$

På søndage er kun vagttypen N_4 tilladt

$$\sum_{d \in D_{søn}} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{N_4\} \quad (3.31)$$

Kun een aktivitet i døgnet

For hver medarbejder er kun een aktivitet i døgnet tilladt - dermed kan kun 1 vagt(V^+) eller 1 fridag(V^-) vælges pr. døgn. Dette sikrer at 8-timers reglen altid er overholdt.

$$\sum_{v \in V} x_{m,d,v} = 1 \quad \forall m \in M, \forall d \in D \quad (3.32)$$

To beskyttede fridøgn pr. uge

Alle har krav på 2 beskyttede fridøgn pr. uge.

$$\sum_{d \in D} x_{m,d,BF} = U \cdot 2 \quad \forall m \in M \quad (3.33)$$

En hviledag efter en nattevagt

Alle har krav på en hviledag efter en nattevagt

$$\begin{aligned} x_{m,d,v} = 1 &\Rightarrow x_{m,d+1,HD} = 1 \\ \forall m \in M, \forall d \in D - \{U \cdot 7\}, \forall v \in \{N1, N2, N3\} \end{aligned} \quad (3.34)$$

En ugentlig nul-dag til de deltidsansatte

De deltidsansatte har krav på en ugentlig nul-dag.

$$\sum_{d \in D} x_{m,d,NL} = U \quad \forall m \in M | T_m < 37 \quad (3.35)$$

Aldrig to weekender i træk med arbejde

Weekendarbejde er defineret som en N_2 vagt fredag, en N_3 lørdag eller en N_3 søndag. For hver medarbejder skal det gælde, at hvis der er weekendarbejde i en uge, så må den efterfølgende weekend ikke indeholde weekendarbejde.

$$\begin{aligned}
 x_{m,d,N_2} = 1 & \quad \vee \\
 x_{m,d+1,N_3} = 1 & \quad \vee \\
 x_{m,d+2,N_4} = 1 & \quad \Rightarrow \\
 x_{m,d+7,N_2} = 0 & \quad \wedge \\
 x_{m,d+8,N_3} = 0 & \quad \wedge \\
 x_{m,d+9,N_4} = 0 & \quad \forall m \in M, \forall d \in D_{fre}
 \end{aligned} \tag{3.36}$$

Aldrig en N_2 fredag og en N_4 søndag

Klinikken har vedtaget at en N_2 fredag og en N_4 søndag i samme uge ikke må forekomme, da de ansatte derved kun i meget begrænset omfang har fritid i den pågældende weekend.

$$x_{m,d,N_2} = 1 \Rightarrow x_{m,d+2,N_4} = 0 \quad \forall m \in M, \forall d \in D_{fre} \tag{3.37}$$

Timetallene skal overholdes

Hver medarbejder m har i T_m angivet det gennemsnitlige antal timer som der skal arbejdes pr. uge. Med en vagtplan på U uger, skal medarbejder m samlet have arbejdet et antal timer svarende til $U \cdot T_m \pm \delta$, hvor δ angiver den tilladte afvigelse i timer.

$$\sum_{d \in D} \sum_{v \in V^+} x_{m,d,v} \cdot t_v \geq T_m \cdot U - \delta \quad \forall m \in M \tag{3.38}$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{v \in V^+} x_{m,d,v} \cdot t_v \leq T_m \cdot U + \delta \quad \forall m \in M \tag{3.39}$$

Maksimalt 5 dage i træk med vagter

Efter 5 på hinanden følgende dage med vagter, skal følge en ikke arbejdsdag.

$$\begin{aligned}
 \sum_{v \in V^+} x_{m,d,v} = 1 & \quad \wedge \\
 \sum_{v \in V^+} x_{m,d-1,v} = 1 & \quad \wedge \\
 \sum_{v \in V^+} x_{m,d-2,v} = 1 & \quad \wedge
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{v \in V^+} x_{m,d-3,v} = 1 & \quad \wedge \\
\sum_{v \in V^+} x_{m,d-4,v} = 1 & \quad \Rightarrow \\
\sum_{v \in V^+} x_{m,d+1,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall d \in D - \{1, 2, 3, 4\} & \quad (3.40)
\end{aligned}$$

Ligelig fordeling af weekendarbejde

Vagter placeret i weekenden er de vagter der er mindst ønskede på afdelingen, hvorfor de ønskes fordelt ligeligt blandt sygeplejerskene. Weekendarbejde omfatter følgende vagter: N_2, N_3 og N_4 . Straf tillægges hver forekomst af de tre vagttyper med $\gamma_{N_2}^1, \gamma_{N_3}^1$ og $\gamma_{N_4}^1$ hvorved den samlede sum over hele vagtplanen deles med antallet af sygeplejersker. Dette resultat λ afspejler den gennemsnitlige sum af strafpoint for hver sygeplejerske. Ønsket er at de reelle strafpoint for hver sygeplejerske er så tæt på λ som muligt.

$$\begin{aligned}
\lambda' = \sum_{d \in D_{fre}} \sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,N_2} \cdot \gamma_{N_2}^1 + \\
\sum_{d \in D_{lor}} \sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,N_3} \cdot \gamma_{N_3}^1 + \\
\sum_{d \in D_{s\emptyset n}} \sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,N_4} \cdot \gamma_{N_4}^1 & \quad (3.41)
\end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{\lambda'}{|M_{sp}|} \quad (3.42)$$

c_m^1 udtrykker sygeplejerske m 's afvigelse fra λ , hvilket er et udtryk for hvor langt m er fra at have fået tildelt nattevagter i det mest retfærdige omfang. Desto lavere værdi der opnås for c_m^1 , desto tættere er m på den mest retfærdige tildeling af nattevagter, som det er defineret i afsnit 3.6.

$$c_m^1 = \left| \lambda - \sum_{d \in D} \sum_{v \in V'} x_{m,d,v} \cdot \gamma_v^1 \right| \quad V' = \{N_2, N_3, N_4\} \forall m \in M_{sp} \quad (3.43)$$

God fordeling af Nul-dage

For hver deltidsansat m markeres med $NL_{m,u}^1 = 1$ at uge u ikke indeholder en nul-dag. Bemærk at (3.35) allerede sikrer at der findes U nul-dage i vagtplanen for hver deltidsmedarbejder.

$$\sum_{d=(u-1) \cdot 7+1}^{(u-1) \cdot 7+7} x_{m,d,NL} < 1 \Rightarrow NL_{m,u}^1 = 1$$

$$\forall u \in \{1, 2, \dots, U\}, \forall m \in M | T_m < 37 \quad (3.44)$$

For hver deltidsansat m markeres med $NL_{m,d'}^2 = 1$ at der i vagtplanen findes en ugedag d' som er en nul-dag, hvor d' kan være en af ugens 7 dage.

$$\sum_{d \in D_{d'}} x_{m,d,NL} > 0 \Rightarrow NL_{m,d'}^2 = 1$$

$$\forall m \in M | T_m < 37, \forall d' \in \{man, tir, ons, tor, fre, lør, søn\} \quad (3.45)$$

For hver deltidsansat m straffes hver uge der ikke indeholder en nul-dag med γ_1^2 og antallet af forskellige ugedage der indeholder en nul-dag straffes med γ_2^2 .

$$c_m^2 = \sum_{u=1}^U NL_{m,u}^1 \cdot \gamma_1^2 + \sum_{d \in d'} NL_{m,d}^2 \cdot \gamma_2^2$$

$$\forall m \in M | T_m < 37, d' \in \{man, tir, ons, tor, fre, lør, søn\} \quad (3.46)$$

God fordeling af beskyttede fridage

For hver medarbejder markeres med $BF_{m,u}^1$ at der for medarbejder m i uge u ikke findes de krævede to beskyttede fridøgn. Bemærk at (3.33) allerede sikrer at der findes $2 \cdot U$ beskyttede fridage i vagtplanen for hver medarbejder.

$$\sum_{d=(u-1) \cdot 7+1}^{(u-1) \cdot 7+8} x_{m,d,BF} < 2 \Rightarrow BF_{m,u}^1 = 1$$

$$\forall u \in \{1, 2, \dots, U\}, \forall m \in M \quad (3.47)$$

For hver medarbejder markeres med $BF_{m,u}^2$ antallet af beskyttede fridøgn der ikke er placeret på en lørdage eller søndag i uge u .

$$BF_{m,u}^2 = \sum_{d=(u-1) \cdot 7+1}^{(u-1) \cdot 7+8} x_{m,d,BF} - \sum_{d=(u-1) \cdot 7+6}^{(u-1) \cdot 7+8} x_{m,d,BF}$$

$$\forall u \in \{1, 2, \dots, U\}, \forall m \in M \quad (3.48)$$

Herved kan der for hver medarbejder m angives en værdi ved c_m^3 som udtryk for hvor god placeringen af beskyttede fridage er, hvor så lav en værdi som muligt ønskes.

$$c_m^3 = \sum_{u=1}^U BF_{m,u}^1 \cdot \gamma_1^3 + \sum_{u=1}^U BF_{m,d}^2 \cdot \gamma_2^3$$

$$\forall m \in M, d' \in \{man, tir, ons, tor, fre, lør, søn\} \quad (3.49)$$

Objektfunktionen

Der ønskes vagtplaner som for hver medarbejder minimerer straffen der gives for ikke at overholde ønsket om ligelig fordeling af weekendarbejde samt god fordeling af nul-dage og beskyttede fridøgn. Hver af disse kriterier er repræsenteret ved omkostningerne c^1, c^2 og c^3 , med γ^1, γ^2 og γ^3 til angivelse af vægtningen om omkostningerne. Den vægtede sum af omkostningerne udtrykker hermed vagtplanens kvalitet, hvor så lave omkostninger som muligt ønskes.

$$\min \sum_{m \in M} c_m^1 \cdot \gamma^1 + \sum_{m \in M} c_m^2 \cdot \gamma^2 + \sum_{m \in M} c_m^3 \cdot \gamma^3 \quad (3.50)$$

Kapitel 4

Vagtplaner på en Obstetrisk klinik

Rigshospitalets Obstetriske Klinik varetager fødsler, ca. 3100 årligt, størstedelen fra Københavns og Frederiksberg kommuner - samt en del fra Østdanske og Vestdanske amter.

På klinikken modtages både gravide, som forventes at få en normal fødsel, og gravide, som kræver særlige hensyn - som eksempel diabetikere, kvinder med genetiske sygdomme og gravide med hjertesygdomme, stofskiftesygdomme, blodsygdomme og andre sygdomme.

Klinikken har døgnbemanding alle ugens 7 dage.

4.1 Personalet

Personalet består af 26 sygeplejersker og en enkelt sygehjælper. Sygeplejerskerne er ansat til 37, 32, 30 og 28 timer om ugen og sygehjælperen til 20 timer ugentligt. Sygehjælperen kan principielt bemande de samme vagter som sygeplejerskerne, den eneste adskillelse af de ansatte er om de er nyansatte eller erfarne. 5 af sygeplejerskerne er ansat til at bemande et helt bestemt vagtmønster, hvorved deres vagter er fastlagt på forhånd.

4.2 Vagttyperne

Vagttyperne er alle af 8 timers varighed og inddelt i tre kategorier: Dagvagter (forkortes D), Aftenvagter (forkortes A) og Nattevagter (forkortes N).

Der findes tre forskellige typer af dagvagter (D_1 , D_2 og D_3), hvor D_1 skal bemandes mandag, tirsdag og torsdag, D_2 hver onsdag og D_3 på fredag-søndag. Alle dagvagterne påbegyndes kl. 08:00 og afsluttes kl. 16:00, eneste forskel er bemandingskravene (se tabel 4.1).

Type	Ugedage	Tidsrum	Timer	Bemandingskrav
D_1	man,tir,tor	08:00-16:00	8	≥ 6 (≥ 2 erfarne)
D_2	ons	08:00-16:00	8	≥ 7 (≥ 2 erfarne)
D_3	fre,lør,søn	08:30-16:30	8	≥ 5 (≥ 2 erfarne)
A_1	man-søn	16:00-24:00	8	$= 4$ (≥ 3 erfarne)
N_1	man-søn	24:00-08:00	8	$= 3$ (≥ 2 erfarne)

Tabel 4.1: De 5 forskellige vagttyper for Obstetrisk klinik, Rigshospitalet.

Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
D_1	D_1	D_2	D_1			
				D_3	D_3	D_3
A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1	A_1
N_1	N_1	N_1	N_1	N_1	N_1	N_1

Tabel 4.2: De 5 forskellige vagttyper for Obstetrisk Klinik, Rigshospitalet, placeret på de ugedage de kan forekomme.

Der findes kun en enkelt Aftenvagt, A_1 , som skal bemandedes alle ugens 7 dage, fra 16:00 til 24:00 - ligeledes findes kun en enkelt Nattevagt N_1 , som skal bemandedes alle ugens dage fra 24:00 til 08:00.

Alle vagterne har et krav til minimumsbemanding af erfarne medarbejdere, samt et generelt krav til bemandingen, dvs. enten nye eller erfarne medarbejder. Kun dagvagterne D_1 , D_2 og D_3 må overbemandes, de øvrige vagter skal overholdes præcist.

En tabel med en oversigt over hvilke dage de forskellige vagttyper kan forekomme kan ses i tabel 4.2.

4.3 Hviletidsregler

Klinikken har indgået en lokalaf tale omkring hviletiden, hvilket medfører at det er tilladt at bryde 11-timers reglen op til to gange for hver 4. uge for hver medarbejder. Dog skal der minimum gives 8 timers hvile mellem to vagter, hvilket udelukker følgende kombinationer påbegyndt samme døgn for en medarbejder: D og A (D afsluttes på samme tid som A påbegyndes) og A og N (A afsluttes på samme tid som N påbegyndes). Endvidere vil en nattevagt N umiddelbart efterfulgt af en dagvagt D heller ikke være tilladt, da N afsluttes på samme tid som D påbegyndes, hvilket ikke giver mulighed for de minimum 8 timers hvile mellem to vagter.

Da alle de ansatte foretrækker en dagvagt efter en aftenvagt, tillades denne kombination men "tæller" som een af de to tilladte overskridelser af hviletidsreglerne som hver medarbejder må have.

Endvidere foretrækker de fuldtidsansatte en dagvagt samme døgn som de skal bemandede en nattevagt, hvilket igen er en overskridelse af 11-timers reglen og

derfor også ”tæller” som een af de to tilladte overskridelser af hviletidsreglerne som hver medarbejder må have.

Eksempel: Den fuldtidsansatte m_1 bemander en dagvagt (D_1) mandag fra kl. 08:00 til kl. 16:00 og en nattevagt (N_1) fra mandag kl. 24:00 til tirsdag morgen kl. 08:00. Disse to vagter, påbegyndt samme døgn, er kun adskilt med 8 timers hvile hvilket resulterer i en overtrædelse af 11-timers reglen. Nogle dage senere skal m_1 bemane en aftenvagt A_1 og en D_3 den følgende dag. Denne kombination er igen en overtrædelse af 11-timers reglen da kun 8 timers hvile adskiller en aftenvagt og en dagvagt den følgende dag. Hermed har m_1 ”opbrugt sin kvote” af tilladte overskridelser af 11-timers reglen for indeværende 4-ugers periode og resten af perioden skal foregå uden overskridelser af 11-timers reglen for m_1 .

4.4 Vagtkombinationer

Klinikken forsøger at tilgodese at de fleste ansatte ønsker at kunne holde fri i weekenden, hvorfor det er vedtaget at de der bemander en weekendvagt skal bemane den samme vagt både fredag, lørdag og søndag, dvs. D_3 (fredag, lørdag og søndag), eller A_1 (fredag, lørdag og søndag) eller N_1 (fredag, lørdag og søndag). Ved at sørge for at de samme personer bemander vagter alle tre dage, er antallet af medarbejdere der får deres weekend afbrudt med arbejde søgt minimeret. De ansatte kender på forhånd hvilke weekender de skal arbejde, da alle arbejder hver anden weekend over hele året. Det vil med andre ord sige, at når en ny vagtplan skal udarbejdes, så kendes det allerede hvilke medarbejdere der skal arbejde i vagtplanens weekender.

Som alle andre hospitalsafdelinger har alle de ansatte krav på to ugentlig Beskyttede Fridage - hvis det er muligt skal de placeres i weekenden. De weekender hvor der er weekendarbejde, må de beskyttede fridage placeres på hverdage.

Da klinikken skal være døgnbemandet, er der hvert døgn i vagtplansperioden behov for bemanning af nattevagter. Disse nattevagter skal bemandes således at en medarbejder maksimalt får tildelt tre nattevagter i træk - det 4. døgn skal være et hvile døgn. Hvis der ikke er tale om flere nattevagter i træk, så skal en nattevagt efterfølges af et hvile døgn.

For at sikre at de ansatte får mulighed for et minimum af hvile, kræver afdelingen at der for en ansat maksimalt må forekomme 6 dage i træk med vagter. En dag uden vagter for en medarbejder er enten et Hvile Døgn eller et Beskyttet Fridøgn.

4.5 Vagtplanen

Vagtplanen udarbejdes for en 4-ugers periode og planen skal for hver af medarbejderne indeholde et antal vagter svarende til $x \cdot 4 \pm \delta$, hvor x svarer til medarbejderens ugentlige timetal og δ svarer til den acceptable afvigelse. F.eks. vil en medarbejder ansat til 32 timer pr. uge skulle have vagter svarende til $32 \cdot 4 \pm 8 = 128 \pm 8$. δ er her sat til 8, svarende til ± 1 vagt i løbet af en 4-ugers

vagtplan.

Bemærk at der ikke benyttes et antal ugentlige nul dage til de deltidsansatte for at sikre dem en mindre arbejdsuge end de fuldtidsansatte - så der kan forekomme uger hvor deltidsansatte skal arbejde lige så mange eller flere timer end de fuldtidsansatte.

4.6 En god vagtplan

Afdelingen definerer en god vagtplan efter hvor godt følgende er opfyldt:

- Ligelig fordeling af aften- og nattevagter
- Gode vagtmønstre
- God fordeling af beskyttede fridøgn

Disse kriterier skal modeleres på en sådan måde, at det ved en given vagtplan vil være muligt at udtrykke hvor godt vagtplanen lever op til de tre kriterier. Derfor er der til hver af kriterierne, knyttet en omkostning, c^1 , c^2 og c^3 , som er et udtryk for hvor langt en vagtplan befinder sig fra en vagtplan der opfylder alle kriterierne. En høj værdi for c^1 vil betyde at vagtplanen indeholder en meget ulige fordeling af aften og nattevagter, mens en lav værdi for c^2 vil betyde at vagtplanen indeholder gode vagtmønstre. Summen af c^1 , c^2 og c^3 udtrykker herved en vagtplans samlede omkostninger, målt i ufordelagtigheder. For at give mulighed for at vægte omkostningerne forskelligt, benyttes en vægt, γ , for hver omkostning. Samlet er den bedste vagtplan hermed defineret til, at være den vagtplan der har den laveste sum af vægtede omkostninger for hver af de ansatte. I det følgende beskrives hvorledes omkostningerne præcist udtrykkes for hver af de tre kriterier.

Ligelig fordeling af aften- og nattevagter

Afdelingen benytter to vagttyper som ikke er populære blandt de ansatte, det er aftenvagten A_1 og nattevagten N_1 . En ligelig fordeling kan defineres på samme vis som den er defineret for Anæstesi og operationsklinikken, afsnit 3.6, side 16. Dog skal det bemærkes at førnævnte klinik kun tillader een kategori af ansatte til de vagttyper som ønskes ligeligt fordelt - mens der på denne afdeling tillades to kategorier af ansatte til aften- og nattevagter (erfarne og nye). Derfor er det nødvendigt at opdele gennemsnittet af strafpoint pr. erfarne medarbejdere (λ_{erf}) og nye medarbejdere (λ_{ny}).

Gode vagtmønstre

For at give de ansatte mulighed for at opretholde en rimelig døgnrytme, er det uønsket at have en vagtplan der har alt for mange skift mellem dag-, aften- og nattevagter. Dog vil et vist antal skift (omend begrænset) mellem vagttyperne

formentlig være ønskeligt, da eksempelvis en 4-ugers plan med udelukkende aftenvagter for en ansat næppe er ønskelig. Derfor antages det i det følgende, at antallet af vagttypeskift kun ønskes minimeret for en uge ad gangen.

Desværre er det ikke oplagt hvordan antallet af vagttypeskift skal opgøres, hvilket de følgende eksempler illustrerer. To eksempler på vagtmønstre for medarbejder m_1 og medarbejder m_2 , hvor D er en dagvagt, A en aftenvagt og N en nattevagt: $m_1 = \text{“DDDNAA”}$ og $m_2 = \text{“ADDDDDN”}$. Rent intuitivt forekommer m_2 som værende mere attraktiv end m_1 , da m_2 indeholder flest primær-vagter, hvor der med en primær-vagt pv menes den vagttype der optræder flest gange ($pv_{m_1} = D, |pv_{m_1}| = 3$ og $pv_{m_2} = D, |pv_{m_2}| = 5$). Det skal bemærkes at det antages, at de ansatte ingen preference har for en bestemt vagttype, men blot ønsker færrest mulig skift i døgnrytmen. Men mønsteret $m_3 = \text{“DDDNANA”}$, med $pv_{m_3} = D, |pv_{m_3}| = 3$, viser at det formentlig ikke er nok blot at rangordne vagtmønstre efter antallet af primær-vagter, da $|pv_{m_1}| = |pv_{m_3}|$ og da m_1 må være et mere attraktivt mønster end m_2 på grund af færre vagtskift. Dette kunne foranledige en til at tænke, at det er antallet af vagttypeskift der skal være afgørende for hvilke mønstre der skal favoriseres. Men det er i modstrid med førnævnte favorisering af m_2 frem for m_1 , som begge har 2 vagttypeskift.

Som det ses af ovenstående, er det ikke oplagt at definere hvilke vagtmønstre der skal favoriseres når omskiftningen mellem vagttyperne ønskes minimeret. Begge de ovennævnte metoder gør det muligt at opfylde kravet om gode vagtmønstre, men med hver deres ulemper. Da det er nemmest, formelt, at modelere en definition bestående af primær-vagter, vil den blive benyttet i det følgende. Nærmere beskrevet, foregår det på den måde, at den vagttype som optræder flest gange på en uge vil blive foretrukket og de øvrige vil blive betragtet som overtrædelser. Med en uge på 7 dage og 3 vagttyper pr. dag (D_1, D_2 og D_3 behandles ens, da de aldrig optræder på samme dag), er der mulighed for 0-7 dagvagter, 0-7 aftenvagter og 0-7 nattevagter og antallet af overtrædelser i en uge kan beskrives som $D + A + N - \max(D, A, N)$. Her er $\max(D, A, N)$ et udtryk for antallet af vagter for den vagttype som er større eller lig med antallet af hver af de to øvrige vagttyper. Det medfører at antallet af overtrædelser for førnævnte vagtmønstre, m_1, m_2 og m_3 , vil blive henholdsvis $3 + 2 + 2 - \max(3, 2, 2) = 4$, $5 + 1 + 1 - \max(5, 1, 1) = 2$ og $3 + 2 + 2 - \max(3, 2, 2) = 4$. Hvilket er ensbetydende med, at m_2 vil blive foretrukket, mens m_1 og m_3 betragtes som lige gode (eller dårlige).

God fordeling af beskyttede fridøgn

Afdelingen ønsker en god fordeling af de beskyttede fridøgn, som der i gennemsnit findes to af pr. uge. Fordelingen af de beskyttede fridøgn følger princippet beskrevet i afsnit 3.6, side 18.

4.7 Formel definition for Obstetrisk Klinik, RH

Konstante problemparametre for en vagtplan:

- U : Antal uger $U = 4$
- V^+ : Mængden af vagter $V^+ = \{D_1, D_2, D_3, A_1, N_1\}$
- V^- : Mængden af fridage $V^- = \{BF, HD\}$
- V : Mængden af aktiviteter $V = V^+ \cup V^-$
- D_{man} : alle mandage $D_{man} = \{1, 8, 15 \dots (U - 1) \cdot 7 + 1\}$
- D_{tir} : alle tirsdage $D_{tir} = \{2, 9, 16 \dots (U - 1) \cdot 7 + 2\}$
- D_{ons} : alle onsdage $D_{ons} = \{3, 10, 17 \dots (U - 1) \cdot 7 + 3\}$
- D_{tor} : alle torsdage $D_{tor} = \{4, 11, 18 \dots (U - 1) \cdot 7 + 4\}$
- D_{fre} : alle fredage $D_{fre} = \{5, 12, 19 \dots (U - 1) \cdot 7 + 5\}$
- $D_{lør}$: alle lørdage $D_{lør} = \{6, 13, 20 \dots (U - 1) \cdot 7 + 6\}$
- $D_{søn}$: alle søndage $D_{søn} = \{7, 14, 21 \dots (U - 1) \cdot 7 + 7\}$
- D : mængden af dage $D = D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \cup D_{fre} \cup D_{lør} \cup D_{søn}$
- M_{erf} : alle erfarne medarbejdere
- M_{ny} : alle nye medarbejdere
- M : mængden af medarbejdere, $M = M_{erf} \cup M_{ny}$
- $b_{d,v}$: Bemandingskrav på dag d til vagttype v
- $b_{erf,d,v}$: Bemandingskrav til erfarne medarbejdere på dag d til vagttype v
- t_v : Længden af vagttype v i timer
- T_m : Det ugentlige timetal for medarbejder m , $0 \leq T_m \leq 37$
- δ : Acceptabel afvigelse af de ansattes timetal, $\delta = 8$
- F_m : Mængde af par som for medarbejder m angiver faste aktiviteter $v \in V$ på bestemte dage $d \in D$,
 $F_m = \{(d, v), \dots\}$
- $\alpha_{m,d}$: En overtrædelse af hviletidsbestemmelserne af typen $\alpha_{m,d}$ for medarbejder m på dag d , $\alpha_{m,d} \in \{0, 1\}$
- $\beta_{m,d}$: En overtrædelse af hviletidsbestemmelserne af typen $\beta_{m,d}$ for medarbejder m på dag d , $\beta_{m,d} \in \{0, 1\}$
- $w_{m,d}$: Markering af en arbejdsdag(1) og en ikke arbejdsdag(0), hvor m er medarbejderen og d dagen. Kun de dage d der falder på en weekend er i brug. $w_{m,d} \in \{0, 1\}$

Indeks for en vagtplan:

- m : medarbejder $m \in M$
- d : dage $d \in D$
- v : aktivitet(vagt eller fridag) $v \in V$

Variable for en vagtplan:

- $x_{m,d,v}$: Medarbejder m udfører aktivitet v på dag nr. d , $x \in \{0, 1\}$

Bemandingskravene skal overholdes

Alle dagvagter (D_1, D_2 og D_3) skal have en minimumsbemanding uden hensyn tagen til erfaringsniveau (1)-(3). Dog skal en del af bemandingen til

dagvagter være erfarne ansatte (4). For alle dagvagter tillades overbemanding.

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,D_1} \geq b_{d,D_1} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{tor} \quad (4.1)$$

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,D_2} \geq b_{d,D_2} \quad \forall d \in D_{ons} \quad (4.2)$$

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,D_3} \geq b_{d,D_3} \quad \forall d \in D_{fre} \cup D_{lør} \cup D_{søn} \quad (4.3)$$

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,v} \geq b_{erf,d,v} \quad \forall d \in D \quad \forall v \in \{D_1, D_2, D_3\} \quad (4.4)$$

Alle aftenvagter skal bemandes med et præcist antal medarbejdere (5) hvoraf en del skal være erfarne medarbejdere (6).

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,A_1} = b_{d,A_1} \quad \forall d \in D \quad (4.5)$$

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,A_1} \geq b_{erf,d,A_1} \quad \forall d \in D \quad (4.6)$$

Alle nattevagter skal bemandes med et præcist antal medarbejdere (7) hvoraf en del skal være erfarne medarbejdere (8).

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,N_1} = b_{d,N_1} \quad \forall d \in D \quad (4.7)$$

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,N_1} \geq b_{erf,d,N_1} \quad \forall d \in D \quad (4.8)$$

Ikke alle vagttyper er tilladt hver dag

På mandage, tirsdage og torsdage er kun vagttyperne D_1, A_1 og N_1 tilladt.

$$\sum_{d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{tor}} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{D_1, A_1, N_1\} \quad (4.9)$$

På onsdage er kun vagttyperne D_2, A_1 og N_1 tilladt

$$\sum_{d \in D_{ons}} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{D_2, A_1, N_1\} \quad (4.10)$$

På fredage, lørdage og søndage er kun vagttyperne D_3, A_1 og N_1 tilladt.

$$\sum_{d \in D_{fre} \cup D_{lør} \cup D_{søn}} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{D_3, A_1, N_1\} \quad (4.11)$$

Forbudte vagtkombinationer i et døgn

Hvis og kun hvis der for en medarbejder ikke er valgt vagter i et døgn, så vil døgnnet være et fridøgn, dvs. enten et Hvile Døgn eller et Beskyttet Fridøgn (begge i V^-).

$$\sum_{v \in V^+} x_{m,d,v} = 0 \Leftrightarrow \sum_{v \in V^-} x_{m,d,v} = 1 \quad \forall m \in M, \forall d \in D \quad (4.12)$$

Det er ikke tilladt at have en dagvagt efterfulgt af en aftenvagt i samme døgn.

$$x_{m,d,v} + x_{m,d,A_1} \leq 1 \quad \forall m \in M, \forall d \in D, \forall v \in \{D_1, D_2, D_3\} \quad (4.13)$$

Det er ikke tilladt at have en aftenvagt efterfulgt af en nattevagt i samme døgn.

$$x_{m,d,A_1} + x_{m,d,N_1} \leq 1 \quad \forall m \in M, \forall d \in D \quad (4.14)$$

Afdelingen tillader mere end een vagt i døgnnet pr. medarbejder, men kun kombinationen: Dagvagt og Nattevagt, hvor en dagvagt kan være D_1 , D_2 eller D_3 og nattevagten N_1 . En sådan kombination, er en overtrædelse af hviletidsreglerne, som kræver minimum 11 timers hvile mellem hver vagt, men som beskrevet i afsnit 4.3 tillades 2 overtrædelser pr. medarbejder over 4 uger. Dog skal der være minimum 8 timers hvile mellem vagterne når overtrædelsen finder sted, hvilket er tilfældet ved en dagvagt (afsluttes kl. 16) og nattevagt i samme døgn (påbegyndes kl. 24). Denne form for overtrædelse af hviletidsreglerne kaldes i det følgende for en $\alpha_{m,d}$ -overtrædelse for medarbejder m på dag d .

$$\begin{aligned} x_{m,d,v} + x_{m,d,N_1} = 2 &\Leftrightarrow \alpha_{m,d} = 1 \\ \forall m \in M, \forall d \in D, \forall v' \in \{D_1, D_2, D_3\} \end{aligned} \quad (4.15)$$

Der kan maksimalt accepteres 2 α -overtrædelser pr. medarbejder for hele vagtplanen.

$$\sum_{d \in D} \alpha_{m,d} \leq 2 \quad \forall m \in M \quad (4.16)$$

Forbudte vagtkombinationer over flere døgn

Vagter i to på hinanden følgende døgn (kaldet døgn 1 og døgn 2), kan resultere i overtrædelse af hviletidsreglerne. Ved en dagvagt i døgn 1 (kl. 08:00-16:00) er det uproblematisk at afholde 11 timers hvile inden bemanding af en vagt i døgn 2. Men ved en aftenvagt (kl. 16:00-24:00) i døgn 1, er det kun muligt at afholde 8 timers hvile inden en dagvagt i døgn 2. Dog er denne overtrædelse tilladt, så længe hviletidsreglerne ikke overtrædes mere end 2 gange pr. medarbejder for en 4 ugers periode. Derfor kaldes en overtrædelse af hviletidsreglerne ved en aftenvagt i et døgn og en dagvagt i det efterfølgende døgn, i det følgende for en $\beta_{m,d}$ -overtrædelse for medarbejder m på dag d .

En forekomst af et døgn med en aftenvagte efterfulgt af et døgn med en dagvagt for en medarbejder, resulterer i en β -overtrædelse.

$$\begin{aligned} x_{m,d,A_1} + x_{m,d+1,v} = 2 &\Leftrightarrow \beta_{m,d} = 1 \\ \forall m \in M, \forall d \in D, \forall v, v' \in \{D_1, D_2, D_3\} \end{aligned} \quad (4.17)$$

Der kan maksimalt accepteres 2 β -overtrædelser pr. medarbejder i løbet af 4 uger.

$$\sum_{d \in D} \beta_{m,d} \leq 2 \quad \forall m \in M \quad (4.18)$$

Hviletidsbestemmelserne må maksimalt overskrides to gange pr. medarbejder for en 4 ugers periode.

$$\sum_{d \in D} \alpha_m + \sum_{d \in D} \beta_m \leq 2 \quad \forall m \in M \quad (4.19)$$

Efter et døgn med en nattevagt skal der enten komme en ny nattevagt eller et Hvile Døgn.

$$\begin{aligned} x_{m,d,N_1} = 1 &\Rightarrow x_{m,d+1,N_1} + x_{m,d+1,HD} = 1 \\ \forall m \in M, \forall d \in D \setminus \{U \cdot 7\} \end{aligned} \quad (4.20)$$

Maksimalt tre nattevagter i træk for en medarbejder.

$$\begin{aligned} x_{m,d-1,N_1} + x_{m,d-2,N_1} + x_{m,d-3,N_1} = 3 &\Rightarrow x_{m,d,HD} = 1 \\ \forall m \in M, \forall d \in D \setminus \{1, 2, 3\} \end{aligned} \quad (4.21)$$

To beskyttede fridøgn pr. uge

Alle har krav på 2 beskyttede fridøgn i gennemsnit pr. uge.

$$\sum_{d \in D} x_{m,d,BF} = U \cdot 2 \quad \forall m \in M \quad (4.22)$$

Weekendarbejde

Hvis en medarbejder skal bemane en vagt i weekenden så skal vedkommende bemane den samme vagt både fredag, lørdag og søndag.

$$x_{m,d,D_3} = x_{m,d+1,D_3} = x_{m,d+2,D_3} \quad \forall m \in M, \forall d \in D_{fre} \quad (4.23)$$

$$x_{m,d,A_1} = x_{m,d+1,A_1} = x_{m,d+2,A_1} \quad \forall m \in M, \forall d \in D_{fre} \quad (4.24)$$

$$x_{m,d,N_1} = x_{m,d+1,N_1} = x_{m,d+2,N_1} \quad \forall m \in M, \forall d \in D_{fre} \quad (4.25)$$

Alle de ansatte skal arbejde hver anden weekend hvilket er afbilledet i $w_{m,d} \in \{0,1\}$ som med 0 angiver at medarbejder m har fri på dag d og 1 angiver at medarbejder m skal arbejde på dag d . Derved er det i weekenden muligt at "tvinge" vagter igennem til de ansatte der skal arbejde den pågældende weekend.

$$\sum_{v \in \{D_1, A_1, N_1\}} x_{m,d,v} = w_{m,d} \quad \forall m \in M, \forall d \in D_{fre} \cup D_{lør} \cup D_{søn} \quad (4.26)$$

Timetallene skal overholdes

Hver medarbejder m har i T_m angivet det gennemsnitlige antal timer som der skal arbejdes pr. uge. Med en vagtplan på U uger, skal medarbejder m samlet have arbejdet et antal timer svarende til $U \cdot T_m \pm \delta$, hvor δ angiver den tilladte afvigelse i timer.

$$\sum_{d \in D} \sum_{v \in V^+} x_{m,d,v} \cdot t_v \geq T_m \cdot U - \delta \quad \forall m \in M \quad (4.27)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{v \in V^+} x_{m,d,v} \cdot t_v \leq T_m \cdot U + \delta \quad \forall m \in M \quad (4.28)$$

Maksimalt 6 dage i træk med vagter

Efter 6 på hinanden følgende dage med vagter, skal følge en ikke arbejdsdag. Bemærk at (4.12) sikrer at når et døgn ikke indeholder vagter til en ansat, så vil døgnnet automatisk være markeret som enten et Hvile Døgn eller et Beskyttet Fridøgn.

$$\begin{aligned} \sum_{v \in V^+} x_{m,d,v} &= 1 && \wedge \\ \sum_{v \in V^+} x_{m,d-1,v} &= 1 && \wedge \\ \sum_{v \in V^+} x_{m,d-2,v} &= 1 && \wedge \\ \sum_{v \in V^+} x_{m,d-3,v} &= 1 && \wedge \\ \sum_{v \in V^+} x_{m,d-4,v} &= 1 && \wedge \\ \sum_{v \in V^+} x_{m,d-5,v} &= 1 && \Rightarrow \\ \sum_{v \in V^+} x_{m,d+1,v} &= 0 \quad \forall m \in M, \forall d \in D \setminus \{1, 2, 3, 4, 5\} && (4.29) \end{aligned}$$

Faste vagtmønstre skal overholdes

Nogle ansatte er ansat til at bemande helt bestemte vagter på bestemte dage, disse faste mønstre skal overholdes.

$$x_{m,d,v} = 1 \quad \forall (d, v) \in F_m \quad (4.30)$$

Ligelig fordeling af aften- og nattearbejde

Aften- og nattevagter er de mindst ønskede vagttyper på afdelingen, hvorfor de ønskes fordelt ligeligt blandt de ansatte. For alle erfarne medarbejdere optælles den samlede sum af aftenvagter A_1 og den samlede sum af nattevagter N_1 . Hver sum multipliceres med den tilhørende straf ($\gamma_{A_1}^1$ og $\gamma_{N_1}^1$). Den samlede sum deles med antallet af erfarne medarbejdere, hvorved λ_{erf} er opnået. λ_{erf} er et udtryk for den mest retfærdige fordeling af aften- og nattevagter til erfarne medarbejdere. Ønsket er at hver af de erfarne medarbejder får tildelt en vagtplan med aften- og nattevagter fordelt så tæt på λ_{erf} som muligt. Det samme gør sig gældende for de nye ansatte.

$$\begin{aligned} \lambda'_{erf} = & \sum_{d \in D} \sum_{m \in M_{erf}} x_{m,d,A_1} \cdot \gamma_{A_1}^1 + \\ & \sum_{d \in D} \sum_{m \in M_{erf}} x_{m,d,N_1} \cdot \gamma_{N_1}^1 \end{aligned} \quad (4.31)$$

$$\lambda_{erf} = \frac{\lambda'}{|M_{erf}|} \quad (4.32)$$

$$\begin{aligned} \lambda'_{ny} = & \sum_{d \in D} \sum_{m \in M_{ny}} x_{m,d,A_1} \cdot \gamma_{A_1}^1 + \\ & \sum_{d \in D} \sum_{m \in M_{ny}} x_{m,d,N_1} \cdot \gamma_{N_1}^1 \end{aligned} \quad (4.33)$$

$$\lambda_{ny} = \frac{\lambda'}{|M_{ny}|} \quad (4.34)$$

c_m^1 udtrykker medarbejder m 's afvigelse fra λ , hvilket er et udtryk for hvor langt m er fra at have fået tildelt aften- og nattevagter i det mest retfærdige omfang. Desto lavere værdi der opnås for c_m^1 , desto tættere er m på den mest retfærdige tildeling af aften- og nattevagter, som det er defineret i afsnit 4.6.

$$\begin{aligned} c_m^1 = & \left| \lambda_{erf} - \sum_{d \in D} \sum_{v \in V'} x_{m,d,v} \cdot \gamma_v^1 \right| \\ V' = & \{A_1, N_1\} \forall m \in M_{erf} \end{aligned} \quad (4.35)$$

$$c_m^1 = |\lambda_{ny} - \sum_{d \in D} \sum_{v \in V'} x_{m,d,v} \cdot \gamma_v^1|$$

$$V' = \{A_1, N_1\} \forall m \in M_{ny} \quad (4.36)$$

Gode vagtmønstre

I afsnit 4.6, side 32 er gode vagtmønstre defineret til at svare til minimering af antallet af vagttypeskift pr. uge. For at det er muligt, er det nødvendigt at have en angivelse af antallet af vagter der forhindrer, at der kun findes en vagttype pr. uge. Det findes ved summering, for hver uge, af dagvagter $DV_{m,u}$, aftenvagter $AV_{m,u}$ og nattevagter $NV_{m,u}$ og derefter fratække den hyppigst forekomne vagttype. De tre vagttyper optælles for hver uge på følgende vis:

$$DV_{m,u} = \sum_{d=7(u-1)+1}^{7u} x_{m,d,v}$$

$$\forall m \in M, \forall u | 0 < u \leq U, \forall v \in \{D_1, D_2, D_3\} \quad (4.37)$$

$$AV_{m,u} = \sum_{d=7(u-1)+1}^{7u} x_{m,d,A_1}$$

$$\forall m \in M, \forall u | 0 < u \leq U \quad (4.38)$$

$$NV_{m,u} = \sum_{d=7(u-1)+1}^{7u} x_{m,d,N_1}$$

$$\forall m \in M, \forall u | 0 < u \leq U \quad (4.39)$$

Herved kan c_m^2 , for hver medarbejder m , defineres som:

$$c_m^2 = \sum_{i=1}^U (DV_{m,i} + AV_{m,i} + NV_{m,i} - \max(DV_{m,i}, AV_{m,i}, NV_{m,i}))$$

$$\forall m \in M \quad (4.40)$$

God fordeling af beskyttede fridage

For hver medarbejder markeres med $BF_{m,u}^1$ at der for medarbejder m i uge u ikke findes de krævede to beskyttede fridøgn. Bemærk at (4.22) allerede sikrer at der findes $2 \cdot U$ beskyttede fridage i vagtplanen for hver medarbejder.

$$\sum_{d=(u-1) \cdot 7+1}^{(u-1) \cdot 7+8} x_{m,d,BF} < 2 \Rightarrow BF_{m,u}^1 = 1$$

$$\forall u \in \{1, 2, \dots, U\}, \forall m \in M \quad (4.41)$$

For hver medarbejder markeres med $BF_{m,u}^2$ antallet af beskyttede fridøgn der ikke er placeret på en lørdage eller søndag i uge u .

$$BF_{m,u}^2 = \sum_{d=(u-1) \cdot 7+1}^{(u-1) \cdot 7+8} x_{m,d,BF} - \sum_{d=(u-1) \cdot 7+6}^{(u-1) \cdot 7+8} x_{m,d,BF} \quad \forall u \in \{1, 2, \dots, U\}, \forall m \in M \quad (4.42)$$

Herved kan der for hver medarbejder m angives en værdi ved c_m^2 som udtryk for hvor god placeringen af beskyttede fridage er, hvor så lav en værdi som muligt ønskes.

$$c_m^3 = \sum_{u=1}^U BF_{m,u}^1 \cdot \gamma_1^3 + \sum_{u=1}^U BF_{m,d}^2 \cdot \gamma_2^3 \quad \forall m \in M, d' \in \{man, tir, ons, tor, fre, lør, søn\} \quad (4.43)$$

Objektfunktionen

Der ønskes vagtplaner som for hver medarbejder minimerer straffen der gives for ikke at overholde ønsket om ligelig fordeling af aften- og nattearbejde, gode vagtmønstre og ligelig fordeling af beskyttede fridøgn. Hver af disse kriterier er repræsenteret ved omkostningerne c^1, c^2 og c^3 , med γ^1, γ^2 og γ^2 til angivelse af vægtningen af omkostningerne. Den vægtede sum af omkostningerne udtrykker hermed vagtplanens kvalitet, hvor så lave omkostninger som muligt ønskes.

$$\min \sum_{m \in M} c_m^1 \cdot \gamma^1 + \sum_{m \in M} c_m^2 \cdot \gamma^2 + \sum_{m \in M} c_m^3 \cdot \gamma^3 \quad (4.44)$$

Kapitel 5

Vagtplaner på en gynækologisk og obstetrisk operationsafdeling

Operationsafdeling D på Odense Universitets Hospital foretager operative behandlinger af patienter med gynækologiske og obstetriske problemer. Desuden har afdelingen en akut modtagefunktion som er døgnåben og foretager ambulante kirurgi (forkortes AMKE) hver mandag til torsdag.

5.1 Personalet

Personalet består af 18 sygeplejersker (forkortes sp) og 8 sygehjælpere/social & sundhedsassistenter (forkortes shj), med 20 ansat i fuldtidsstillinger (37 timer pr. uge) og 6 deltidsansatte til 32 timer pr. uge. Alle sygehjælpere og social & sundhedsassistenter betragtes ens og kan dække de samme vagter. Sygeplejerskerne betragtes ligeledes ens og kan dække de samme vagter, dog skiller afdelingssygeplejersken sig ud, da hun kun dækker vagter på hverdage i dagtimerne.

5.2 Vagttyperne

Vagttyperne er delt ind i tre kategorier: dagvagter (forkortes D), tilkaldevagter (forkortes T) og vagter på afdelingen for ambulante kirurgi, AMKE (forkortes K).

Der findes 3 forskellige dagvagter (D_1 , D_2 og D_3) som alle starter om morgenen og slutter 8 timer senere. De adskiller sig fra hinanden ved blandt andet at D_1 og D_3 kun benyttes på hverdage og D_2 kun i weekenden. Dagvagterne D_1 og D_2 kræver en præcis bemanning, hvilket medfører at hverken over- eller under-

Type	Ugedage	Tidsrum	Timer	Bemandingskrav
D_1	man-fre	07:00-15:00	8	=2 sp + 1 shj
D_2	lør-søn	07:00-15:00	8	=1 sp + 1 shj
D_3	man-fre	07:30-15:30	8	≥ 6
T_1	man-tor	07:30-15:30(tilk. 15:30-07:00)	13,5	=1 sp
T_2	man-søn	15:00-23:00(tilk. 23:00-07:00)	14	=1 sp + 1 shj
T_3	fre	07:30-16:00(tilk. 16:00-07:00)	13,5	=1 sp
T_4	lør-søn	07:00-07:00(tilk.)	14	=1 sp
K_1	man-tor	07:00-15:00	8	=1 sp eller 1 shj
K_2	man-tor	07:30-15:30	8	=1 sp eller 1 shj
K_3	man-tor	08:00-16:00	8	=1 sp eller 1 shj
K_4	man-tor	08:30-16:30	8	=1 sp

Tabel 5.1: De 11 forskellige vagttyper for afdeling D på Odense Universitets Hospital.

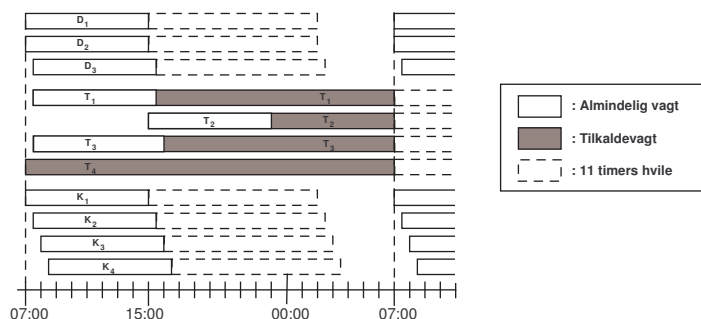
bemanding er tilladt. På dagvagten D_3 tillades dog overbemanding.

Der findes fire tilkaldevagter, T_1, T_2, T_3 og T_4 , hvoraf T_1, T_2, T_3 indledes med 7,5 til 8 timers vagt på afdelingen og efterfølges af en periode hvor den ansatte skal stå til rådighed for afdelingen. I en rådighedsperiode skal de ansatte på en T_2 vagt befinde sig i et vagtværelse på afdelingen, mens de ansatte på en T_1 eller T_3 vagt kan forlade afdelingen, men skal være forberedt på at møde op igen med kort varsel. Den sidste tilkaldevagt T_4 er en 24-timers vagtperiode hvor den ansatte skal kunne møde op på afdelingen hvis vedkommende bliver tilkaldt. Alle tilkaldevagterne kræver en præcis bemanding og døgnet hvor tilkaldevagten afsluttes må ikke indeholde yderligere vagter, dvs. at døgnet efter en tilkaldevagt skal være et hviledøgn. Det skal bemærkes at tilkaldevagter i weekenden søges begrænset til at berøre så få medarbejdere som muligt, så afdelingen kræver at en medarbejder kun må bemande T_2 om fredagen hvis den samme medarbejder ligeledes bemande T_2 om søndagen og omvendt. Det samme gør sig gældende for T_3 fredag og T_4 søndag, som kun må bemandes af en og samme person.

Stuen for ambulans kirurgi (forkortes AMKE) er kun bemandet i dagtimerne og kun mandag til torsdag. Alle fire vagttyper i denne afdeling, K_1, K_2, K_3 og K_4 , er af 8 timers varighed og påbegyndes med en halv times mellemrum fra 07:00 til 08:30. Alle fire vagttyper kræver præcis bemanding af een sygeplejerske eller een sygehjælper for både K_1, K_2 og K_3 , dog skal der kl. 08:00, når den tredje af vagterne er påbegyndt, være præcis 2 sygeplejersker og 1 sygehjælper tilstede. K_4 skal være bemandet af præcis 1 sygeplejerske. Enhver af afdelingens 8 sygehjælpere og 18 sygeplejersker, med undtagelse af afdelingssygeplejersken, kan bemande vagterne på AMKE, dog skal det hver dag i en uge være de samme 4 personer der bemande vagterne på AMKE. En oversigt over samtlige vagttyper ses i tabel 5.1.

5.3 Hviletid

Alle vagttyper skal efterfølges af en hviletidsperiode på minimum 11 timer, dog skal alle tilkaldevagter (T_1, T_2, T_3 og T_4) efterfølges af en hviledag. Som det ses af figur 5.1, hvor de stiplede kasser symboliserer minimums hviletiden, så er det kun muligt for en medarbejder at bemande 1 vagt i døgnet når en vagt skal efterfølges af minimum 11 timers hvile. Det vil med andre ord sige, at hvis en medarbejder maksimalt bemander 1 vagt i døgnet og altid har en hviledag efter en tilkaldevagt, så vil 11-timers reglen altid være overholdt. Det skal dog nævnes at selv om der i figur 5.1 er afbilledet samtlige vagter, så kan det i praksis ikke forekomme at samtlige vagttyper er i brug i samme døgn. Vagttypernes tilladte placering på ugedage ses i tabel 5.2.



Figur 5.1: Alle vagttyper efterfulgt af en hviletidsperiode

5.4 Fridage

Afdelingen kræver at hver medarbejder får 2 Beskyttede Fridøgn pr. uge, hvor det gælder at der maksimalt må være 7 dage imellem 2 Beskyttede Fridage. Hvis muligt ses det helst at de Beskyttede Fridøgn placeres på lørdage og søndage.

5.5 Vagtplanen

Vagtplanen udarbejdes for en 16 ugers periode og i denne periode skal de ansatte have tildelt vagter med et samlet timetal svarende til $16 \cdot 37 \pm \delta$ for de fuldtidsansatte og $16 \cdot 32 \pm \delta$ for de deltidsansatte. δ angiver den tilladte timetals afvigelse efter 16 uger pr medarbejder og denne afdeling benytter $\delta = 8$. Det medfører at de fuldtidsansatte skal i en 16-ugers vagtplan have tildelt vagter med et samlet timetal mellem 584 og 600 og for de deltidsansatte er det mellem 504 og 520.

En ansat i afdelingen må maksimalt arbejde 60 timer på en uge, uanset om det er en sygeplejerske, sygehjælper, fuldtidsansat eller deltidsansat. Hvis der forekommer en uge i vagtplanen med vagter svarende til 60 timers arbejde må den efterfølgende uge højst indeholde vagter svarende til 16 timer. Bemærk at afdelingen ikke benytter sig af et bestemt antal Nul-dage hver uge til de deltidsansatte, hvilket normalt benyttes for at sikre de deltidsansatte en ugentlig arbejdstid der er mindre end de fuldtidsansatte. Endvidere skal det bemærkes at afdelingssygeplejersken kun kan tildeles vagter på hverdage og kun D_1 og D_3 .

5.6 En god vagtplan

Afdelingen definerer en god vagtplan efter hvor godt følgende er opfyldt:

- Ligelig fordeling af arbejdsweekender
- God fordeling af beskyttede fridøgn

Disse kriterier skal modeleres på en sådan måde, at det ved en given vagtplan vil være muligt at udtrykke hvor godt vagtplanen lever op til de to kriterier. Derfor er der til hver af kriterierne, knyttet en omkostning, c^1 til kriterie 1 og c^2 til kriterie 2, som er et udtryk for hvor langt en vagtplan befinder sig fra en vagtplan der opfylder begge kriterier. En høj værdi for c^1 vil betyde at vagtplanen indeholder en meget ulige fordeling arbejdsweekender, mens en lav værdi for c^2 vil betyde at vagtplanen indeholder en god fordeling af beskyttede fridøgn. Summen af c^1 og c^2 udtrykker herved en vagtplans samlede omkostninger, målt i ufordelagtigheder. For at give mulighed for at vægte omkostningerne forskelligt, benyttes en vægt, γ , for hver omkostning. Samlet er den bedste vagtplan hermed defineret til, at være den vagtplan der har den laveste sum af vægtede omkostninger for hver af de ansatte. I det følgende beskrives hvorledes omkostningerne præcist udtrykkes for de to kriterier der definerer en god vagtplan.

Ligelig fordeling af weekendarbejde

I afdelingen er weekendarbejde defineret til at være en af følgende vagter: D_2 lørdag, D_2 søndag, T_2 fredag, T_2 lørdag, T_2 søndag, T_3 fredag, T_4 lørdag og T_4 søndag. Hvis en ansat har blot en af førnævnte vagter i løbet af en weekend, opfattes weekenden som en arbejdsweekend. Disse arbejdsweekender ønsker afdelingen fordelt ligeligt mellem de ansatte - det skal bemærkes at afdelingen ikke skelner mellem hvor mange timer der arbejdes i en arbejdsweekend, så en medarbejder der har to arbejdsweekender hver bestående af 8 timers arbejde er fuldt ud lige så tilfredsstillende som en medarbejder der ligeledes har to arbejdsweekender, men hver bestående af 25 timers arbejde. Det kan umiddelbart synes som en urimelig fordeling, men det er afdelingens ønske at weekendarbejdet fordeles på denne vis.

At fordele weekendarbejde ligeligt kan derved opnås ved for hver sygeplejerske at tilstræbe et antal arbejdsweekender der er så tæt på det gennemsnitlige

antal arbejdsweekender for sygeplejerskerne, kaldet λ_{sp} . Det samme gør sig gældende for sygehjælperne, hvor der tilstræbes arbejdsweekender svarende til det gennemsnitlige antal arbejdsweekender for sygehjælpere, kaldet λ_{shj} . Ved at summere hver sygeplejerskes afvigelse fra λ_{sp} og hver sygehjælperes afvigelse fra λ_{shj} opnås et mål for hvor godt en vagtplan opfylder ønsket om så ligelig fordeling af weekendarbejde som muligt. Dette mål kaldes c_1 og kan opfattes som en omkostning der ønskes minimeret, da en høj værdi angiver en "skæv" fordeling af weekendarbejde og en lav værdi angiver en ligelig fordeling af weekendarbejde.

Eksempel: en vagtplan med 5 medarbejdere, kunne have en fordeling af arbejdsweekenderne på følgende vis: medarbejder m_1 har fået tildelt 16 arbejdsweekender, m_2 tildelt 10 arbejdsweekender, m_3 tildelt 6 arbejdsweekender og m_4 og m_5 ingen arbejdsweekender. Det giver et gennemsnitligt antal arbejdsweekender svarende til $\lambda = \frac{16+10+6}{5} = 6$. Derved opnås c^1 som følger:

$$\begin{aligned} c^1 &= |\lambda - 16| + |\lambda - 10| + |\lambda - 6| + |\lambda - 0| + |\lambda - 0| \\ &= 10 + 4 + 0 + 6 + 6 = 26 \end{aligned}$$

En mere rimelig fordeling af weekendarbejdet kunne alternativt have været at tildele m_4 1 arbejdsweekend og m_5 2 arbejdsweekender samtidig med at m_1 kun får tildelt 13 arbejdsweekender. Det giver følgende resultat:

$$\begin{aligned} c'^1 &= |\lambda - 13| + |\lambda - 10| + |\lambda - 6| + |\lambda - 1| + |\lambda - 2| \\ &= 7 + 4 + 0 + 5 + 4 = 20 \end{aligned}$$

Som det ses af ovenstående eksempler er der ved eksempel 2 opnået en omkostning for fordelingen af arbejdsweekender på 20, som er mindre end omkostningen fra eksempel 1. Med denne omkostningsstruktur er det muligt at sammenligne vagtplaner og afgøre hvilke der har den mest ligelige fordeling af arbejdsweekender, som i følge ovenstående definition, er den vagtplan med den laveste c_1 .

God fordeling af beskyttede fridøgn

Afdelingen ønsker en god fordeling af de beskyttede fridøgn, som der i gennemsnit findes to af pr. uge. Fordelingen af de beskyttede fridøgn følger princippet beskrevet i afsnit 3.6, side 18.

Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
D_1	D_1	D_1	D_1	D_1		
D_2	D_2	D_2	D_2	D_2	D_2	D_2
D_3	D_3	D_3	D_3	D_3		
T_1	T_1	T_1	T_1			
T_2	T_2	T_2	T_2	T_2	T_2	T_2
				T_3		
					T_4	T_4
K_1	K_1	K_1	K_1			
K_2	K_2	K_2	K_2			
K_3	K_3	K_3	K_3			
K_4	K_4	K_4	K_4			

Tabel 5.2: De 11 forskellige vagttyper for afdeling D på Odense Universitets Hospital, placeret på de ugedage de kan forekomme.

5.7 Formel definition for Afd. D, OUH

Konstante problemparametre for en vagtplan:

- U : Antal uger $U = 16$
- V^+ : Mængden af vagter $V^+ = \{D_1, D_2, D_3, T_1, T_2, T_3, T_4, K_1, K_2, K_3, K_4\}$
- V^- : Mængden af fridage $V^- = \{BF, HD\}$
- V : Mængden af aktiviteter $V = V^+ \cup V^-$
- D_{man} : alle mandage $D_{man} = \{1, 8, 15, \dots, (U-1) \cdot 7 + 1\}$
- D_{tir} : alle tirsdage $D_{tir} = \{2, 9, 16, \dots, (U-1) \cdot 7 + 2\}$
- D_{ons} : alle onsdage $D_{ons} = \{3, 10, 17, \dots, (U-1) \cdot 7 + 3\}$
- D_{tor} : alle torsdage $D_{tor} = \{4, 11, 18, \dots, (U-1) \cdot 7 + 4\}$
- D_{fre} : alle fredage $D_{fre} = \{5, 12, 19, \dots, (U-1) \cdot 7 + 5\}$
- $D_{lør}$: alle lørdage $D_{lør} = \{6, 13, 20, \dots, (U-1) \cdot 7 + 6\}$
- $D_{søn}$: alle søndage $D_{søn} = \{7, 14, 21, \dots, (U-1) \cdot 7 + 7\}$
- D : mængden af dage $D = D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \cup D_{fre} \cup D_{lør} \cup D_{søn}$
- M_{sp} : alle sygeplejersker
- M_{shj} : alle sygehjælpere
- M_{afdsp} : afdelingssygeplejersken
- M : mængden af medarbejdere, $M_{afdsp} \in M_{sp}, M_{afdsp} \in M_1$
 $M = M_{sp} \cup M_{shj}$
- $b_{d,v}$: Bemandingskrav på dag d til vagttype v
- $b_{d,v}^{sp}$: Bemandingskrav til sygeplejerskerne på dag d til vagttype v
- $b_{d,v}^{shj}$: Bemandingskrav til sygehjælpere på dag d til vagttype v
- t_v : Længden af vagttype v i timer, $v \in V^+$
- T_m : Det ugentlige timetal for medarbejder m , $0 \leq T_m \leq 37$
- δ : Acceptabel afvigelse af de ansattes timetal, $\delta = 8$
- W_{max} : Det maksimale antal timer der må arbejdes i en uge, $W_{max} = 60$

Indeks for en vagtplan:

m : medarbejder $m \in M$
 d : dage $d \in D$
 v : aktivitet (vagt eller fridag) $v \in V$

Variable for en vagtplan:

$x_{m,d,v}$: Medarbejder m udfører aktivitet v på dag nr. d , $x \in \{0, 1\}$

Bemandingskravene skal overholdes

Bemandingskravene for både sygeplejersker og sygehjælpere i D_1 skal overholdes præcist.

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,D_1} = b_{d,D_1}^{sp} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \cup D_{fre} \quad (5.1)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,D_1} = b_{d,D_1}^{shj} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \cup D_{fre} \quad (5.2)$$

Bemandingskravene for både sygeplejersker og sygehjælpere i D_2 skal overholdes præcist.

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,D_2} = b_{d,D_2}^{sp} \quad \forall d \in D_{lør} \cup D_{søn} \quad (5.3)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,D_2} = b_{d,D_2}^{shj} \quad \forall d \in D_{lør} \cup D_{søn} \quad (5.4)$$

Dagvagt D_3 kan bemandes af en vilkårlig kombination af sygeplejersker og sygehjælpere, dog skal minimumsbemandingen overholdes.

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,D_3} \geq b_{d,D_3} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \cup D_{fre} \quad (5.5)$$

Tilkaldevagterne T_1 , T_2 , T_3 og T_4 skal bemandes præcist og kun af sygeplejersker, dog også af sygehjælper i T_2 .

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,T_1} = b_{d,T_1}^{sp} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (5.6)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,T_1} = 0 \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (5.7)$$

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,T_2} = b_{d,T_2}^{sp} \quad \forall d \in D \quad (5.8)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,T_2} = b_{d,T_2}^{shj} \quad \forall d \in D \quad (5.9)$$

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,T_3} = b_{d,T_3}^{sp} \quad \forall d \in D_{fre} \quad (5.10)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,T_3} = 0 \quad \forall d \in D_{fre} \quad (5.11)$$

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,T_4} = b_{d,T_4}^{sp} \quad \forall d \in D_{l\emptyset r} \cup D_{s\emptyset n} \quad (5.12)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} x_{m,d,T_4} = 0 \quad \forall d \in D_{l\emptyset r} \cup D_{s\emptyset n} \quad (5.13)$$

De 3 første vagter på AMKE (K_1 , K_2 og K_3) skal overholdes præcist, dog uden krav til kombinationen af sygeplejersker og sygehjælpere.

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,K_1} = b_{d,K_1} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (5.14)$$

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,K_2} = b_{d,K_2} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (5.15)$$

$$\sum_{m \in M} x_{m,d,K_3} = b_{d,K_3} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (5.16)$$

Vagten K_4 skal bemandedes af et præcist antal sygeplejersker.

$$\sum_{m \in M_{sp}} x_{m,d,K_4} = b_{d,K_4}^{sp} \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (5.17)$$

Når K_3 -vagten påbegyndes skal der være et bestemt antal sygeplejersker og sygehjælpere tilstede (summen af de tilstedeværende i K_1, K_2 og K_3).

$$\sum_{m \in M_{sp}} \sum_{v \in \{K_1, K_2, K_3\}} x_{m,d,v} = 2 \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (5.18)$$

$$\sum_{m \in M_{shj}} \sum_{v \in \{K_1, K_2, K_3\}} x_{m,d,v} = 1 \quad \forall d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor} \quad (5.19)$$

Vagterne på AMKE skal bemandedes mandag til torsdag af de samme personer i en uge.

$$x_{m,d,v} = 1 \Rightarrow x_{m,d+1,v} = 1 \wedge x_{m,d+2,v} = 1 \wedge x_{m,d+3,v} = 1 \\ \forall m \in M, \forall d \in D_{man}, \forall v \in \{K_1, K_2, K_3, K_4\} \quad (5.20)$$

Ikke alle vagttyper er tilladt hver dag

På mandage, tirsdage, onsdage og torsdage er kun vagttyperne $D_1, D_3, T_1, T_2, K_1, K_2, K_3$ og K_4 tilladt.

$$\sum_{d \in D_{man} \cup D_{tir} \cup D_{ons} \cup D_{tor}} x_{m,d,v} = 0 \\ \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{D_1, D_3, T_1, T_2, K_1, K_2, K_3, K_4\} \quad (5.21)$$

På fredage er kun vagttyperne D_1, D_3, T_2 og T_3 tilladt.

$$\sum_{d \in D_{fre}} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{D_1, D_3, T_2, T_3\} \quad (5.22)$$

På lørdage og søndage er kun vagttyperne D_2, T_2 og T_4 tilladt.

$$\sum_{d \in D_{lør} \cup D_{søn}} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M, \forall v \in V^+ \setminus \{D_2, T_2, T_4\} \quad (5.23)$$

Kun dagvagter til afdelingssygeplejersken

De eneste vagter afdelingssygeplejersken må bemande er dagvagterne D_1 og D_3 fra mandag til fredag. Da (5.21) og (5.22) sikrer at D_1 og D_3 kun bemandedes fra mandag til fredag, er det tilstrækkeligt at kræve at alle andre vagter end D_1 og D_3 er forbudte for afdelingssygeplejersken.

$$\sum_{d \in D} x_{m,d,v} = 0 \quad \forall m \in M_{afdsp}, \forall v \in V^+ \setminus \{D_1, D_3\} \quad (5.24)$$

Tilkaldevagt i weekenden

Hvis der arbejdes på en tilkaldevagt T_2 om fredagen så skal den samme person også arbejde på tilkaldevagt T_2 om søndagen.

$$x_{m,d,T_2} = 1 \Rightarrow x_{m,d+2,T_2} = 1 \quad \forall m \in M, \forall d \in D_{fre} \quad (5.25)$$

Hvis der arbejdes på en tilkaldevagt T_3 om fredagen så skal den samme person også arbejde på tilkaldevagt T_4 om søndagen.

$$x_{m,d,T_3} = 1 \Rightarrow x_{m,d+2,T_4} = 1 \quad \forall m \in M, \forall d \in D_{fre} \quad (5.26)$$

En hviledag efter en tilkaldevagt

Enhver tilkaldevagt skal efterfølges af et Hvile Døgn.

$$\begin{aligned} x_{m,d,v} = 1 &\Rightarrow x_{m,d+1,HD} = 1 \\ \forall m \in M, \forall d \in D \setminus \{U \cdot 7\}, \forall v \in \{T_1, T_2, T_3, T_4\} \end{aligned} \quad (5.27)$$

Kun een aktivitet i døgnet

For hver medarbejder er kun een aktivitet i døgnet tilladt - dermed kan kun 1 vagt(V^+) eller 1 fridag(V^-) vælges pr. døgn. Dette sikrer at 11-timers reglen altid er overholdt (se afsnit 5.3).

$$\sum_{v \in V} x_{m,d,v} = 1 \quad \forall m \in M, \forall d \in D \quad (5.28)$$

Beskyttede fridøgn

Afdelingen kræver at alle medarbejdere får 2 Beskyttede Fridøgn i gennemsnit pr. uge.

$$\sum_{d \in D} x_{m,d,BF} = U \cdot 2 \quad \forall m \in M \quad (5.29)$$

Efter 7 på hinanden følgende døgn som ikke er beskyttede fridøgn, skal følge et beskyttet fridøgn.

$$\begin{aligned} x_{m,d,BF} = 0 & \quad \wedge \\ x_{m,d-1,BF} = 0 & \quad \wedge \\ x_{m,d-2,BF} = 0 & \quad \wedge \\ x_{m,d-3,BF} = 0 & \quad \wedge \\ x_{m,d-4,BF} = 0 & \quad \wedge \\ x_{m,d-5,BF} = 0 & \quad \wedge \\ x_{m,d-6,BF} = 0 & \quad \Rightarrow \\ x_{m,d+1,BF} = 1 & \quad \Rightarrow \\ \forall m \in M, \forall d \in D \setminus \{1, 2, 3, 4, 5, 6\} \end{aligned} \quad (5.30)$$

Timetallene skal overholdes

Hver medarbejder m har i T_m angivet det gennemsnitlige antal timer som der skal arbejdes pr. uge. Med en vagtplan på U uger, skal medarbejder m samlet have arbejdet et antal timer svarende til $U \cdot T_m \pm \delta$, hvor δ angiver den tilladte afvigelse i timer.

$$\sum_{d \in D} \sum_{v \in V^+} x_{m,d,v} \cdot t_v \geq T_m \cdot U - \delta \quad \forall m \in M \quad (5.31)$$

$$\sum_{d \in D} \sum_{v \in V^+} x_{m,d,v} \cdot t_v \leq T_m \cdot U + \delta \quad \forall m \in M \quad (5.32)$$

Maksimalt 60 timers arbejde om ugen

En ansat må maksimalt få tildelt vagter svarende til W_{max} timer pr. uge.

$$\begin{aligned} \sum_{d=1}^7 \sum_{v \in V^+} t_v \cdot x_{m,w \cdot 7 + d, v} &\leq W_{max} \\ \forall m \in M, \forall w \in \{0, 1, 2 \dots U - 1\} \end{aligned} \quad (5.33)$$

Hvis en ansat i en uge skal bemande vagter svarende til W_{max} , så må den efterfølgende uge kun indeholde vagter svarende til maksimalt 16 timer.

$$\begin{aligned} \sum_{d=1}^7 \sum_{v \in V^+} t_v \cdot x_{m,w \cdot 7 + d, v} = W_{max} &\Rightarrow \\ \sum_{d=1}^7 \sum_{v \in V^+} t_v \cdot x_{m,(w+1) \cdot 7 + d, v} &\leq 16 \\ \forall m \in M, \forall w \in \{0, 1, 2 \dots U - 2\} \end{aligned} \quad (5.34)$$

Ligelig fordeling af weekendarbejde

Til angivelse af om der arbejdes i en weekend, dvs. en arbejdsweekend, benyttes $AW_{m,u} \in \{0, 1\}$ som for medarbejder m angiver at uge u er en arbejdsweekend. Herved er det muligt at markere en weekend som en arbejdsweekend ved forekomsten af bare en af følgende vagter: D_2 lørdag, D_2 søndag, T_2 fredag, T_2 lørdag, T_2 søndag, T_3 fredag, T_4 lørdag eller T_4 søndag.

De vagter der er placeret på en fredag og klassificerer weekenden som en arbejdsweekend adskiller sig fra vagterne placeret på lørdage og søndage, hvorfor udtrykket i det følgende opdeles i to dele.

$$\begin{aligned} x_{m,d+4,v} = 1 &\Rightarrow AW_{m, \lfloor d/7 + 1 \rfloor} = 1 \\ \forall d \in \{1, 8, 15 \dots (U-1) \cdot 7 + 1\}, m \in M \end{aligned} \quad (5.35)$$

$$\begin{aligned} x_{m,d,v} = 1 &\Rightarrow AW_{m, \lfloor d/7 + 1 \rfloor} = 1 \\ \forall d \in D_{lør} \cup D_{søn}, v \in \{D_2, T_2, T_4\} \end{aligned} \quad (5.36)$$

Det gennemsnitlige antal arbejdsweekender pr. sygeplejerske (λ_{sp}) og pr. sygehjælper (λ_{shj}) kan herved beregnes.

$$\lambda_{sp} = \frac{\sum_{m \in M_{sp}} \sum_u^U AW_{m,u}}{|M_{sp}|} \quad (5.37)$$

$$\lambda_{shj} = \frac{\sum_{m \in M_{shj}} \sum_u^U AW_{m,u}}{|M_{shj}|} \quad (5.38)$$

Ønsket er, at alle sygeplejersker får tildelt et antal arbejdsweekender så tæt på det gennemsnitlige antal arbejdsweekender pr. sygeplejerske. Dette kan opnås ved at tildele en omkostning for hver sygeplejerske proportionalt med den numeriske afvigelse fra gennemsnittet. Det samme gør sig gældende for sygehjælperne.

$$c_m^1 = |\lambda_{sp} - \sum_u^U AW_{m,u}| \quad \forall m \in M_{sp} \quad (5.39)$$

$$c_m^1 = |\lambda_{shj} - \sum_u^U AW_{m,u}| \quad \forall m \in M_{shj} \quad (5.40)$$

Med $\sum_{m \in M} c_m^1$ haves hermed et udtryk for hvor langt fra den mest ligelige fordeling af arbejdsweekender en vagtplan befinder sig.

God fordeling af beskyttede fridage

For hver medarbejder markeres med $BF_{m,u}^1$ at der for medarbejder m i uge u ikke findes de krævede to beskyttede fridøgn. Bemærk at (5.29) allerede sikrer at der findes $2 \cdot U$ beskyttede fridage i vagtplanen for hver medarbejder.

$$\sum_{d=(u-1) \cdot 7+1}^{(u-1) \cdot 7+8} x_{m,d,BF} < 2 \Rightarrow BF_{m,u}^1 = 1 \quad \forall u \in \{1, 2, \dots, U\}, \forall m \in M \quad (5.41)$$

For hver medarbejder markeres med $BF_{m,u}^2$ antallet af beskyttede fridøgn der ikke er placeret på en lørdage eller søndag i uge u .

$$BF_{m,u}^2 = \sum_{d=(u-1) \cdot 7+1}^{(u-1) \cdot 7+8} x_{m,d,BF} - \sum_{d=(u-1) \cdot 7+6}^{(u-1) \cdot 7+8} x_{m,d,BF} \quad \forall u \in \{1, 2, \dots, U\}, \forall m \in M \quad (5.42)$$

Herved kan der for hver medarbejder m angives en værdi ved c_m^2 som udtryk for hvor god placeringen af beskyttede fridage er, hvor så lav en værdi som muligt ønskes.

$$c_m^2 = \sum_{u=1}^U BF_{m,u}^1 \cdot \gamma_1^1 + \sum_{u=1}^U BF_{m,d}^2 \cdot \gamma_2^1$$

$$\forall m \in M, d' \in \{man, tir, ons, tor, fre, lør, søn\} \quad (5.43)$$

Objektfunktionen

Der ønskes vagtplaner som for hver medarbejder minimerer straffen der gives for ikke at overholde ønsket om ligelig fordeling af weekendarbejde og ønsket om en god fordeling af beskyttede fridøgn. Hver af disse kriterier er repræsenteret ved omkostningerne c^1 og c^2 , med γ^1 og γ^2 til angivelse af vægtningen af omkostningerne. Den vægtede sum af omkostningerne udtrykker hermed vagtplanens kvalitet, hvor så lave omkostninger som muligt ønskes.

$$\min \sum_{m \in M} c_m^1 \cdot \gamma^1 + \sum_{m \in M} c_m^2 \cdot \gamma^2 \quad (5.44)$$

Kapitel 6

En fælles model

Beskrivelserne af de tre afdelingers krav til en vagtplan viser at visse elementer går igen i alle tre afdelinger, men også at der findes en hel del forskelle mellem afdelingernes krav til en vagtplan. Det er ikke overraskende at der er forskelle på de krav der stilles til en vagtplan, dels kan der være stor forskel på det arbejde som udføres på afdelingerne, hvilket medfører forskellige krav til personalet, dels har mange hospitalsafdelinger eksisteret i mange år, hvilket i nogle afdelinger manifesterer sig i fastholdes af nogle gamle vaner, som ikke længere nødvendigvis er de mest hensigtsmæssige.

Efter samtaler med mange vagtplanlæggere, står det klart at de alle er nødsaget til at have en pragmatisk indgangsvinkel til udarbejdelsen af vagtplaner. At lægge en vagtplan er så stort et puslespil, at det sjældent lykkedes at tilgode-se alle regler eller ønsker. Derfor udarbejdes de som regel ved at de uønskede vagter placeres først i en ny vagtplan, og det er oftest weekendarbejdet. Dernæst er det typisk nattevagter som fordeles så rimeligt som muligt og til sidst ”fyldes op” med de øvrige vagter. Nogle afdelinger tilgodeser de ansattes ønsker om vagter på bestemte tidspunkter eller fridage på bestemte dage - andre, som Anæstesi- og operationsafdelingen på Rigshospitalet, finder processen problematisk nok i forvejen uden disse hensyn, hvorfor der ikke tages disse specielle hensyn til de ansattes ønsker og lader det være op til de enkelte at bytte vagter når en ny vagtplan er udarbejdet.

Vagtplanlæggerne er udemærket klar over, at der ikke manuelt kan udarbejdes en perfekt vagtplan - og i erkendelse heraf, er de fleste i praksis indstillet på at bøje deres krav til vagtplanen og foreksempel spørge en af de ansatte om de har mulighed for at tage en vagt som efter reglerne ikke ville være mulig. Derfor skal de opstillede krav for de tre afdelinger, beskrevet i kapitel 3,4 og 5, nok nærmere betragtes som ideelle krav, som i afdelingernes hverdag nok forsøges overholdt, men i lige så høj grad brudt. Derfor er det problematisk at modellere nøjagtig de forhold som tages i betragtning ved vagtplanlægningen på en hospitalsafdeling. Selv hvis det var muligt præcist at specificere kravene til en vagtplan, så ses det af forskelligheden i de tre afdelinger beskrevet i kapitel 3-5, at de fælles træk der findes mellem afdelingerne begrænser sig til de overordnede begreber. Alle tre

afdelinger har selvfølgelig opdelt døgn i vagttyper og til disse vagttyper findes bemandingskrav - men opdelingen i vagttyper er vidt forskellig fra afdeling til afdeling ligesom typerne af bemandingskrav. De fleste afdelinger benytter en form for kategorisering af de ansatte, enten i form af deres faggruppe (sygeplejerske, sygehjælper osv.), i form af deres anciennitetsniveau eller specielle kompetenceområder. Ligeledes har afdelingerne også en række vagtmønstre som er ønskede eller direkte forbudte. Alle disse fælles træk kan formentlig udtrykkes i en formel model, men modellen vil være på så generelt et niveau at den næppe vil være anvendelig. På denne baggrund vil tanken om et fælles effekgenerelt vagtplanlægningsværktøj der kan benyttes på alle hospitalsafdelinger formentlig kun blive ved en tanke. Der kan selvfølgelig udarbejdes et IT-system der er så generelt at det er muligt at beskrive de fleste vagtstrukturer, bemandingsstrukturer og f.eks. mulighed for at definere ønskede eller uønskede vagtmønstre. Men på grund af vagtplanlægningsproblemet kompleks natur vil det være yderst problematisk at udarbejde en løsning der effektivt, det vil sige med en køretid der ligger inde for rimelig tid, genererer vagtplaner. Ønsket om et samlet produkt der kan udarbejde vagtplaner for enhver hospitalsafdeling, vil qua afdelingernes forskellighed formentlig kun kunne lade sig gøre hvis man udarbejder et generelt værktøj til beskrivelse af vagtplaner. Med et generelt værktøj vil det formentlig være muligt at specificere kravene til gode og dårlige vagtplaner, men yderst vanskeligt at foretage genereringen af vagtplaner i rimelig tid. Mere realistisk er det nok at udarbejde en form for ramme-system, som kan tilpasses for hver enkelt afdeling. Herved bevæger man sig fra ønsket om det ideelle system som en vagtplanlægger på et hospital kan benytte uden at have en dybere datalogisk forståelse, til et system som vil kræve tilpasning/videreudvikling af datalogiske fagfolk. Et bud på sådan en algoritmisk ramme vil blive udarbejdet i det følgende og som udgangspunkt er Anæstesi- og operationsklinikken, afsnit 4231 på Rigshospitalet (beskrevet i kapitel 3) benyttet.

Kapitel 7

Hvad har andre gjort ?

Vagtplanlægning for sygeplejersker er et velkendt kombinatorisk optimeringsproblem, hvorfor det kan være interessant at se nærmere på de i litteraturen beskrevne løsningsmetoder. Derved kan der måske opnåes en indikation af hvilke retninger det vil være interessant at bevæge sig, når problemet i dette speciale skal løses.

Typisk opdeles problemet med udarbejdelsen af vagtplaner i to kategorier: cykliske vagtplaner og ikke-cykliske vagtplaner. Cykliske vagtplaner er planer der kan genbruges igen og igen, hvor individuelle vagtplaner kan roteres mellem de ansatte. Herved opnåes med tiden en ligelig fordeling af uønskede vagtmønstre blandt de ansatte, da alle på skift bliver roteret igennem hver vagtplan. Heraf navnet cyklisk.

Ikke-cykliske vagtplaner er vagtplaner der ikke kan roteres mellem de ansatte og må udarbejdes på ny ved slutningen af den sidste vagtplan. Sådanne planer tager typisk højde for individuelle ønsker, så som ønsket om fridage, ferie, kursus osv., hvorfor individuelle ikke-cykliske vagtplaner vanskeligt lader sig rotere blandt de ansatte. Derved vanskeliggøres det at udarbejde vagtplaner der fordeler de uønskede vagtmønstre rimeligt blandt de ansatte. Endvidere er ikke-cykliske vagtplaner normalt af en længere periode end cykliske-vagtplaner, hvilket øger sværhedsgraden.

Det kunne synes at cykliske vagtplaner udelukkende har teoretisk interesse, da de skal udarbejdes på ny så snart der er ændring i bemandingskrav, fratrædelse/ansættelse af medarbejdere, ønske om fridage og lignende. Dette aspekt må vanskeliggøre brugen af cykliske vagtplaner i praksis, hvilket støttes af blandt andet [10], s. 38, hvor det nævnes at selv om der på afdelinger benyttes cykliske planer, så er de faktiske planer ikke cykliske og skal jævnligt korrigeres. Litteraturen der beskæftiger sig med cyklisk vagtplaner, er enten af en ældre dato og med deraf følgende, meget små probleminstanser [13] (1-uges planer kun med angivelse af arbejdsdag/fridag), eller også er det cykliske vagtplaner til *shift scheduling*. Shift scheduling adskiller sig fra vagtplanlægning til sygeplejersker ved at der til shift scheduling normalt planlægges for en enkelt dag med et stort

antal vagtskift og normalt med ønske om minimering af antallet af ansatte. Antallet af ansatte er normalt statisk på et hospital, da de ofte opererer med fastansat personale der skal modtage deres hyre uanset om de bliver tildelt vagter eller ej. Derfor synes det vanskeligt at drage paralleler mellem vagtplanlægning på et hospital i nutidens Danmark og litteraturen over problemer af typen shift scheduling samt litteraturen over vagtplaner der er cykliske.

I det følgende findes et kort resume af den i litteraturen beskrevne metoder til generering af ikke-cykliske vagtplaner.

7.1 Ikke-cykliske vagtplaner

Dowland [12] genererer 14-dages vagtplaner med to vagttyper i døgnet ved hjælp af tabu søgning. Alle kombinationer af vagtplaner for en medarbejder genereres på forhånd og tildeles en straf, efter i hvor høj grad medarbejdernes ønske om fridag opfyldes, samt efter en ikke nærmere defineret "overall quality". Kombinationer af de, på forhånd genererede vagtplaner gennemses ved hjælp af tabu-søgning med målet at minimere en vagtplans sum af strafværdier, under hensyntagen til at alle bemandingskrav dækkes. Løsningskvaliteten på data fra en hospitalsafdeling samt selv-genereret data, lå max. 10 % fra optimum og blev fundet i løbet af 1-2,5 minutter på en 60 MHz Pentium pc.

Aickelin et al. [14] genererer 1-uges vagtplaner med 2 vagttyper pr. døgn ved hjælp af en genetisk algoritme. Alle kombinationer af vagtplaner for en medarbejder genereres på forhånd og tildeles en straf efter i hvor høj grad medarbejdernes ønske om fridag opfyldes, hvor høj grad ønsker og upopulære vagter er ligeligt fordelt. Fremgangsmåden er at benytte en indirekte kodning baseret på permutationer af sygeplejersker og en heuristisk dekoder som bygger samlede vagtplaner på baggrund af permutationerne. Af de genererede vagtplaner, på data fra et hospital, var mere end halvdelen løst til optimum og resten indenfor 2% af optimum. Kørselstiden fremgår ikke tydeligt, men påstås at være hurtigere end tabu-søgningen fra Dowland [12]. (Dowland er medforfatter...)

Leedgaard et al. [15] benytter simuleret udglødning til at generere 4-ugers vagtplaner til forretninger i detailbranchen, hvor der ikke er krav om døgnbemanding, men dog med åbningstider der er så lange at vagtskift er nødvendigt. Dog er der ikke behov for belægning af vagter på søndage, da forretningerne holder lukket. Alligevel minder deres problem om vagtplanlægning til hospitalspersonale, da der er tale om at en del af personalet er fastansat og derved har krav på et vist antal timer hver uge. Endvidere skal der overholdes en lang række krav, for at de ansatte kan være tilfredse med de udarbejdede vagtplaner - så som minimum en lørdag fri pr. måned, minimum en fridag på en hverdag osv. Problemet løses i tre faser: 1) generering af alle lovlige 1-uges planer for de fuldtidsansatte, 2) Heuristisk sammensætning af 4 1-uges planer for de fuldtidsansatte, med simuleret udglødning og 3) heuristisk tildeling af deltidsansatte til perioder med underbemanding. Fase 2 kan resultere i overtrædelse af regler når 1-uges planer

kombineres, hvilket straffes med en omkostning der har en størrelse der afhænger af hvor alvorlig overtrædelsen er. Kørselstiderne på en 200 MHz Pentium, viste at der bruges ca. 20 minutter på at opnå brugbare resultater.

Thorup [10] genererer 4-ugers vagtplaner med 3 vagttyper i døgnet ved hjælp af 0-1 MIP (Mixed Integer Programming). Her genereres på forhånd alle mulige lovlige kombinationer af vagtplaner for hver medarbejder, hvor en lovlig plan er en plan der overholder 13 regler (så som fri på bestemte dage, det maksimale antal arbejdsdage i en periode må ikke overskride en bestemt grænse, bestemte vagttyper på bestemte dage). Samlede vagtplaner genereres ved hjælp af at relaksere heltalskravet for MIP-modellen (hvor vagtplaner er variable og bemandingskravene er restriktioner) og løser dette LP-problem med CPLEX og herefter branch & bound indtil en heltallig løsning er fundet. Målet var at minimere de samlede omkostninger ved en vagtplan, hvor der med omkostninger menes antallet af ikke-primær vagter og antal overtrædelser af 11-timers reglen. Ikke-primær vagter defineres til at være vagter som en sygeplejerske ikke er ansat til at udføre, f.eks. er en dagvags-sygeplejerske primært ansat til at udføre dagvagter og ikke aften- og nattevagter. Løsningskvaliteten, på data fra Sundby Hospital, er på maksimalt 1 % fra optimum og blev fundet i løbet af 1,5 sekunder til 3,5 minutter med ca. 30 medarbejdere hvor hukommelsesforbruget var op til 52 MB på en HP K460-EG maskine med HP-UX 10.20.

Mason [11] løste et vagtplanlægningsproblem bestående af 86 sygeplejersker, 7 forskellige kompetenceniveauer, 5 vagttyper pr. dag over en planlægningshorisont på 28 dage. Den benyttede løsningsmetode bestod i at løse et set covering problem ved hjælp af kolonnegenerering, hvor nye kolonner blev genereret ved hjælp af et korteste vej netværk. De rapporterede resultater var tilsyneladende gode og blev fundet på under 5 minutter på en 486DX pc. Dog skal det bemærkes at korteste vej netværket bestod af omkring 35.000 knuder og ca. 140.000 kanter, som på forhånd var genereret.

Kapitel 8

Hvordan løses problemet her ?

Udarbejdelsen af vagtplaner til et hospitalspersonale indeholder den store udfordring, at der findes en lang række hårde begrænsninger der *skal* overholdes. Blot det at finde en lovlig løsning er problematisk - hvilket er et af de områder der adskiller dette problem fra mange andre kombinatoriske optimeringsproblemer. Endvidere sætter en planlægningshorisont på 14 uger store begrænsninger på valget af løsningsmetode. Metoder som dem der er benyttet af Dowsland [12], Aickelin [14] og Thorup [10], hvor der på forhånd genereres alle lovlige løsninger, er begrænset til vagtplaner med en mindre planlægningshorisont. Masons [11] metode lider under samme problem, da det er tvivlsomt om det kan svare sig at generere et korteste vej netværk for en 14-ugers periode, da et sådan netværk vil få et omfang der er markant større end de ca. 35.000 knuder og ca. 140.000 kanter for 4-ugers problemet.

Derimod ser en metode som den benyttet af Leedgaard [15], hvor der på forhånd kun genereres 1-uges planer som efterfølgende sættes sammen til en fuld vagtplan, umiddelbart ud til at være en mere realistisk angrebsvinkel til et problem med en 14 ugers planlægningshorisont, hvorfor en løsning i den stil er benyttet her.

Den anvendte løsningsmodel i dette projekt er opdelt tre faser:

- 1) generering af alle lovlige 1-uges planer
- 2) løsning af et 1-uges set covering problem
- 3) For hele 14-ugers perioden foretages ombytning af 1-uges planer mellem de ansatte

Fase 2+3 gentages indtil et tilfredsstillende resultat er nået. Et tilfredsstillende resultatet er en vagtplan der er lovlig og med så lille en objektværdi som muligt. Hele modellen er implementeret i *c* hvor der til løsning af fase 2 benyttes kald til et bibliotek af funktioner fra ILOG CPLEX ver. 6.5.

8.1 Fase 1: Generering af 1-uges planer

En 1-uges plan er en vagtplan for 7 dage, mandag til søndag, som ikke er tilknyttet en medarbejder, se tabel 8.1 for et eksempel.

Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
D_1	D_1	L_2	D_1	D_2	BF	BF

Tabel 8.1: Et eksempel på en 1-ugesplan.

Hver af de 7 dage skal indeholde enten en vagttype eller en fridagstype, som angivet i tabel 8.2.

	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
vagttype	D_1	D_1	D_1	D_1	D_2		
	L_1	L_1	L_2	L_2	L_3		
	A_1	A_1	A_1	A_1	A_2		
	N_1	N_1	N_1	N_1	N_2	N_3	N_4
fridags- type	BF	BF	BF	BF	BF	BF	BF
	NL	NL	NL	NL	NL	NL	NL
	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD

Tabel 8.2: Vagttyper og fridagstyper angivet på de tilhørende ugedage.

På denne vis vil der være mulighed for at generere $7 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 4 = 268.912$ forskellige 1-uges planer. Men en del af disse vagtplaner vil være ulovlige da de ikke overholder de i kapitel 2 angivne begrænsninger, som for overskuelighedens skyld er gengivet i det følgende. Begrænsninger for en vagtplan:

- A) Bemandingskrav (3.1-3.26)
- B) Ikke alle vagttyper tilladt hver dag (3.27-3.31)
- C) Kun een aktivitet i døgnet (3.32)
- D) To beskyttede fridøgn i hver uge (3.33)
- E) En hviledag efter en nattevagt (3.34)
- F) En ugentlig nul-dag til de deltidsansatte (3.35)
- G) Aldrig to weekender i træk med arbejde (3.36)
- H) Aldrig en N_2 fredag og en N_4 søndag (3.37)
- I) Timetallene skal overholdes (3.38-3.39)
- J) Max. 5 dage i træk med vagter (3.40)
- K) Ligelig fordeling af nattearbejde (3.41-3.43)

- L) God fordeling af nul-dage (3.44-3.46)
- M) God fordeling af beskyttede fridøgn (3.47-3.49)

Begrænsningerne A til J kan betragtes som hårde begrænsninger, det vil sige begrænsninger som skal være overholdt for at en vagtplan kan være lovlig. Begrænsningerne K til M er bløde begrænsninger, som tillades brudt i en lovlig løsning men som er afgørende for kvaliteten i en lovlig løsning.

Begrænsningerne søges overholdt i forskellige faser af løsningsmodellen, nærmere bestemt på følgende vis:

- Fase 1: B,C,D,E*,H,I*,F*.
- Fase 2: A,F*,I*.
- Fase 3: E*,F*,G,I*,J*,(K,L,M).

Begrænsningerne markeret med * angiver begrænsninger der skal overholdes i flere faser.

E) ”En hviledag efter en nattevagt” kan i fase 1, hvor der genereres 1-uges planer, kun overholdes mandag til søndag, mens der i fase 3, hvor 1-uges planerne kobles sammen sikres at der ikke findes en 1-uges plan med en nattevagt søndag der efterfølges af en 1-uges plan med en arbejdsdag om mandagen.

F) ”En ugentlig nul-dag til de deltidsansatte” er nødvendig at sikre allerede i fase 1, således at der genereres 1-uges planer der har en ugentlig nul-dag. Ligeledes er det nødvendigt i fase 2 at sikre at der blandt de 1-uges planer som der indgår i løsningen af set covering problemet findes 1-uges planer der har en nul-dag. Sluttelig er det i fase 3 nødvendigt at 1-uges planer med nul-dage tildeles de deltidsansatte.

I) ”Timetallene skal overholdes” er nødvendig at overholde i både fase 1, 2 og 3. I fase 1 genereres kun 1-uges planer der indeholder vagter der timemæssigt summerer til en af følgende: $30,5 \pm 3$, 32 ± 3 eller 37 ± 3 , hvorved der ikke benyttes hverken tid eller plads til vagtplaner uden for disse grupper. I fase 2 stilles krav om at en vis del af 1-uges planerne skal have timetal i nærheden af hver af de tre timetalsgrupper (30,5, 32 og 37). I fase 3 sikres at når 1-uges planer sættes sammen til 14-uges planer, så summerer timetallene for hver uge sammen til en sum der stemmer med hver af de ansattes timetal set over en 14-ugers periode.

J) ”Max. 5 dage i træk med vagter”, sikres det i fase 1 at dette overholdes mandag til søndag, mens sammensætningen af 1-uges planer i fase 3 aldrig kan resultere i mere end 5 dage i træk med vagter, så længe begrænsning E er overholdt. Dette ses af det faktum at den eneste vagttype der findes om søndagen er en nattevagt og begrænsning E sikrer netop at en nattevagt altid efterfølges af en hviledag - hvilket forhindrer overskridelse af begrænsning J ved overgangen mellem to 1-uges planer.

Først i fase 3 tages der hensyn til de bløde begrænsninger K, L og M - som hver især giver en værdi som mål for hvor meget de tre bløde begrænsninger er overtrådt. Denne værdi er modellens objektværdi og ønskes minimeret.

Ved at overholde ovenstående begrænsninger angivet ved fase 1, bliver der genereret 1.586 lovlige 1-uges planer som alle indgår i fase 2.

8.2 Fase 2: løsning af 1-uges set-covering problemet

For at udarbejde en brugbar vagtplan skal de genererede 1-uges planer sættes sammen til 14-uges planer for hver af de ansatte. Det er ikke en triviel opgave, da denne sammensætning giver anledning til en række forskellige problemer. Eksempelvis er det ikke tilladt at tildele sygehjælpere en 1-uges plan indeholdende nattevagter, ligesom det er nødvendigt at summen af arbejdstimer for alle de 14 1-uges planer der er tilknyttet en enkelt medarbejder skal stemme med det timetal som medarbejderen kontraktligt er forpligtiget til at arbejde. Disse problemer kan opdeles i nedenstående 5 kategorier:

- 1) Ulovlig 1-uges plan
- 2) Utilstrækkelig bemanning (vertikalt problem)
- 3) Forkert antal tildelte timer til en ansat (Horisontalt problem)
- 4) Ulovlig medarbejder tilknytning
- 5) Ulovlig sammenkædning af to 1-uges planer

Problemer i kategori 1 er alle elimineret i fase 1 hvor kun lovlige 1-uges planer genereres. Utilstrækkelig bemanning af vagter løses hovedsagligt her i fase 2 og de resterende problemer (kategori 3-5) løses i fase 3 (inklusive særtilfælde af bemandingskravene, mere herom senere).

For at opfylde bemandingskravene udvælges en mængde 1-uges planer der tilsammen opfylder bemandingskravene for hver vagt i en enkelt uge. Da bemandingskravene er de samme for hver uge, kan denne udvalgte mængde af 1-uges planer genbruges for samtlige 14 uger.

Dette problem løses som et set-covering problem bestående af de i fase 1 genererede lovlige 1-uges planer som kolonner og hver af ugens vagter som rækker. Mere formelt kan det beskrives som mængden $J = \{S_1, \dots, S_n\}$ bestående af lovlige 1-uges planer og mængden $I = \{1, \dots, m\}$ af vagter i en uge der skal dækkes af 1-uges planerne fra J . Her er det antaget at der for hver $i \in I$ eksisterer en 1-uges plan $S_j \in J$ der dækker i . Herved kan matricen A af størrelsen $m \times n$ defineres som $A = [a_{ij}]$ hvor kolonne j er 1-uges planen S_j . Det er ensbetydende med at $a_{ij} = 1$ hvis $i \in S_j$ og $a_{ij} = 0$ ellers. Afdelingens bemandingskrav til hver af ugens vagter beskrives med b_i . Herved er det muligt at definere afdelingens 1-uges vagtplanlægningsproblem som et set-covering problem (forkortes 1USCP for 1-Uges Set Covering Problem).

$$\min \quad \sum_{j=1}^n x_j \quad (8.1)$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i \quad (8.2)$$

$$x_j \in I^+ \quad (8.3)$$

$$i = 1, \dots, m \quad (8.4)$$

hvor $x_j = 1$ hvis 1-uges planen j er valgt og $x_j = 0$ ellers.

Dette problem løses med ILOG CPLEX ver. 6.5 som et heltals programmeringsproblem.

Som eksempel på løsning af et 1USCP kan det antages at der i fase 1 er genereret de i tabel 8.3 angivende 1-uges planer. Bemærk at det for overskueligheden af eksemplet begrænser sig til kun 8 1-uges planer.

	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
x_1	D_1	D_1	D_1	D_1	D_2	BF	BF
x_2	D_1	L_1	N_1	HD	D_2	BF	BF
x_3	D_1	A_1	D_1	N_1	HD	BF	BF
x_4	L_1	BF	A_1	A_1	BF	N_3	HD
x_5	A_1	N_1	HD	L_2	L_3	BF	BF
x_6	N_1	HD	L_2	NL	BF	BF	N_4
x_7	NL	L_1	BF	D_1	A_2	BF	N_4
x_8	D_1	N_1	HD	BF	N_2	HD	BF

Tabel 8.3: 1-uges planer genereret i fase 1

Hver af disse 8 1-uges planer indgår i 1USCP som en kolonne, bestående af 22 rækker. Hver række svarer til en vagt og som det ses af tabel 8.2, findes der 4 vagttyper mandag - fredag og 1 vagttyper til hver af weekendens dage, hvilket svarer til 22 rækker. Fridagstyperne ses der bort fra, da der ikke findes bemandingskrav til disse. Omkostningerne for samtlige 1-uges vagtplaner fastsættes til 1.

$$\min \quad x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$$

således at

(MAN- D_1)	$x_1 +$	$x_2 +$	$x_3 +$			x_8	≥ 15
(MAN- L_1)				x_4			$= 2$
(MAN- A_1)					x_5		$= 1$
(MAN- N_1)						x_6	$= 2$
(TIR- D_1)	x_1						≥ 15
(TIR- L_1)		$x_2 +$				x_7	$= 2$
(TIR- A_1)			x_3				$= 1$
(TIR- N_1)					$x_5 +$	x_8	$= 2$
(ONS- D_1)	$x_1 +$		x_3				≥ 15
(ONS- L_2)						x_6	$= 2$
(ONS- A_1)				x_4			$= 1$
(ONS- N_1)		x_2					$= 2$
(TOR- D_1)	$x_1 +$					x_7	≥ 15
(TOR- L_2)					x_5		$= 2$
(TOR- A_1)				x_4			$= 1$
(TOR- N_1)			x_3				$= 2$
(FRE- D_2)	$x_1 +$	x_2					≥ 12
(FRE- L_3)					x_5		$= 2$
(FRE- A_2)						x_7	$= 1$
(FRE- N_2)						x_8	$= 2$
(LØR- N_3)				x_4			$= 2$
(SØN- N_4)						$x_6 + x_7$	$= 2$

$x_1, \dots, x_8 \in I^+$

8.3 Fastsættelse af constraints

For at sikre at en løsning af 1USCP giver 1-ugesplaner der i fase 3 kan sammensættes til en lovlig 14-ugers plan, skal der tages en række forholdsregler. Eksempelvis nytter det ikke at acceptere en løsning af 1USCP hvor samtlige 1-uges planer indeholder vagter i weekenden, da det derved ikke er muligt at overholde kravet om ikke at have to uger i træk med weekendarbejde. Derfor er det nødvendigt at tilføje en række constraints til 1USCP for at muliggøre en sammensætning til en lovlig 14-ugers plan. Der skal tilføjes constraints for følgende forhold:

- Fridag efter nattevagten N_4
- Timetal
- En til hver medarbejder

Fri efter nattevagten N_4

Alle nattevagter skal efterfølges af en hviledag, hvilket der i fase 1 er taget højde for når lovlige 1-uges planer er blevet genereret. Men når 1-uges planerne skal kobles sammen skal det sikres at en 1-uges plan med en nattevagt søndag kan efterfølges af en anden 1-uges plan, hvilket kun kan lade sig gøre hvis den anden

1-uges plan indeholder en fridag om mandagen. Da bemandingskravet til nattevagten om søndagen (N_4) er 2, vil enhver løsning af 1USCP bestå af minimum en 1-uges plan indeholdende en N_4 -vagt. Derfor skal det sikres at løsningen af 1USCP indeholder minimum en 1-uges plan der har en fridag mandag. Endvidere skal det gælde at de 1-uges planer med fridag mandag ligeledes har fri i weekenden, da to uger i træk ikke må indeholde weekendarbejde.

Timetal

De ansatte er ansat til 30,5, 32 eller 37 gennemsnitligt om ugen. Gennemsnittet bliver som tidligere nævnt beregnet over 14 uger og kun en afvigelse på ± 3 timer accepteres. Det vil med andre ord sige, at en 14-ugers vagtplan til de der er ansat til 37 timer ugenligt, kun er lovlig hvis det samlede timeforbrug, svarer til $37 \cdot 14 \pm 3$. Det kan selvfølgelig ikke lade sig gøre hvis alle 1-uges planerne fra 1USCP indeholder f.eks. 38 timers arbejde. Derfor er det nødvendigt at timetallet for en vis del af 1-uges planerne ligger i et interval i nærheden af 37 - f.eks. kunne det tænkes at det med 28 ansatte hvoraf 18 skal arbejde 37 timer om uger vil være nødvendigt at 18 af 1-uges planerne fra 1USCP skal have timetal svarende til 37 ± 3 .

En til hver medarbejder

Løsningen af 1USCP skal indeholde et antal 1-uges planer der nøjagtigt svarer til antallet af medarbejdere, hvorfor der tilføjes en constraint med følgende udseende: $\sum_{j=1}^n x_j = |M|$, hvor M er mængden af medarbejdere.

8.4 Fase 3: Løsning af 14-ugers problemet

Løsningen af 1USCP giver en række 1-uges planer der dækker bemandingskravene for en enkelt uge. Ved at benytte disse 1-uges planer i hver af planlægningshorisontens 14 uger, vil bemandingskravene være opfyldt for hele vagtplanen. Herefter kan medarbejdere knyttes til alle 14-ugers planerne. Men der skal stadig opfyldes krav for hver medarbejder, såsom to uger i træk med weekendarbejde er ikke tilladt. Derfor skal 1-uges planerne arrangeres på en sådan vis at alle de hårde begrænsninger bliver opfyldt. Arrangeringen af 1-uges planerne på denne vis søges her løst ved at anvende en heuristik.

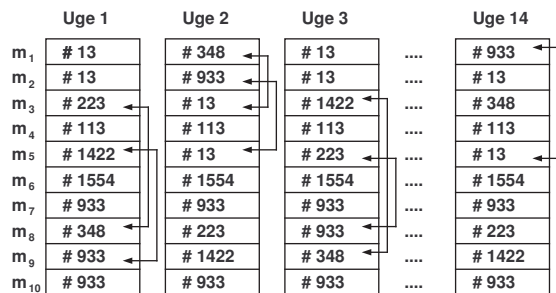
Eksempelvis kunne det tænkes at et vagtplanlægningsproblem med 10 ansatte ved løsningen af 1USCP i fase 2 ville give følgende løsning: $x_{13} = 2, x_{113} = 1, x_{223} = 1, x_{348} = 1, x_{933} = 3, x_{1422} = 1, x_{1554} = 1$. Disse 1-uges planer benyttes herefter i hver af planlægningshorisontens 14 uger, som illustreret i figur 8.1. Den illustrerede løsning er en initial løsning til 14-ugers problemet, men ikke nødvendigvis en lovlig løsning. I det illustrerede tilfælde findes en række overskridelser, i forbindelse med 1-uges plan nr. 13. Denne 1-uges plan indeholder weekendarbejde, da der er placeret en N_3 vagt om lørdagen. Ifølge begrænsning G) (8.1) er det ikke tilladt for en ansat at have to uger i træk med weekendarbejde, hvilket medfører at medarbejderne m_1 og m_2 har fået tildelt en 14-ugers

	Uge 1	Uge 2	Uge 3	....	Uge 14
m ₁	# 13	# 13	# 13	....	# 13
m ₂	# 13	# 13	# 13	....	# 13
m ₃	# 348	# 348	# 348	....	# 348
m ₄	# 113	# 113	# 113	....	# 113
m ₅	# 933	# 933	# 933	....	# 933
m ₆	# 1554	# 1554	# 1554	....	# 1554
m ₇	# 933	# 933	# 933	....	# 933
m ₈	# 223	# 223	# 223	....	# 223
m ₉	# 1422	# 1422	# 1422	....	# 1422
m ₁₀	# 933	# 933	# 933	....	# 933

# 13	D ₁	BF	BF	D ₁	D ₂	N ₃	HD
------	----------------	----	----	----------------	----------------	----------------	----

Figur 8.1: En initial løsning til 14-ugers problemet for 10 ansatte, med angivelse af 1-uges planen nr. 13

vagtplan der er ulovlig, hvorved den samlede 14-ugers plan er ulovlig. For at opnå en bedre løsning benyttes en metaheuristik til at ombytte 1-uges planer indefor hver 1-uges kolonne. En lovlig løsning på eksemplet i figur 8.1, kan forbedres med en række ombytninger som illustreret i figur 8.2.



Figur 8.2: En lovlig løsning af 14-ugers problemet for 10 ansatte, efter heuristisk ombytning af 1-uges planer.

8.4.1 Objektfunktionen

Når heuristikken, for hver uge, omrokerer 1-uges planerne for at opnå en bedre løsning, er det nødvendigt at have defineret hvad en bedre løsning er. Det endelige mål er en lovlig 14-ugers plan med så lille en overskridelse af de bløde

begrænsninger. Da problemet indeholder så mange constraints at det er problematisk at finde en lovlig løsning, er alle hårde constraints relaxeret. I stedet for kun at tillade omrokering mellem lovlige løsninger, tillades det nu at bevæge sig rundt i den del af løsningsrummet der indeholder ulovlige løsninger. Hver af de hårde constraints der er overtrådt bidrager i stedet med en straf til objektværdien og heuristikken skal derved ikke direkte tage højde for om der bevæges ind i et område med ulovlige løsninger. Der skal blot søges hen i områder af løsningsrummet hvor objektværdien bliver lavere - håbet er at der til sidst er opnået en løsning hvor objektværdien er så lav at det tilsvarende er en lovlig løsning. For at skelne mellem hvilke lovlige løsninger der er de bedste, tilføjes der til objektværdien udtryk for i hvor høj grad de bløde begrænsninger er opfyldt. Det vil med andre ord sige at objektværdien består af straf for ikke opfyldte hårde begrænsninger samt straf for ikke opfyldte bløde begrænsninger - hvor ønsket er en så lav objektværdi som muligt.

For at sikre at det af objektværdien alene kan afgøres om en 14-ugers vagtplan er lovlig eller ej, er strafværdierne for brud på de hårde begrænsninger altid større end 1000 og summen af strafværdierne for brud af de bløde begrænsninger altid mindre end 1000. Herved vides at ved en vagtplan med en objektværdi på mere end 1000 vil være en ulovlig vagtplan og en vagtplan med en objektværdi mindre end 1000 er en lovlig vagtplan.

De hårde begrænsninger der i denne problemstilling indgår i objektfunktionen er følgende:

- H1: Overholdelse af timetallene for hver af de ansatte
- H2: Overholdelse af reglerne for farvegrupper
- H3: Overholdelse af minimumsbemanding på særlige vagter
- H4: 1-uges planer til sygeplejersker må ikke tilknyttes andre typer medarbejdere
- H5: Sammenkobling af to 1-uges planer med weekendarbejde ikke tilladt
- H6: En uge med nattevagt søndag skal efterfølges af en uge med fridag mandag
- H7: En nul-dag i hver uge til de deltidsansatte

Differencen mellem summen af timerne for alle vagterne til en medarbejder og det antal timer som medarbejderen kontraktligt forpligtet til at arbejde må maksimalt være δ over 14 uger. Hvis differencen overskrider δ , er begrænsning H1 brudt og objektværdien tillægges en strafværdi på differencen multipliceret med c , hvor det gælder at $\delta \cdot c = 1000$. Hvis differencen ikke overskrider δ for en medarbejder, tillægges ingen værdi til objektværdien for den medarbejder. Herved vil en overtrædelse af H1 altid resultere i en værdi på minimum 1000.

Som tidligere nævnt bliver der i fase 2 sørget for at bemandingskravene til alle ugens vagter er overholdt - dog er det først i fase 3 at det er muligt at overholde H2 og H3. For hver overtrædelse af H2 til H7 tillægges 1000 til objektværdien.

De bløde begrænsninger består af de i kapitel 3 beskrevne begrænsninger (3.41-3.49), som kort skal nævnes her:

- B1: Ligelig fordeling af weekendarbejde
- B2: God fordeling af nul-dage
- B3: God fordeling af beskyttede fridage

Herved opnåes samlet en objektværdi der angiver en lovlig vagtplan når værdien er mindre end eller lig 1000 og en ulovlig vagtplan når værdien er større end 1000.

8.5 Tilføjelse af constraints

Når heuristikken er afsluttet og det derved er vurderet at der med de 1-uges planer der er udvalgt med 1USCP ikke kan findes en bedre 14-ugers vagtplan, kan 1USCP løses på ny. For at sikre at 1USCP ikke blot giver samme resultat hver gang problemet løses, er det nødvendigt at tilføje constraints til 1USCP således at den samme løsningskombination ikke længere tillades som en mulig løsning.

Hvis en løsning til 1USCP for eksempel giver følgende resultat: $x_1 = 5, x_{76} = 4, x_{140} = 2, x_{1523} = 17$, skal det sikres at næste iteration ikke genererer en løsning der er magen til. Det kræver at der tilføjes constraints til 1USCP svarende til:

$$x_1 \neq 5 \vee x_{76} \neq 4 \vee x_{140} \neq 2 \vee x_{1523} \neq 17 \quad (8.5)$$

hvilket alternativt kan udtrykkes på følgende vis:

$$\begin{aligned} x_1 < 5 \vee x_1 > 5 & \vee \\ x_{76} < 4 \vee x_{76} > 4 & \vee \\ x_{140} < 2 \vee x_{140} > 2 & \vee \\ x_{1523} < 17 \vee x_{1523} > 17 & \end{aligned}$$

Generelt kan det udtrykkes ved at for hver kolonne der har indgået i en løsning til 1USCP, $x_j = y_j | y_j > 0$ skal der tilføjes constraints til 1USCP på følgende form:

$$x_j < y_j \vee x_j > y_j \quad (8.6)$$

For heltals programmerings problemer gælder det at constraints implicit er forbundet med logisk "og", hvilket vil sige at alle constraints skal overholdes. Derfor

er det nødvendigt at omskrive 8.6 således at alle logiske "eller"udtryk elimineres og kun logiske "og" benyttes. Til dette formål benyttes indikator variable og indikator logik, som beskrevet af [20] (s.178-190). En indikator variabel δ_i kan kun indtage værdien 0 eller 1, hvor 0 indikerer at et udtryk ikke er opfyldt og 1 indikerer at udtryk er opfyldt. Herved kan en indikator variabel tilknyttes hver af de 3 udtryk i 8.6, således opnåes følgende:

$$\delta_1 = 1 \Leftrightarrow x_j < y_j \quad (8.7)$$

$$\delta_2 = 1 \Leftrightarrow x_j > y_j \quad (8.8)$$

$$\delta_3 = 1 \Leftrightarrow \delta_1 = 1 \vee \delta_2 = 1 \quad (8.9)$$

For at det er muligt at tilføje de logiske udtryk 8.7-8.9 til 1USCP er det nødvendigt først at linarisere dem. Til dette formål udnyttes at der ifølge [20] gælder at det logiske udtryk $\delta_1 = 1 \Leftrightarrow x_j \leq y_j$ (8.7) kan linariseres med følgende udtryk:

$$x_j + B\delta_1 \leq B + y_j \quad (8.10)$$

$$x_j - (b - \epsilon)\delta_1 \geq y_j + \epsilon \quad (8.11)$$

hvor det gælder at B er en øvre grænse for $x_j - y_j$ og b er en nedre grænse for $x_j - y_j$. Ligeledes udnyttes at der for logiske udtryk af typen $\delta_2 = 1 \Leftrightarrow x_j \geq y_j$ (8.8) kan udledes linariserede udtryk ved brug af følgende udtryk:

$$x_j + b\delta_2 \geq b + y_j \quad (8.12)$$

$$x_j - (B + \epsilon)\delta_2 \leq y_j - \epsilon \quad (8.13)$$

Sluttelig gælder at udtryk af typen $\delta_3 = 1 \Leftrightarrow \delta_1 = 1 \vee \delta_2 = 1$ (8.9) kan linariseres ved følgende udtryk:

$$\delta_1 + \delta_2 - \delta_3 \geq 0 \quad (8.14)$$

$$\delta_1 + \delta_2 - 2\delta_3 \leq 0 \quad (8.15)$$

Med disse linariserede udtryk er det hermed muligt at tilføje 6 constraints for hver kolonne i løsningen af 1USCP, således at hver kolonne der indgår i løsningen får tilføjet constraints af formen 8.6. Det bevirker at der for hver kolonne er benyttet tre separate indikator variable, hvoraf δ_3 vil indikere om udtrykket 8.6 er opfyldt for kolonne x_j . Tilbage står herefter kun at sikre at minimum et af 8.6 er opfyldt - hvilket vil kræve at minimum een δ_3 skal være sand. Det vil med andre ord sige at følgende skal være opfyldt:

$$\delta_3 \vee \delta'_3 \vee \delta''_3 \dots \quad (8.16)$$

Dette sikres ved at linarisere 8.16 hvilket gøres ved følgende udtryk som tilføjes til 1USCP:

$$\delta_3 + \delta'_3 + \delta''_3 \dots \geq 1 \quad (8.17)$$

Eksempelvis vil en løsning af 1USCP svarende til førnævnte eksempel $x_1 = 5, x_{76} = 4, x_{140} = 2, x_{1523} = 17$ resultere i 25 nye constraints til 1USCP, 6 constraints for hver af kolonnerne der indgik i løsningen (8.10-8.15) og 1 constraint til at "kæde" dem sammen (8.17).

Kapitel 9

Metaheuristikker

I forrige kapitel blev løsningsmodellen for 14-ugers vagtplanlægningsproblemet præsenteret som en 3-fase model. I den 3. og sidste fase foretages ombytninger af 1-uges planer vha. en heuristik. Denne heuristik er blevet implementeret ved hjælp af metaheuristikkerne tabu søgning og simuleret udglødning. Disse metaheuristikker præsenteres i dette kapitel, sammen med en beskrivelse af lokalsøgning og definitionen af nabolag, som er grundlæggende elementer i både tabu søgning og simuleret udglødning.

9.1 Lokalsøgning

Lokal søgning (Eng: *Local Search*) er en simpel heuristik til at løse kombinatoriske problemer. En lokal søgning søger efter et lokalt optimum og i følge [18] kan det defineres med udgangspunkt i mængden S bestående af samtlige lovlige løsninger og objektfunktionen $g(s)$, $s \in S$ som giver et mål for omkostningen af løsning s . Målet er at finde løsningen $s \in S$ der minimerer (hvis der er tale om en minimeringsproblem) objektfunktionen g . Det kan udtrykkes som $\min g(s)$, $s \in S$.

Et nabolag (eng.: *neighborhood*), er givet ved funktionen $N(s)$, $s \in S$ og giver alle løsninger der kan nås fra s ved en enkelt overgang. Ved en overgang menes der overgang fra en kandidatløsning til en anden med kun en lille ændring. En løsning s_* kaldes et lokalt minimum af g i forhold til nabolaget N hvis: $g(s_*) \leq g(s'), \forall s' \in N(s_*)$

Lokal søgning søger at minimere objektfunktionen g i et antal skridt, hvor det for hvert skridt gælder at løsningen x erstattes med løsning s' sådan at det gælder at $g(s') < g(s)$, $s' \in N(s)$.

Der findes forskellige varianter af Lokal søgning og den her beskrevne er den grundlæggende form for lokal søgning som ofte kaldes for *Steepest Descent*. Som

det ses af ovenstående udfører den kun skridt der forbedrer objektværdien og vil derfor ifølge [19] først terminere når intet nabolag med en bedre løsning kan genereres. Ifølge [16] benyttes denne metode ofte som en ”genstarts-algoritme, dvs. man finder en tilfældig startløsning, lader algoritmen finde ned til det lokale minimum, genstarter med en ny tilfældig løsning og håber at man på et tidspunkt finder bedre løsninger.

En variant af lokal søgningen, er *Hill Climbing* som for kun foretager forbedrende skridt eller skridt til siden, dvs. overgange der ikke ændrer objektfunktionen. Alternativt kan overgangsfunktionen defineres til blot at vælge den første overgang der forbedrer objektfunktionen, også kaldet *first fit*.

Valget af lokal søgningsmetode afhænger i høj grad af nabolagets størrelse, dvs. at hvis nabolagsfunktionen $N(s)$ genererer en relativ lille mængde af nabolagsløsninger kan det være attraktivt at gennemsøge alle disse for at finde den bedste, dvs. *steepest descent*. Derimod resulterer et stort nabolag oplagt i en længere køretid hvis hele nabolaget ønskes gennemført, hvorfor det kan være en fordel at vælge den først kommende løsning der giver en forbedring af objektværdien, dvs. *first fit*.

Da det er en Lokal søgning, kan det opnåede minimum vise sig at være langt fra det globale. For at finde det globale minimum, kombineres lokal søgning ofte med en metaheuristik som f.eks. Simuleret nedkøling eller tabu søgning.

9.2 Tabu søgning

Tabu søgning er en metaheuristik som stammer tilbage fra midt 80’erne og har siden da givet gode resultater til en lang række kombinatoriske optimeringsproblemer. Heuristikken bygger på lokal søgning, typisk en *steepest descent*, og søger at hjælpe lokal søgningen ud af lokale minima ved at tillade ikke-forbedrende løsninger. Tanken er, at der ved at tillade ikke-forbedrende løsninger i lokal søgningen, at søgningen bliver tvunget væk fra det lokale minima og over i andre løsningsområder. Brugen af ikke-forbedrende løsninger kan lede til cykling frem og tilbage mellem de samme løsning, hvorfor visse løsninger gøres ulovlige. For at holde rede på de ulovlige løsninger benyttes en liste, kaldet en tabu liste. Overordnet set kan tabu søgning eksempelvis deles op i brugen af følgende elementer *tabu listen*, *aspirationskriterie* og *afveksling* (eng: *diversification*).

9.2.1 Tabu listen

Hovedelementet i tabu søgning er brugen af en liste af forbudte løsninger - tabu listen. Med denne liste, er det muligt at tillade at lokal søgningen foretager ikke-forbedrende overgange uden at der umiddelbart vendes tilbage til allerede besøgte løsninger. Men da løsningsrummet ofte er astronomisk vil det være begrænset hvor mange løsninger man kan lagre. Derfor benyttes tabu listen typisk til at lagre *overgange* frem for løsninger, hvorved hele klasser af løsninger forbydes på een gang. Herved opnåes normalt en betydelig hukommelsesbesparelse

da en overgang normalt optager mindre lagerplads end hele løsninger. Definitionen af en tabu liste fremkalder spørgsmålene om hvornår en overgang skal forbydes og hvor længe forbudet skal opretholdes. Da et af formålene med tabu listen er at forhindre cykling, bør tabu listen forhindre at der ved opnåelse af en løsning umiddelbart herefter kan vendes tilbage til tilstanden umiddelbart før løsningen blev opnået. Med andre ord skal det forbydes at foretage den inverse overgang umiddelbart efter en overgang.

Til spørgsmålet om hvor længe en overgang skal forblive forbudt, kan der, i følge [16], ikke gives et entydigt svar. Generelt kan det sige, at varigheden af et forbud ikke skal være for kort, da det kan resultere i cyklisk opførsel, men heller ikke for lang da det kan sætte for store begrænsninger på søgningen. Typisk benyttes en kø-struktur til behandling af tabu listen, hvor en forbudt overgang placeres bagerst i køen samtidig med at den forbudte overgang placeret forrest i køen fjernes (svarende til den ældste). Herved svarer spørgsmålet om varigheden af et forbud til længden af køen. Flere varianter af tabu listen findes i følge [17], som nævner at tabu lister med fast længde ikke altid kan forhindre cyklisk opførsel, hvorfor en variation af længden undervejs i søgeprocessen kan være løsningen. Fastsættelse af denne længden af tabu listen, for både en konstant længde og variabel længde, kræver normalt at der udføres eksperimenter med forskellige længder, før der for et givent problem kan fastsættes en optimal længde.

9.2.2 Aspirationskriterie

Til tider kan tabu listen virke for restriktiv på søgeprocessen, resulterende i at attraktive overgange forbydes selv om der ikke er fare for cykling. For at undgå denne situation og tillade udførelsen af overgange som er tabu, indføres et aspirationskriterie. Når dette kriterie er overholdt tillades en overgang, også selv om overgangen er tabu. Det simpleste aspirationskriterie, som i følge [17], findes i næsten alle implementeringer af tabu søgning, er at tillade en overgang hvis det resulterer i en lavere objektværdi end den hidtil bedste objektværdi. Umiddelbart giver det ganske god mening at bryde tabuet i denne situation, da en løsning med en forbedring af objektværdien tydeligvis er en løsning, der ikke tidligere er besøgt. Andre aspirationskriterier kunne være en probalistisk variant af førnævnte eller accept af en løsning der er bedre end den løsning der lige er forladt (uden at det nødvendigvis har givet en ny laveste objektværdi).

9.2.3 Afveksling

Et af de store problemer der kan opstå ved at benytte en lokal søgning i tabu søgningen, er at søgningen, på trods af brugen af tabu lister, kan risikere ikke at kunne bevæge sig langt nok væk fra et lokalt minima til at nye løsningsområder med bedre løsninger bliver udforsket. Derfor kan der være brug for en form for afveksling i søgningen, så nye løsningsområder kan blive gennemført. Afveksling kan opnåes på flere forskellige måder, hvoraf de mest kendte i følge [17], er *genstarts-afveksling* (eng.: *restart diversification*) og *kontinuert-afveksling* (eng.: *continuous diversification*). Begge metoder benytter sig af en form for langtids-

hukommelse af søgeprocessen, hvor der lagres oplysninger om hvor hyppigt bestemte overgange, eller typer af overgange, benyttes eller hvor hyppigt bestemte egenskaber optræder i en løsning. Herved kan søgningen tvinges til at benytte eksempelvis sjældent benyttede overgange og derved bevæge søgningen ud i en uudforsket del af løsningsrummet. Forskellen på de to metoder består i at genstarts-afveksling stopper søgningen midlertidigt for at foretage en ændring af den hidtil bedste løsning og genstarter søgningen herfra. Mens kontinuert-afveksling foretager ændringerne i en løsning undervejs i søgeprocessen uden at stoppe søgningen. Kontinuert-afveksling opnåes normalt ved at tilføje en straf til objektfunktionen, hvor der tillægges en lille straf for f.eks. løsninger indeholdende sjældent benyttede egenskaber og en større straf for løsninger bestående af ofte benyttede egenskaber.

Brugen af afveksling, såvel som tabu lister og aspirationskriterier, kan være genstand for mange overvejelser, da det vil være forskelligt fra problem til problem hvilken udformning der fungerer bedst. Netop på grund af problemernes forskellige struktur og de mange varianter af tabu lister, aspirationskriterier og afveksling, vil den bedste brug af disse metoder, normalt først kunne afgøres efter en eksperimentiel afprøvning.

9.3 Simuleret udglødning

Inspirationen til simuleret udglødning stammer fra fysikens verden, men har i en årrække været en populær metaheuristik i datalogiens verden. I følge [16] er simuleret udglødning en simulering af den fysiske proces der foregår efter et fast stof - for eksempel et metal - er blevet varmet kraftigt op og atomerne herefter finder sig til rette. Ved opvarmningen opnår stoffets atomer stor energi og kan bevæge sig rundt mellem hinanden og ved nedkøling af stoffet finder atomerne på plads. Atomernes bevægelsesfrihed afgøres af nedkølingshastigheden, hvor en hurtig nedkøling vil begrænse atomernes bevægelighed mod den optimale placering og en langsom nedkøling giver bedre mulighed for at atomerne kan finde frem til en optimal placering. Man kan på denne vis forestille sig atomer der hurtigt låses fast i deres placering ved hurtig nedkøling, mens der ved langsom nedkøling opnåes et stof med bedre egenskaber, da atomerne har bedre tid til at finde sig til rette.

Med udgangspunkt i et kombinatorisk optimeringsproblem, kan simuleret udglødning betragtes som en proces hvor der med en given nabostruktur findes naboløsninger. Disse naboløsninger accepteres altid hvis det er en løsning der forbedrer den hidtil bedste. Ved forekomsten af en dårligere løsning end den hidtil bedste, accepteres løsningen med en vis sandsynlighed. Denne sandsynlighed er blandt andet bestemt af temperaturen for kølingen. Accepteres naboløsningen ikke, må en ny nabo findes og hele processen gentages på ny. Ved en høj temperatur accepteres en stor del af naboløsningerne selv om de har en ringere værdi, mens der ved lav temperatur kun accepteres et begrænset antal dårligere løsninger. Mere formelt kan sandsynligheden for at en løsning

$s'|s' \in N(S)$ være defineret som:

$$P(s') = e^{-\frac{\Delta}{T}} \quad (9.1)$$

hvor $\Delta = g(s') - g(s)$ svarende til omkostningen af den nye løsning s' minus omkostning af den sidste løsning s . Heraf ses at Δ er negativ hvis overgangen forbedrer løsningen. Ligeledes ses at $P(s')$ giver en værdi mellem 0 og 1 når s' er en værre løsning end s , desto større Δ desto mindre accept rate. Temperaturen T påvirker sandsynligheden for accept, på den vis at når T er høj vil en dårlig løsning blive accepteret med større sandsynlighed end når T er lav. Det typiske er at T ændres i løbet af udglødningen, startende med en høj værdi og sænkes undervejs gradvist indtil en sluttemperatur er nået.

Som det fremgår er temperaturen et af de helt afgørende elementer i en simuleret udglødning, hvorfor det vil være nødvendigt at svare på følgende tre spørgsmål:

- 1. Hvor høj skal starttemperaturen T_s være ?
- 2. Hvordan skal nedkølingen foregå ?
- 3. Hvor lav skal temperaturen være for at stoppe søgningen T_e ?

Svarene på disse spørgsmål kan ikke på forhånd gives, selv ikke med kendskab til det konkrete optimerings problem - eksperimentiel afprøvning er nødvendig.

9.4 Nabolag

Et nabolag kan en smule uformelt, siges at være en definition af hvorledes der bevæges rundt i løsningsrummet - på lokalt niveau, mens brugen af metaheuristikkerne, der baserer sig på lokalsøgning, er måden søgningen dirigeres rundt på globalt niveau. For at opnå et godt nabolag, og dermed et fornuftigt fundament at basere en metaheuristik på, findes et par tommelfingerregler som kan være nyttige at holde sig for øje, hvilket vil blive beskrevet i det følgende.

Typisk kræves det af nabolaget, at det skal være muligt at nå enhver løsning i løsningsrummet ved brug af en serie af nabolags overgange. Mere formelt kan det beskrives ved et løsningsrum S , hvor nabolaget $N(S)$ skal opfylde følgende:

$$\forall s', s'' \in S \exists s_1, s_2, \dots, s_k \in S : s' \in N(s_1) \in N(s_2) \in \dots \in N(s_k) \in N(s'')$$

I følge [21] kan det for problemstillinger med strenge begrænsninger være problematisk at definere et nabolag der overholder ovenstående udtryk - særligt hvis nabolaget kun tillader lovlige løsninger. En pragmatisk indgangsvinkel til dette problem er simpelthen at ignorere begrænsningerne og være tilfreds hvis søgningen i praksis genererer gode løsninger. Alternativt kan begrænsningerne slækkes og derved tillade besøg af løsninger der er ulovlige - dog skal den endelige løsning selvfølgelig være lovlig.

Størrelsen af nabolaget $|N(s)|$ spiller en vigtig rolle når valget står mellem en

simpel struktur af nabolaget og en kompleks struktur af nabolaget. Ved en simpel struktur vil $|N(s)|$ typisk være af begrænset størrelse og derved vil nabolaget kunne evalueres hurtigere end et nabolag med en mere kompleks struktur hvor $|N(s)|$ typisk er større. Særligt vigtigt er størrelsen af nabolaget når lokal søgningen benytter Steepest descent eller Hill Climbing - da hele nabolaget her skal gennemses. Mens størrelsen af nabolaget er af mindre betydning ved brug af First Fit i lokal søgningen, da hele nabolaget ikke til enhver tid skal gennemses. Fordelen ved at benytte en simpel nabolagsstruktur som hurtigt kan evalueres er at der inden for en given tidsramme kan foretages flere iterationer af en meta-heuristik end ved brug af en mere tidskrævende struktur af nabolaget. Ulempen er at det risikeres at søgningen lettere ender i en "blindgyde" af løsningsrummet hvorfra det kan være problematisk at komme videre i løsningsrummet. Det er problematisk på forhånd at afgøre hvilket nabolag der er bedst egnet til en given problemstilling - eksperimentiel afprøvning er ofte nødvendig.

Kapitel 10

Datasæt

For at afgøre kvaliteten af den skitserede løsning af vagtplanlægningsproblemet, er der udarbejdet en række datasæt til konfigureringsproblemetstillingen. Disse datasæt varierer afdelingens bemandingskrav til ugens vagter og varierer det disponible mandskab. Da løsningsmodellen er tilpasset netop, den i kapitel 3 beskrevne, Anæstesi- og operationsafdeling på Rigshospitalet, er det ikke muligt at benytte de probleminstancer der måtte forefindes i litteraturen på området.

10.1 Bemandingskrav

De 9 datasæt til konfigureringsproblemet ses i tabel 10.1, hvor der med datasæt B1 menes de bemandingskrav som er beskrevet i kapitel 2, tabel 3.1. De resterende datasæt taget alle udgangspunkt i datasættet B1 - dog men en lille ændring i bemandingskravet til en af vagttypene.

Datasæt	forkortelse	forklaring
neutral	B1	bemandingskrav som i kapitel 2, tabel 3.1
D1D2+1	B2	Bemandingskrav til D_1 og D_2 øget med 1
D1D2+2	B3	Bemandingskrav til D_1 og D_2 øget med 2
D1D2-1	B4	Bemandingskrav til D_1 og D_2 mindsket med 1
D1D2-2	B5	Bemandingskrav til D_1 og D_2 mindsket med 2
N1+1	B6	Bemandingskrav til N_1 forøget med 1
N1+2	B7	Bemandingskrav til N_1 forøget med 2
N1-1	B8	Bemandingskrav til N_1 mindsket med med 1
A1A2+1	B9	Bemandingskrav til A_1 og A_2 forøget med 1

Tabel 10.1: Datasæt til konfigureringsproblemetstillingen af bemandingskrav.

10.2 Disponibelt mandskab

Der er udarbejdet 26 datasæt til konfigurering af det disponible mandskab, se tabel 10.2. Hvert datasæt indeholder angivelse af størrelsen af det disponible mandskab med specifikation af type (sygeplejerske(SP) eller sygehjælper (S-HJ)), timetal (30,5 timer, 32 timer eller 37 timer ugenligt) og farvegruppe (Blå, Rød, Grøn eller Hvid). Udgangspunktet er igen afdelingens nuværende disponible mandskab bestående af 28 ansatte - hvilket er defineret i datasæt D1. De øvrige datasæt er alle systematiske variationer af datasæt D1 - med andre ord er det foretaget små ændringer af det mandskab som på afdelingen i dag er tilgængeligt. Datasættene D2-D17 har fået tilføjet en medarbejder således at det disponible mandskab består af 29 ansatte, hvor type, farvegruppe og timetal på den ekstra medarbejder kan aflæses af navnet på datasættet (29-SP-B-3700 angiver 29 medarbejdere hvor den ekstra medarbejder er en SygePlejerske tilhører farvegruppe Blå med en 37 timers arbejdsuge). Datasæt D18 har fået tilføjet to medarbejdere begge med typer som angivet i navnet på datasættet - det samme gør sig gældende for de to medarbejdere der er fjernet i datasæt D26. Datasæt D19-D25 har fået fjernet en medarbejder - igen med typen på medarbejderen angivet i navnet på datasættet.

Med disse 9 datasæt til konfiguration af bemandingskravene og 26 datasæt til konfiguration af det disponible mandskab er det muligt at opstille $9 \cdot 26 = 234$ konfigurationer til afprøvning af løsningsmetodens kvalitet.

Datasæt	forkortelse
NEUTRAL	D1
29-SHJ-B-3700	D2
29-SHJ-R-3700	D3
29-SHJ-G-3700	D4
29-SHJ-H-3700	D5
29-SHJ-B-3050	D6
29-SHJ-R-3050	D7
29-SHJ-G-3050	D8
29-SHJ-H-3050	D9
29-SP-B-3700	D10
29-SP-R-3700	D11
29-SP-G-3700	D12
29-SP-H-3700	D13
29-SP-B-3050	D14
29-SP-R-3050	D15
29-SP-G-3050	D16
29-SP-H-3050	D17
30-SP-B-3700	D18
27-SP-B-3700	D19
27-SP-R-3700	D20
27-SP-G-3700	D21
27-SP-H-3700	D22
27-SP-B-3200	D23
27-SP-R-3050	D24
27-SP-G-3200	D25
26-SP-B-3700	D26

Tabel 10.2: Datasæt til konfiguration af disponibelt mandskab.

Kapitel 11

Eksperimentiel afprøvning

Dette kapitel indeholder resultaterne af de testkørsler der er blevet udført med den i kapitel 8 præsenterede løsning. Løsningsmodellen består af en række elementer som skal kalibreres for at være bedst muligt i stand til at gennemsnøge løsningsrummet af vagtplaner og forhåbentlig ende op med en lovlig og god vagtplan. Denne kalibrering skal særligt foretages ved brugen af metaheuristikken i fase 3 - hvor der her er skitseret brugen af enten en tabu søgning eller simuleret udglødningen.

Valget af en af disse metaheuristikker afhænger af i hvilken grad det er muligt at konfigurere dem til at producere tilfredsstillende vagtplaner. De eksperimenter der er foretaget for at træffe en beslutning om hvilken metaheuristik der skal benyttes i fase 3, er udført og beskrevet i dette kapitel. Det skal bemærkes, at der på grund af de mange kombinationsmuligheder ved konfigurering af metaheuristikkerne, er udvalgt tre datasæt der danner grundlag for eksperimenterne i det følgende. Det drejer sig om konfigurationer svarende til de bemandingskrav som afdelingen i dag benytter (beskrevet i datasæt B1) og det mandskab som ligeledes i dag er disponibelt (datasæt D1). Endvidere er datasæt D2 og D10 udvalgt i kombination med bemandingskravene i B1. Datasæt D2 afspejler den situation som kan opstå hvis afdelingen får rådighed over en ekstra sygehjælper tilhørende blå farvegruppe i 37 timer om ugen. D10 viser hvorledes situationen vil se ud for afdelingen hvis afdelingen i stedet fik rådighed over en ekstra sygeplejerske.

Resultatet af en testkørsel af en af metaheuristikkerne på en af de tre kombinationer af datasæt (B1+D1, B1+D2 eller B1+D10), er en vagtplan med en kvalitetsangivelse. Kvaliteten ses i objektværdien som består af strafværdier for overtrædelser af de hårde og bløde begrænsninger - håbet er derved, ved små systematiske ændringer i metaheuristicernes parametre, at finde frem til en konfiguration af en af metaheuristikkerne der vil være i stand til at generere vagtplaner med så lav en objektværdi som muligt.

Udgangspunktet for eksperimenterne med de to metaheuristikker, er en situation hvor fase 1 og 2 er udført og fase 3 skal udføres, uden at der på ny løses et set covering problem i fase 2 hvis metaheuristikkerne ikke producerede fornuft-

tige vagtplaner. Derved er det de samme 1-uges planer som de to heuristikker, på bedst mulige vis skal bytte rundt indtil en god vagtplan er fremkommet. Udgangspunktet er så at sige det samme.

I det følgende præsenteres de nabolag som indgår i eksperimenterne, samt et afsnit om konfigureringen af tabu søgningen og et afsnit om konfigureringen af den simulerede udglødning. Alle eksperimenter er udført på en Pentium IV 2.8 GHz med Windows XP og 512 MB RAM.

11.1 Nabolag

Metaheuristikkerne er begge blevet afprøvet med tre simple nabolag N_1 , N_2 og N_3 . Opgaven består i at bytte rundt på rækkefølgen af 1-uges planer indefor hver af planlægningshorisontens 14 uger. For at foretage en simpel ombytning af 1-uges planer skal tre parametre findes - en af de 14 uger skal udvælges og for denne uge skal der udvælges to medarbejdere der skal bytte 1-uges planer med hinanden.

Nabolag N_1 udvælger en tilfældig af de 14 uger og udvælger tilfældigt den første medarbejder til at indgå i ombytningen. Den anden medarbejder findes ved at afprøve samtlige medarbejdere. Nabolaget har en størrelse på $O(|M|)$, hvor M er mængden af medarbejdere.

Nabolag N_2 udvælger ligeledes en tilfældig af de 14 uger og indefor denne uge, afprøves samtlige par af medarbejdere, hvilket giver en nabolagsstørrelse på $O(|M|^2)$.

Nabolag N_3 fungerer på samme vis som N_2 , det vil sige at samtlige par af medarbejdere inden for en af planlægningshorisontens 14-uger - forskellen består i at når ugen hvori en ombytning skal foretages skal udvælges, vælges den ikke tilfældigt, men vælges som den uge der følger efter den der sidst var undersøgt. På den vis "cykles" igennem alle 14-planlægningsuger og forfra når alle 14 er nået. Størrelsen af nabolaget svarer til $O(|M|^2)$.

11.2 Konfigurering af tabu søgning

Tabu søgningen har en række parametre som skal indstilles på forskellig vis alt afhængig af den kontekst heuristikken benyttes i. De parametre som der er benyttet i dette projekt er følgende: *tabu listen*, *kontinuert afveksling*, *genstarts afveksling* og *nabolaget*.

Tabu listen er en liste af tilstande som ønskes forbudt, for derved at sikre at søgningen ikke blot vandrer frem og tilbage mellem de samme løsninger. Derfor er listen udarbejdet som en kø der får tilføjet et element når en ny løsning er fundet. Dette element angiver hvilken ombytning af 1-uges planer der er foretaget, dvs. at en indgang i køen består af et ugenr samt de to medarbejdere der indgår i ombytningen. Længden af tabu listen er en af de parametre som skal indstilles i de følgende eksperimenter - der er eksperimenteret med længder på 2, 5, 10 og 100 elementer.

For at sikre at søgningen har mulighed for at bevæge sig langt nok væk fra lokale minima er der indført en form for kontinuert afveksling. Afvekslingen foretages ved at resette tabu listen når der i et vist antal iterationer ikke er fundet en forbedrende løsning. Der er foretaget eksperimenter med at resette tabu listen efter henholdsvis 10.000, 20.000 og 50.000 iterationer.

Ydermere er der foretaget eksperimenter med genstarts afveksling, hvor der efter endt søgning genstartes med en anden initial løsning. Denne nye initiale løsning udarbejdes ved, for hver af planlægningshorisontens 14 uger at foretage $2|M|$ ombytninger af 1-uges planer mellem to tilfældige medarbejdere. Med genstarts afvekslingen er der foretaget eksperimenter med 2, 5 og 10 genstarter.

Endvidere er der foretaget eksperimenter med brugen af hver af de tre beskrevne nabolag.

De benyttede datasæt begrænser sig til kombinationerne B1+D1, B1+D2 og B1+D10.

Herved haves følgende kombinationsmuligheder.

Type	Antal	Varianter
Nabolag	3	N_1, N_2, N_3
Tabu længde	4	2,5,10,100
Reset	3	10.000,20.000,50.000
Genstart	4	0,2,5,10

Hvis der skal udføres eksperimenter for samtlige af ovenstående varianter, vil det svare til $3 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 4 = 144$ testkørsler på hver af de tre datasæt. For at begrænse denne mængde af tests foretages først eksperimenter med kombinationer af nabolag og tabu længden - håbet er at det herfra er muligt at fastlåse det bedste nabolag og den bedste tabu længde. Herefter foretages eksperimenter med disse fastlåste nabolag og tabu længder, kombineret med eksperimenterne til reset af tabu listen, hvorved en den bedste reset fastlåses. Slutteligt kan eksperimenter foretages hvor variationerne af genstarts afveksling kombineres med de øvrige parametre fastlåst.

For at begrænse omfanget af eksperimenterne er hver tabu søgning begrænset til ca. 1.000.000 iterationer, hvor der med en iteration menes et forsøg på at foretage en ombytning af 1-uges planer mellem to ansatte. I den forbindelse skal det bemærkes at tabu søgningen er udført som steepest descent, hvilket medfører at kun den ombytning i hele nabolaget, der giver den bedste forbedring af objektværdien, foretages.

Nabolag og tabu længde

Eksperimenterne med nabolag og tabu længden viste (se tabel A.1 placeret i appendiks A), at alle eksperimenterne hvor nabolag og tabulængden blev systematisk ændret, at ingen lovlige løsninger blev fundet (alle resultater > 1000). Endvidere ses at nabolag N_1 uden undtagelse gav de dårligste resultater, med en samlet sum af objektværdierne på 1.698.447 mens N_2 og N_3 gav væsentlig

bedre resultater - henholdsvis 213.422 for N_2 og 170.980 for N_3 . Ingen lovlige løsninger blev fundet, uanset valget af nabolag og tabulængde, men for nabolag N_2 lykkedes det at få timetallene til at stemme H1 i 10 ud af 12 tilfælde og for N_3 lykkedes det at få timetallene til at stemme i 11 ud af 12 tilfælde. Ingen af testkørslerne med Nabolag N_1 gav vagtplaner hvor timetallene stemte. Det bedste nabolag er derved vurderet til at være N_3 , da både summen af objektværdierne var lavest og da det er nabolaget der overholdt timetalsbegrænsningen i flest tilfælde. Testkørslerne viste ikke entydig fordel til en bestemt længde af tabu listen med nabolag N_3 , kun at en længde på 100 gav det dårligste resultat. Faktisk blev der opnået fuldstændig identiske resultater med tabulængder på 2, 5 og 10. Derfor fortsættes eksperimenterne med nabolag N_3 og tabulængder på 2, 5 og 10.

Tabu længde og reset

Eksperimenterne med tabulængder og reset af tabulisten viste (se tabel A.2 i appendiks) at det ingen effekt har at nulstille tabu listen efter henholdsvis 10.000, 20.000 eller 50.000 iterationer uden en ny bedre løsning. Derfor er det blevet besluttet at tabu listen ikke skal nulstilles i løbet af tabu søgningen. Tilbage står stadig valget af længden på tabu listen, hvor der heller ingen indikation ved denne afprøvning af tabu søgningen, er at finde på den bedste længde. Tabu længden er herved fastsat til 10 elementer i de følgende eksperimenter.

Genstart

For at finde frem til om der findes en indstilling af genstarts afvekslingen er der foretaget eksperimenter med 2,5 og 10 genstarter. Resultaterne er et gennemsnit af 3 kørsler for at udligne den variation der måtte forekomme ved brug af en genstart baseret på tilfældig ombytning af 1-uges planer. Resultaterne af eksperimenterne kan ses i tabel A.3 i appendiks A, hvor det ses at der stadig ikke er opnået lovlige vagtplaner, da alle resultaterne er > 1000 . Den helt store forskel ser der ikke ud til at være på om der benyttes 2, 5 eller 10 genstarter - dog er de bedste resultater opnået med 10 genstarter. Dette er selvfølgelig ikke overraskende, da søgningen dermed har haft ca. dobbelt så mange "forsøg" i forhold til 5 genstarter.

Konklusion på eksperimenterne til tabu søgningen

Det lykkedes ikke at generere lovlige vagtplaner med tabu søgningen, dog viste resultaterne med 5 og 10 genstarts afvekslinger at der tilsyneladende ikke var langt til en lovlig løsning. I disse løsninger blev timetallene overholdt for samtlige medarbejdere(H1), reglerne om minimum een person tilstede fra hver farvegruppe på vagterne D_1 og D_2 er overholdt(H2), minimumsbemandingen på særlige vagter er overholdt(H3) og reglen om der ikke må forekomme to uger i træk med weekendarbejde(H5). Kun enkelte overskridelser af (H4), (H6) og (H7) gør de generede vagtplaner ulovlige. Samlet set blev den bedste konfiguration

af tabu søgningen fundet til at være brugen af nabolag N_3 , en tabu længde på 10 elementer, ingen reset af tabu listen efter bestemte antal iterationer og med 10 genstarter. Denne kombination resulterede for datasæt B1+D1 i en vagtplan med en objektværdi på 3319 - som kun er ulovlig på grund af tre forekomster af 1-uges planer uden nul-dage til deltidsansatte.

Køretiderne på eksperimenterne lå på ca. 18 sekunder pr. stk - dog længere ved brug af genstart, da hver genstart udfører 1.000.000 ekstra iterationer, resulterende i ekstra 18 sekunder pr. genstart. En tabu søgning med 10 genstarter blev foretaget på ca. 200 sekunder.

11.3 Konfigurering af simuleret udglødning

Simuleret udglødning, er ligesom tabu søgning, en metaheuristik - det vil sige en form for algoritmisk ramme, der skal konfigureres alt efter hvilket problem der skal løses. Konfigureringen består her i indstillingen af følgende parametre: *Nabolag*, *start temperatur T_s* , *slut temperatur T_s* , *nedkølingsrate α* og *ekstra iterationer ω* .

Målet er at finde frem til en konfiguration der kan generere så gode vagtplaner som muligt - hvor der efter eksperimenterne med tabu søgning, stadig står tilbage at kunne generere lovlige vagtplaner. Derfor er køretiderne ikke de væsentlige - det væsentlige er at generere lovlige vagtplaner.

Initielle manuelt udførte eksperimenter viste at start temperaturen T_s bør være mindre end 400 og at slut temperaturen T_s bør være mindre end 1 - derfor foretages der eksperimenter med T_s på henholdsvis 300, 100 og 10 samt eksperimenter med T_e på 0, 1, 0,01 og 0,001. Nedkølingsraten er bestemt af nedkølingsfunktionen, som her er en simpel geometrisk nedkøling - dvs. at ved en temperatur T_k ved trin k sænkes temperaturen i trin $k + 1$ beskrevet ved følgende udtryk: $T_{k+1} = T_k \cdot \alpha$, hvor α er en konstant mellem 0 og 1. Eksperimenter er foretaget med værdier for α på 0,9999, 0,999, 0,99. Den sidste parameter der skal konfigureres, er parameteren ω som angiver antallet af nye løsninger der skal accepteres før temperaturen sænkes på ny. Herved tvinges søgningen til at udforske løsningsrummet ved hvert temperaturtrin og først når ω løsninger er accepteret, nedsættes temperaturen. Eksperimenterne foretaget med ω begrænser sig til værdierne 0, 10, 100 og 1000. I alt haves følgende kombinationsmuligheder for konfigureringen af den simulerede udglødning:

Type	Antal	Varianter
Nabolag	3	N_1, N_2, N_3
T_s	4	300, 100, 10, 1
T_e	3	1, 0,1 og 0,01
α	3	0,9999, 0,999, 0,99
ω	3	0,10,100

Hvis samtlige ovenstående kombinationer skal afprøves, vil det kræve $3 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 324$ kørsler af den simulerede udglødning på hver af de tre datasæt B1+D1,

B1+D2 og B1+D10. For at begrænse mængden af eksperimenter, fastlåses parametrene til hver deres initiale værdi og herefter foretages opdeles eksperimenterne i 5 grupper: Nabolag, Start temperatur, Slut temperatur, nedkølingsrate og ekstra iterationer (ω). Eksperimenterne i hver gruppe resulterer i fastlåsning i en parameterværdi og efter eksperimenterne i hver gruppe er alle 5 parametre fastlåste. Følgende initiale værdier er benyttet: $N(s) = N_1$, $T_s = 10$, $T_e = 0,05$, $\alpha = 0,999$ og $\omega = 10$. Da den simulerede udglødning benytter sig af et tilfældigt tal mellem 0 og 1 når det skal afgøres om en ny ikke-forbedrende løsning skal accepteres, vil flere kørsler ved brug af de samme parametre kunne give forskellige resultater. Derfor er hvert eksperiment udført 5 gange, hvorved et mere retfærdigt billede af resultaterne bør være givet.

Nabolag

For at afgøre hvilket af de tre nabolag N_1 , N_2 eller N_3 der er bedst egnet til brug ved udarbejdelsen af vagtplaner, er eksperimenter udført med hver af de tre nabolag på de tre datasæt B1+D1, B1+D2, B1+D10. De øvrige parametre blev i eksperimenterne fastholdt til: $T_s = 10$, $T_e = 0,05$, $\alpha = 0,999$ og $\omega = 10$. Af eksperimenterne, som kan ses i tabel B.1 placeret i appendiks B, ses at samtlige kørsler med nabolag N_1 producerede lovlige løsninger. Det vil sige løsninger hvor alle hårde begrænsninger er overholdt ($H_1 \dots H_7 = 0$), hvor objektværdien afspejlet i kolonnen "Res." indeholder summen af overtrædelserne af de bløde begrænsninger ($B_1 \dots B_3$). Med nabolag N_2 blev ingen lovlige løsninger fundet og med nabolag N_3 blev der kun fundet lovlige løsninger ved 8 af de 15 kørsler. På denne baggrund lader det til at nabolag N_1 er det bedst egnede af de tre nabolag og de følgende eksperimenter udføres derfor med N_1 . I øvrigt skal det bemærkes at kørselstiderne for dette nabola alle er under 5 sekunder.

Start temperatur T_s

For at fastsætte start temperaturen er eksperimenter udført med T_s på 300, 100, 10 og 1 på hvert af datasættene B1+D1, B1+D2 og B1+D10. De øvrige parametre blev sat til $N(s) = N_1$, $T_e = 0,05$, $\alpha = 0,999$ og $\omega = 10$. Af eksperimenterne, som kan ses i tabel B.2 og B.3 placeret i appendiks B, ses at der kun med en start temperatur på 1, blev ingen lovlige løsninger fundet. For alle øvrige start temperaturer blev lovlige løsninger fundet og for at vurdere om T_s skal fastlåses til 300, 100 eller 10, er gennemsnittet af objektværdierne og køretiderne beregnet i nedenstående:

T_s	Datasæt	Gns. res.	Gns. tid
300	B1+D1	319,4	5,84
300	B1+D2	298,0	6,84
300	B1+D10	299,2	6,40
100	B1+D1	315,0	5,00
100	B1+D2	298,2	6,00
100	B1+D10	297,6	5,66
10	B1+D1	309,2	3,70
10	B1+D2	298,0	4,42
10	B1+D10	297,6	4,14

I tabellen ses at de bedste gennemsnitlige resultater blev fundet med en start temperatur på 10 - alle de laveste gennemsnit (markeret med fed), både for objektværdi og køretider, blev fundet ved denne indstilling. Derfor fastlåses T_s til 10 i de følgende eksperimenter.

Slut temperatur T_e

Den simulerede udglødning afsluttes når temperaturen når slut temperaturen T_e , som i eksperimenterne er fastsat til enten 1, 0, 1 eller 0, 01. De øvrige indstillinger er som følger: $N(s) = N_1$, $T_s = 10$, $\alpha = 0,999$ og $\omega = 10$.

Resultaterne af eksperimenterne ses af tabel ?? i appendiks B, hvoraf det ses at der med en slut temperatur på 1 i 2 af de 15 kørsler ikke blev fundet en lovlig løsning. Ved en slut temperatur på 0, 1 og 0, 01 blev der i begge tilfældet fundet lovlige løsninger i samtlige kørsler - derfor afgøres valget af en af disse to slut temperaturer ud fra de gennemsnitlige resultater som ses af nedenstående tabel.

T_e	Datasæt	Gns. res.	Gns. tid
0,1	B1+D1	307,0	3,20
0,1	B1+D2	298,8	3,80
0,1	B1+D10	299,2	3,50
0,01	B1+D1	308,2	4,76
0,01	B1+D2	298,0	5,82
0,01	B1+D10	296,6	5,40

Som det ses af de gennemsnitlige resultater er der for to datasæt B1+D2 og B1+D10 opnået et bedre gennemsnitligt resultat med en slut temperatur på 0, 01 - prisen der betales er en marginalt højere køretid, igennemsnit ca. 2 sekunder mere. Derfor fastlåses slut temperaturen T_s til 0, 01.

Nedkølingsraten α

Hastigheden af nedkølingen i den simulerede udglødning er afgøres af nedkølingsraten α , som typisk er mellem 0 og 1. Tre værdier af α er afprøvet 0,9999, 0,999 og 0,99 og resultaterne kan ses i ?? i appendiks B. Af resultaterne ses ikke overraskende at den højeste nedkølingsrate 0,99 blev afviklet væsentlig hurtigere end de øvrige, men tilsyneladende har det medført en alt for hurtig nedkøling, da ingen lovlige løsninger blev fundet med denne nedkøling. Valget står derfor mellem 0,9999 og 0,999 som begge fandt lovlige løsninger i samtlige kørsler og kun med marginal forskel i objektværdierne. Derfor tages beslutningen på baggrund af de gennemsnitlige resultater som ses i nedenstående tabel.

α	Datasæt	Gns. res.	Gns. tid
0,9999	B1+D1	306,2	47,66
0,9999	B1+D2	298,0	58,42
0,999	B1+D10	304	55,08
0,999	B1+D1	309,8	4,74
0,999	B1+D2	298,0	5,84
0,999	B1+D10	296,8	5,38

Det ses af tabellen at der både når α er 0,9999 og 0,999 opnåes det bedste gennemsnitlige resultat for to ud af tre datasæt, men da køretiderne for den simulerede udglødning med α på 0,999 markant bedre, fastsættes nedkølingsraten α til 0,999.

Ekstra iterationer ω

For at sikre løsningsrummet undersøges tilstrækkeligt ved hver temperatur foretages der ω ekstra iterationer i lokal søgningen ved hvert temperatur trin. Fastsættelsen af ω er ligesom de øvrige parametre foretaget efter eksperimentiel afprøvning af værdier på 0, 10, 100 og 1000. Resultaterne ses i tabel ?? i appendiks B, hvor det fremgår at $\omega = 0$ ikke producerer en eneste lovlig løsning. Til gengæld produceres der udelukkende lovlige løsninger med en værdi på 10 eller 100, så endnu engang ses nærmere på de gennemsnitlige værdier.

ω	Datasæt	Gns. res.	Gns. tid
10	B1+D1	308,0	4,86
10	B1+D2	298,0	5,84
10	B1+D10	298,4	5,46
100	B1+D1	303,0	47,78
100	B1+D2	298,0	58,30
100	B1+D10	304,0	54,84

Med ω på 10 opnåes for to af de tre datasæt det laveste gennemsnitsresultat mens der med en omega på 100 kun for et enkelt datasæt opnåes det laveste gennemsnitsresultat. Forskellene på resultaterne lader til at være marginale, men kørselstiderne for en $\omega = 10$ er en faktor 10 hurtigere. Derfor fastsættes den sidste af parametrene for den simulerede udglødning til $\omega = 10$.

Konklusion på eksperimenterne med simuleret udglødning

Det lykkedes med simuleret udglødning at producere lovlige vagtplaner for alle tre af de afprøvede datasæt. Men ikke nok med at lovlige vagtplaner blev genereret, det lykkedes at finde frem til en konfiguration af parametrene til heuristikken, således at lovlige vagtplaner kunne generes på ca. 5 sekunder, hvilket kun er ca. en fjerde af den tid som tabu søgningen benyttede. Den endelige konfiguration af heuristikken blev følgende: $N(s) = N_1$, $T_s = 10$, $T_e = 0,01$, $\alpha = 0,999$ og $\omega = 10$. Det kan ikke udelukkes at der findes andre konfigurationer der kan generere lige så gode vagtplaner og måske bedre, men den det ikke er muligt inde for rimelig tid at afprøve samtlige kombinationer af parametrene til heuristikken, er det nødvendigt at afgrænse eksperimenterne. Men da det er lykkedes at opfylde det overordnede mål, nemlig at konfigurere den simulerede udglødning således at lovlige vagtplaner kan genereres, betragtes resultaterne af de udførte eksperimenter som vellykkede.

Kapitel 12

Kvaliteten af vagtplanerne

Der er udarbejdet vagtplaner med samtlige kombinationer af datasæt B1-B9 sammensat med D1-D26, for at undersøge hvor følsom løsningsmodellen er på en ændring i bemandingskravene, det disponible mandskab eller begge dele. Resultaterne af kørslerne er angivet i appendiks C, tabel C.1-C.9. Disse resultater vil blive uddybet i det følgende sammen med en vurdering af vagtplanernes kvalitet.

I tabel C.1 ses resultaterne med data hvor bemandingskravene er identiske med de bemandingskrav som afdelingen har idag. Det disponible mandskab er varieret med datasættene begyndende med D, hvor D1 beskriver det disponible mandskab i dag. D2-D9 angiver det disponible mandskab der findes i dag samt en ekstra sygehjælper til 37 timer (D2-D5) og 30,5 timer (D6-D9) - D2-D5 og D6-D9 beskriver tilknytning til en af de fire farvegrupper. Datasættene D10-D17 er identiske med D2-D9 dog er den ekstra sygehjælper udskiftet med en sygeplejerske. D18 beskriver en situation som den afdelingen har i dag plus to ekstra sygeplejersker ansat til 37 timer ugenligt i farvegruppe B. D19-D25 beskriver et mandskab som i dag, dog uden en sygeplejerske til 37 timer om ugen i D19-D23 og i D24-D25 mangler der en deltidsansat sygeplejerske. Det sidste datasæt D26, mangler to sygeplejersker til 37 timer om ugen i farvegruppe B.

Af de i tabel C.1 angivne data, er det væsentligste, at hvis personalestaben skal udvides med en enkelt person, så vil en ekstra fuldtidsansat sygehjælper give lovlige vagtplaner mens en deltidsansat sygehjælper vil give ulovlige vagtplaner. Hvis staben udvides med en sygeplejerske vil en fuldtidsansat stadig betyde lovlige vagtplaner, mens en deltidsansat vil betyde at vagtplanerne bliver ulovlige. Ved at ansætte to fuldtids sygeplejersker vil der ligeledes fremkomme ulovlige vagtplaner. Det samme gør sig gældende ved at færre ansatte end i dag, resultatet er ulovlige vagtplaner. At dømme udfra objektværdierne for de genererede vagtplaner, lader det til at hvis der skal undværes en af de ansatte, så opnåes der bedre vagtplaner ved at det er en deltidsansat sygeplejerske frem for en fuldtidsansat. Men det er uklart i hvor høj grad to ulovlige vagtplaner kan sammenlignes - eksempelvis er det uklart om en ulovlig vagtplan med en

objektværdi på 5000 forårsaget udelukkende af timetal der ikke stemmer over 14 uger, er bedre end en ulovlig vagtplan med en objektværdi på 6000, forårsaget af 6 tilfælde over 14 uger, hvor 1-uges planer uden en nul-dag blive tilknyttet deltidsansatte.

Alle de øvrige tabeller C.2-C.9 er variationer på de bemandingskrav som findes i dag - hvor tests med samtlige kombinationer af datasættene der beskriver mængden af ansatte, viste at kun i få situationer kunne lovlige vagtplaner genereres. Eksempelvis kan det nævnes at når bemandingskravene til dagvagterne på hverdage (D_1 og D_2) øges med to personer (datasæt B3), kunne der kun genereres lovlige vagtplaner ved to ekstra fuldtidsansatte sygeplejersker. Et sådan resultat kunne støtte tanken om at der ikke er mange lovlige løsninger til de bemandingskrav som afdelingen benytter - eller set på en anden vis: den kombination af ansatte og bemandingskrav som findes på afdelingen i dag, lader til at være godt tilpasset.

Et pudsigt eksempel er tabel C.8 som viser resultaterne af de genererede vagtplaner for afdelingen med nedsat krav for nattevagten N_1 mandag-torsdag til kun 1 sygeplejerske. Her ses at med afdelingens nuværende mandskab kan der opnåes lovlige vagtplaner, ligesom der kan opnåes lovlige vagtplaner ved ansættelse af en ekstra fuldtids sygehjælper eller en ekstra fuldtids sygeplejerske. Men ved ansættelse af en ekstra deltids sygeplejerske eller sygehjælper kan der ikke længere opnåes lovlige vagtplaner.

Et eksempel på en konkret vagtplan kan ses i appendiks D hvor den genererede vagtplan for datasættene B1+D1 findes. Da vagtplanen er lovlig, er alle de hårde begrænsninger ($H_1..H_7$) opfyldt og kun værdier for de bløde begrænsninger summerer sammen til objektværdien 304. I tabellen D.1 ses endvidere de samlede timetals differencer over 14 uger for alle ansatte. Da δ - det vil sige den acceptable difference mellem en ansats samlede timetal over 14 uger og det antal timer vedkommende er kontraktligt forpligtet til at arbejde - blev sat til 10 for at være i stand til at opnå lovlige løsninger, accepteres vagtplaner hvor differencen er op til 10 timer.

De bløde begrænsninger B_1 og B_2 til at give gode resultater - hvor B_1 er et udtryk for om nattevagterne er blevet ligeligt fordelt til sygeplejerskerne og B_2 angiver antallet af forskellige ugedage indeholdende nul-dage til de deltidsansatte.

Til beregning af B_1 er der givet 1 strafpoint for hver forekomst af en N_1 , 2 strafpoint til hver forekomst af N_2 og 4 strafpoint til den mest upopulære nattevagt N_4 . Herved er der opnået straf fra 4 point til 20 point til de ansatte, med kun 20 til en enkelt og 12 til 4 ansatte - resten af sygeplejerskerne fik tildelt mellem 4 og 8 strafpoint. Alt i alt en rimelig fordeling af nattevagterne, med de strafpoint som nu engang var defineret for hver af nattevagterne.

Den bløde begrænsning B_2 skulle sikre at de deltidsansatte i fik placeret deres ugentlige nul-dag på så få forskellige ugedage som muligt. Af de 10 deltidsansatte lykkedes det for en af dem at generere et mønster hvor samtlige nul-dage blev placeret på samme ugedag - 8 af de deltidsansatte fik nul-dagene spredt over 2-3 forskellige ugedage og kun en enkelt fik nul-dage på 4 forskellige ugedage. Alt i alt en rimelig fordeling under omstændighederne.

Den sidste bløde begrænsning B_3 er ikke med i tabellen, da den ikke fordeler sig på de ansatte men på de 1-uges planer der i fase 2 blev resultatet af 1-uges set covering problemet. B_3 er et udtryk for hvor godt eller dårligt de beskyttede fridøgn er placeret på ugens 7 dage - med lørdag og søndag som de højest ønskede. I denne løsning af planlægningsproblemet, hvor der er foretaget en afgrænsning af de tilladte 1-uges planer til alle at indeholde 2 beskyttede fridøgn, står der kun tilbage for denne begrænsning at hjælpe til at så mange beskyttede fridøgn er placeret på lørdage eller søndage. Når først 1USCP er løst i fase 2 og der dermed er genereret de 1-uges planer som der i fase 3 skal rokeres rundt på, vil B_3 ikke kunne ændres. Ikke før der atter løses et 1USCP der resultere i en ny løsning.

Testkørslerne for de, i appendiks C, rapporterede resultater, er opnået ved at foretage så mange iterationer mellem trin 2 og 3 i 3-fase modellen som kunne nås på 3 minutter. Hver tabel har resultatet og køretiden angivet for det første gennemløb af modellen og det endelige resultat med tilhørende køretid. Endvidere er der angivet antallet af iterationer i modellen. Som det ses af tabellerne, blev første iteration i alle testkørsler afsluttet på under 12 sekunder med et resultat der kun blev forbedret i begrænset omfang efter ca. 3 minutter, som var blevet sat som loftet for testkørslerne. I ingen af testkørslerne lykkedes det efter 3 minutter at ende op med en lovlig løsning hvis ikke en lovlig løsning allerede var fundet i den første iteration af 3-fase modellen. Det kunne enten tyde på at den simulerede udglødning løser fase 3 særdeles tilfredsstillende eller at de nye løsninger der opnåes ved at løse 1USCP på ny (efter at have forbudt tidligere løsninger) ikke er tilstrækkelig meget anderledes end den forrige løsning. En nærmere undersøgelse har vist at det er begrænset hvor meget løsningen ændres hver gang 1USCP løses - i de fleste tilfælde er det blot en enkelt 1-uges plan der udskiftes. Helt at forbyde gengangere af 1-uges planer ved hver ny løsning af 1USCP, er formentlig ikke en mulighed, da det kan tænkes at tilstedeværelsen af en helt bestemt 1-uges plan er en nødvendighed.

Det skal her til slut bemærkes at da alle de benyttede datasæt er selvopfundne, er det svært på forhånd at vide om de er særdeles urealistiske eller måske endda uløselige. Forbedringer bliver der dog udført efter den 1. iteration - der er adskillige tilfælde hvor det endelige resultat er op til 40% lavere end resultatet fundet i første iteration.

Kapitel 13

Konklusion

I opgaven er der blevet analyseret og beskrevet tre danske hospitalsafdelingers mandskabsplanlægning. Det er blevet vurderet usandsynligt at tre så forskellige hospitalsafdelinger kan beskrives i den samme model - uden at denne model bliver så generel at anvendeligheden elimineres. I stedet er der udviklet, beskrevet og implementeret en 3-fase model der fungerer som en algoritmisk ramme hvori der kan implementeres afdelingsspecifikke detaljer. Modellen er generel i den forstand at der skulle være mulighed for at benytte den til at implementere en automatisk generering af vagtplaner for andre afdelinger også. Men modellen er ikke mere generel end at der skal udføres et reelt stykke implementeringsarbejde for at andre afdelingers vagtplaner kan genereres. Som eksempel er modellen blevet tilpasset Rigshospitalets Anæstesi- og operationsklinik som har behov for automatisk generering af 14-ugers vagtplaner. Til det formål er der udviklet datasæt til eksperimentel afprøvning af modellens evne til at udarbejde gode vagtplaner. De udarbejdede vagtplaner har vist sig at være af en høj kvalitet, ikke mindst set i lyset af at det løste problem med generering af vagtplaner er et problem fra den virkelige verden, med høje løsningskrav.

Forhåbentlig vil en sådan prototype på en vagtplansgenerator være medvirkende til at afdelingen på kortere tid får udarbejdet vagtplaner - hvormed vagtplanlæggeren får mere tid til at udføre andre opgaver.

Endvidere kan denne automatisere udarbejdelse af vagtplaner være medvirkende til en større tilfredshed med vagtplanerne blandt de ansatte - dette skulle kunne nåes da den manuelt lagte vagtplan ofte kunne lide under vagtplanlæggerens manglende mulighed for at overskue alternative kombinationer af vagter, mens en automatiseret generering på kort tid vil kunne afprøve flere løsningsmuligheder end der på noget tidspunkt ville kunne overskues manuelt. Endvidere er der nu mulighed for at de ansatte vil opfatte udarbejdelsen af vagtplaner som upartisk, hvorved en større tro på retfærdig tildeling af f.eks. uønskede vagter vil kunne være medvirkende til et bedre arbejdsmiljø.

Bilag A

Tabu søgning - Eksperimentielle resultater

N	TL	Data	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	B1	B2	B3	Res.
N_1	2	B1+D1	55460	1	0	8	3	16	48	71	33	224	131788
N_1	2	B1+D2	50968	0	0	13	2	17	52	57	25	224	135274
N_1	2	B1+D10	50502	0	0	11	2	17	53	56	25	224	133807
N_1	5	B1+D1	55460	1	0	8	3	16	48	71	33	224	131788
N_1	5	B1+D2	52049	1	0	13	1	17	54	52	24	224	138349
N_1	5	B1+D10	49640	0	0	11	0	15	55	58	25	224	130947
N_1	10	B1+D1	55460	1	0	8	3	16	48	71	33	224	131788
N_1	10	B1+D2	52049	1	0	13	1	17	54	52	24	224	138349
N_1	10	B1+D10	49640	0	0	11	0	15	55	58	25	224	130947
N_1	100	B1+D1	55460	1	0	8	3	16	48	71	33	224	131788
N_1	100	B1+D2	65461	1	0	25	6	17	61	68	25	224	175778
N_1	100	B1+D10	75500	1	0	12	9	19	71	94	26	224	187844
N_2	2	B1+D1	0	0	0	0	0	5	5	37	32	224	10293
N_2	2	B1+D2	0	0	0	3	0	5	12	53	28	224	20305
N_2	2	B1+D10	0	0	0	0	0	3	6	40	29	224	9293
N_2	5	B1+D1	0	0	0	2	0	5	5	38	32	224	12294
N_2	5	B1+D2	0	0	0	1	0	3	10	49	29	224	14302
N_2	5	B1+D10	0	0	0	0	0	9	11	46	28	224	20298
N_2	10	B1+D1	0	0	0	4	1	5	6	46	32	224	16302
N_2	10	B1+D2	1959	0	0	2	0	5	11	55	28	224	20266
N_2	10	B1+D10	0	0	0	0	0	10	11	46	29	224	21299
N_2	100	B1+D1	0	0	0	4	1	6	6	46	33	224	17303
N_2	100	B1+D2	0	0	0	3	0	5	12	53	28	224	20305
N_2	100	B1+D10	1851	0	0	0	0	12	17	60	27	224	31162
N_3	2	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
N_3	2	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
N_3	2	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
N_3	5	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
N_3	5	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
N_3	5	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
N_3	10	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
N_3	10	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
N_3	10	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
N_3	100	B1+D1	0	0	0	3	0	2	7	43	35	224	12302
N_3	100	B1+D2	1385	0	0	5	0	5	12	75	26	224	23710
N_3	100	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295

Tabel A.1: Tabu søgning uden reset af tabu listen og uden genstart. Afprøvning af kombinationer af nabolag og tabu længde. Kolonnen ”Res.” angiver objektværdien for en vagtplan - bemærk at alle > 1000 , ensbetydende med ingen lovlige løsninger fundet.

Reset	TL	Data	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	B1	B2	B3	Res.
10000	2	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
10000	2	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
10000	2	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
10000	5	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
10000	5	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
10000	5	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
10000	10	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
10000	10	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
10000	10	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
20000	2	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
20000	2	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
20000	2	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
20000	5	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
20000	5	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
20000	5	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
20000	10	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
20000	10	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
20000	10	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
50000	2	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
50000	2	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
50000	2	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
50000	5	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
50000	5	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
50000	5	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295
50000	10	B1+D1	0	0	0	2	0	2	7	41	35	224	11300
50000	10	B1+D2	0	0	0	2	0	5	10	44	28	224	17296
50000	10	B1+D10	0	0	0	1	0	3	8	42	29	224	12295

Tabel A.2: Tabu søgning med nabolag N_3 uden genstart, hvor kombinationer af reset og tabulængde afprøves. Kolonnen "Res." angiver objektværdien for en vagtplan.

Genstart	Data	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	B1	B2	B3	Res.
2	B1+D1	0	0	0	0	0	3	4	61	34	224	7319
2	B1+D2	0	0	0	0	0	3	8	50	29	224	11303
2	B1+D10	0	0	0	0	0	1	6	40	29	224	7293
5	B1+D1	0	0	0	0	0	0	3	63	32	224	3319
5	B1+D2	0	0	0	3	0	3	3	45	29	224	9298
5	B1+D10	0	0	0	0	0	1	6	40	29	224	7293
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	3	63	32	224	3319
10	B1+D2	0	0	0	3	0	1	3	40	30	224	7294
10	B1+D10	0	0	0	0	0	1	6	40	29	224	7293

Tabel A.3: Tabu søgning med nabolag N_3 , en tabulængde på 10 elementer og variationer af genstart. Kolonnen "Res." angiver objektværdien for en vagtplan.

Bilag B

Simuleret udglødning - Eksperimentielle resultater

N	Data	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	B_1	B_2	B_3	Res.	Tid
N_1	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	28	224	313	3.6
N_1	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	29	224	306	3.7
N_1	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	69	28	224	321	3.7
N_1	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	29	224	306	3.7
N_1	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	29	224	306	3.7
N_1	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.4
N_1	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.5
N_1	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.4
N_1	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.4
N_1	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.4
N_1	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	4.0
N_1	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	4.1
N_1	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	4.0
N_1	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	4.1
N_1	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	4.1
N_2	B1+D1	0	0	0	0	0	0	1	45	31	224	1300	3.8
N_2	B1+D1	0	0	0	0	0	0	1	45	31	224	1300	3.8
N_2	B1+D1	0	0	0	0	0	0	1	45	31	224	1300	3.7
N_2	B1+D1	0	0	0	0	0	0	1	45	31	224	1300	3.7
N_2	B1+D1	0	0	0	0	0	0	1	45	31	224	1300	3.7
N_2	B1+D2	0	0	0	0	0	2	0	46	29	224	2299	4.3
N_2	B1+D2	0	0	0	0	0	2	0	46	29	224	2299	4.4
N_2	B1+D2	0	0	0	1	0	1	0	42	28	224	2294	4.1
N_2	B1+D2	0	0	0	0	0	2	0	46	29	224	2299	4.4
N_2	B1+D2	0	0	0	0	0	2	0	46	29	224	2299	4.4
N_2	B1+D10	0	0	0	0	0	1	0	40	29	224	1293	3.8
N_2	B1+D10	0	0	0	0	0	1	0	40	29	224	1293	3.8
N_2	B1+D10	0	0	0	0	0	1	0	40	29	224	1293	3.8
N_2	B1+D10	0	0	0	0	0	1	0	40	29	224	1293	3.8
N_2	B1+D10	0	0	0	0	0	1	0	40	29	224	1293	3.8
N_3	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	29	224	314	3.5
N_3	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	29	224	314	3.5
N_3	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	29	224	314	3.5
N_3	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	29	224	314	3.5
N_3	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	29	224	314	3.5
N_3	B1+D2	0	0	0	0	0	1	0	46	29	224	1299	4.3
N_3	B1+D2	0	0	0	0	0	1	0	46	29	224	1299	4.4
N_3	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.1
N_3	B1+D2	0	0	0	0	0	1	0	46	29	224	1299	4.4
N_3	B1+D2	0	0	0	0	0	1	0	46	29	224	1299	4.3
N_3	B1+D10	0	0	0	0	0	1	0	44	29	224	1297	3.9
N_3	B1+D10	0	0	0	0	0	1	0	44	29	224	1297	3.9
N_3	B1+D10	0	0	0	0	0	1	0	44	29	224	1297	3.9
N_3	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	40	29	224	293	4.1
N_3	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	40	29	224	293	4.0

Tabel B.1: Simuleret udglødning eksperiment 1 - med $T_s = 10$, $T_e = 0,05$, $\alpha = 0,999$ og $\omega = 10$. De tre nabolag N_1 , N_2 og N_3 afprøvet på de tre kombinationer af datasæt B1+D1, B1+D2 og B1+D10. ”Res.” angiver resultatet og ”Tid” den brugte tid i sekunder

T_s	Data	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	B_1	B_2	B_3	Res.	Tid
300	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	69	27	224	320	6.0
300	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	69	28	224	321	5.9
300	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	69	28	224	321	5.9
300	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	69	28	224	321	5.7
300	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	29	224	314	5.7
300	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	6.8
300	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	6.9
300	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	6.8
300	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	6.8
300	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	6.9
300	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	6.4
300	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	6.4
300	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	6.4
300	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	6.4
300	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	6.4
100	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	30	224	315	5.0
100	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	30	224	315	5.0
100	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	30	224	315	5.0
100	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	30	224	315	5.0
100	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	30	224	315	5.0
100	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	6.1
100	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	29	224	299	6.0
100	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	6.1
100	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	6.1
100	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	6.1
100	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.6
100	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	5.7
100	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.7
100	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.6
100	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	5.7

Tabel B.2: Simuleret udglødning eksperiment 2 - nabolag N_1 , $T_s = 10$, $\alpha = 0,999$ og $\omega = 10$. Varianter af T_e afprøvet på de tre kombinationer af datasæt B1+D1, B1+D2 og B1+D10. "Res." angiver resultatet og "Tid" den brugte tid i sekunder

T_s	Data	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	B_1	B_2	B_3	Res.	Tid
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	29	224	306	3.7
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	29	224	306	3.7
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	29	224	306	3.7
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	29	224	314	3.6
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	29	224	314	3.8
10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.4
10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.4
10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.4
10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.5
10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	4.4
10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	4.1
10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	4.1
10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	4.1
10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	4.2
10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	4.2
1	B1+D1	0	0	0	0	0	0	1	53	27	224	1304	2.1
1	B1+D1	0	0	0	0	0	0	1	45	27	224	1296	2.2
1	B1+D1	0	0	0	0	0	0	1	45	27	224	1296	2.2
1	B1+D1	0	0	0	0	0	0	1	53	27	224	1304	2.1
1	B1+D1	0	0	0	0	0	0	1	53	27	224	1304	2.1
1	B1+D2	0	0	0	1	0	1	0	42	29	224	2295	2.5
1	B1+D2	0	0	0	0	0	1	0	46	28	224	1298	2.5
1	B1+D2	0	0	0	1	0	1	0	42	29	224	2295	2.5
1	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	2.5
1	B1+D2	0	0	0	1	0	1	0	42	29	224	2295	2.5
1	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	56	27	224	307	2.4
1	B1+D10	0	0	0	0	0	2	0	40	29	224	2293	2.4
1	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	56	27	224	307	2.4
1	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	56	27	224	307	2.5
1	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	56	27	224	307	2.4

Tabel B.3: Simuleret udglødning eksperiment 2 (fortsat) - med nabolag N_1 , $T_s = 10$, $\alpha = 0,999$ og $\omega = 10$. Varianter af T_e afprøvet på de tre kombinationer af datasæt B1+D1, B1+D2 og B1+D10. ”Res.” angiver resultatet og ”Tid” den brugte tid i sekunder

T_e	Data	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	B_1	B_2	B_3	Res.	Tid
1.00	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	33	224	318	1.5
1.00	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	34	224	311	1.5
1.00	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	34	224	311	1.5
1.00	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	34	224	311	1.5
1.00	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	34	224	311	1.5
1.00	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	60	29	224	313	1.8
1.00	B1+D2	0	0	0	0	0	1	0	50	29	224	1303	1.8
1.00	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	60	29	224	313	1.8
1.00	B1+D2	0	0	0	0	0	1	0	50	29	224	1303	1.8
1.00	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	60	29	224	313	1.8
1.00	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	56	29	224	309	1.6
1.00	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	56	29	224	309	1.6
1.00	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	50	29	224	303	1.6
1.00	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	56	29	224	309	1.6
1.00	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	56	29	224	309	1.6
0.10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	30	224	307	3.2
0.10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	30	224	307	3.2
0.10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	30	224	307	3.2
0.10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	30	224	307	3.2
0.10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	30	224	307	3.2
0.10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	3.8
0.10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	29	224	299	3.8
0.10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	29	224	299	3.8
0.10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	29	224	299	3.8
0.10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	29	224	299	3.8
0.10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	3.5
0.10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	3.5
0.10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	3.5
0.10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	3.5
0.10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	3.5
0.01	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	28	224	313	4.7
0.01	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	28	224	305	4.8
0.01	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	28	224	305	4.8
0.01	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	28	224	313	4.7
0.01	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	28	224	305	4.8
0.01	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.9
0.01	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.8
0.01	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.7
0.01	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.9
0.01	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.8
0.01	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.4
0.01	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	5.4
0.01	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.4
0.01	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.4
0.01	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.4

Tabel B.4: Simuleret udglødning eksperiment 3 - med nabolag N_1 , $T_s = 10$, $\alpha = 0,999$ og $\omega = 10$. Varianter af T_e afprøvet på de tre kombinationer af datasæt B1+D1, B1+D2 og B1+D10. ”Res.” angiver resultatet og ”Tid” den brugte tid i sekunder

α	Data	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	B_1	B_2	B_3	Res.	Tid
0.9999	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	26	224	311	48.0
0.9999	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	26	224	303	47.6
0.9999	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	26	224	303	47.5
0.9999	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	26	224	303	47.5
0.9999	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	26	224	311	47.7
0.9999	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	58.3
0.9999	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	58.8
0.9999	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	58.4
0.9999	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	58.3
0.9999	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	58.3
0.9999	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	55.0
0.9999	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	54.8
0.9999	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	55.1
0.9999	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	55.7
0.9999	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	54.8
0.999	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	28	224	305	4.8
0.999	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	28	224	313	4.7
0.999	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	28	224	313	4.7
0.999	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	28	224	313	4.7
0.999	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	28	224	305	4.8
0.999	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.8
0.999	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.9
0.999	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.8
0.999	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.9
0.999	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.8
0.999	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.4
0.999	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.4
0.999	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.4
0.999	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.4
0.999	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	5.3
0.99	B1+D1	0	0	0	0	0	1	2	53	31	224	3308	0.5
0.99	B1+D1	0	0	0	0	0	0	2	77	29	224	2330	0.5
0.99	B1+D1	0	0	0	0	0	0	2	77	29	224	2330	0.5
0.99	B1+D1	0	0	0	0	0	1	2	53	31	224	3308	0.5
0.99	B1+D1	0	0	0	0	0	1	2	53	31	224	3308	0.5
0.99	B1+D2	0	0	0	0	0	4	2	46	29	224	6299	0.5
0.99	B1+D2	0	0	0	2	0	4	2	46	28	224	8298	0.5
0.99	B1+D2	0	0	0	2	0	4	2	46	28	224	8298	0.5
0.99	B1+D2	0	0	0	2	0	4	2	46	28	224	8298	0.5
0.99	B1+D2	0	0	0	2	0	4	2	46	28	224	8298	0.5
0.99	B1+D10	0	0	0	0	0	2	2	40	29	224	4293	0.5
0.99	B1+D10	0	0	0	0	0	4	2	40	29	224	6293	0.5
0.99	B1+D10	0	0	0	0	0	4	2	40	29	224	6293	0.5
0.99	B1+D10	0	0	0	0	0	4	2	40	29	224	6293	0.5
0.99	B1+D10	0	0	0	0	0	4	2	40	29	224	6293	0.5

Tabel B.5: Simuleret udglødning eksperiment 4 - med nabolag N_1 , $T_s = 10$, $T_e = 0,01$ og $\omega = 10$. Varianter af α afprøvet på de tre kombinationer af datasæt B1+D1, B1+D2 og B1+D10. ”Res.” angiver resultatet og ”Tid” den brugte tid i sekunder

ω	Data	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	B_1	B_2	B_3	Res.	Tid
0	B1+D1	0	0	0	0	0	9	8	47	32	224	17303	0.1
0	B1+D1	1667	0	0	3	0	4	4	62	33	224	12986	0.1
0	B1+D1	1667	0	0	3	0	4	4	62	33	224	12986	0.1
0	B1+D1	0	0	0	0	0	9	8	47	32	224	17303	0.1
0	B1+D1	1667	0	0	3	0	4	4	62	33	224	12986	0.1
0	B1+D2	0	0	0	7	0	9	13	53	29	224	29306	0.1
0	B1+D2	0	0	0	7	0	9	13	53	29	224	29306	0.1
0	B1+D2	0	0	0	10	0	6	15	43	30	224	31297	0.1
0	B1+D2	2684	0	0	3	0	10	15	60	27	224	30995	0.1
0	B1+D2	0	0	0	7	0	9	13	53	29	224	29306	0.1
0	B1+D10	0	0	0	3	0	7	15	50	28	224	25302	0.1
0	B1+D10	0	0	0	3	0	7	15	50	28	224	25302	0.1
0	B1+D10	0	0	0	3	0	7	15	50	28	224	25302	0.1
0	B1+D10	0	0	0	4	0	9	12	40	28	224	25292	0.1
0	B1+D10	0	0	0	4	0	9	12	40	28	224	25292	0.1
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	28	224	305	4.9
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	27	224	312	4.9
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	28	224	305	4.9
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	28	224	305	4.9
10	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	61	28	224	313	4.7
10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.9
10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.8
10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.8
10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.9
10	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	5.8
10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	5.4
10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.4
10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	5.4
10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	44	28	224	296	5.5
10	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	48	28	224	300	5.6
100	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	26	224	303	47.8
100	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	26	224	303	47.9
100	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	26	224	303	47.9
100	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	26	224	303	47.8
100	B1+D1	0	0	0	0	0	0	0	53	26	224	303	47.5
100	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	58.3
100	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	58.3
100	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	58.3
100	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	58.3
100	B1+D2	0	0	0	0	0	0	0	46	28	224	298	58.3
100	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	55.0
100	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	55.0
100	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	54.6
100	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	55.0
100	B1+D10	0	0	0	0	0	0	0	52	28	224	304	54.6

Tabel B.6: Simuleret udglødning eksperiment 5 - med nabolag N_1 , $T_s = 10$, $T_e = 0,01$ og $\alpha = 0,999$. Varianter af ω afprøvet på de tre kombinationer af datasæt B1+D1, B1+D2 og B1+D10. ”Res.” angiver resultatet og ”Tid” den brugte tid i sekunder

Bilag C

Testresultater

Testresultater for samtlige kombinationer af datasæt B1-B9 og D1-26. Den simulerede udglødning blev konfigureret til den tilstand der i eksperimenterne med metaheuristikken gav de bedste resultater: $N(s) = N_1$, $T_s = 10$, $T_e = 0,01$, $\alpha = 0,999$ og $\omega = 10$.

Kolonnen "Datasæt" angiver kombinationen af datasæt, "1.res" angiver resultatet efter 1. iteration af 3-fase modellen, "1. tid" angiver tiden i sekunder for 1. iteration af 3-fase modellen. Kolonnen "Res." angiver det endelige resultat efter et antal iterationer i 3-fase modellen svarende til "ite". "Total tid" angiver den samlede tid for testen, som blev begrænset til ca. 3 minutter (180 sekunder).

Datasæt	1. res	1. tid	Ite.	Res.	Total tid
B1+D1	304	4.9	20	304	181.9
B1+D2	298	6.1	24	298	181.2
B1+D3	306	5.8	24	298	180.4
B1+D4	306	5.8	24	298	181.1
B1+D5	298	5.9	24	297	180.3
B1+D6	10982	7.6	17	10042	184.4
B1+D7	13026	7.5	17	9731	184.2
B1+D8	12728	7.3	17	9892	184.4
B1+D9	8842	7.6	17	8842	183.0
B1+D10	300	5.4	26	292	187.4
B1+D11	292	5.6	26	292	187.2
B1+D12	296	5.4	26	292	187.8
B1+D13	292	5.5	26	292	187.4
B1+D14	7315	7.4	17	7315	185.8
B1+D15	10887	7.1	17	8646	184.9
B1+D16	10370	7.5	17	9341	185.2
B1+D17	7567	7.4	17	7567	184.5
B1+D18	12359	3.6	35	12354	185.6
B1+D19	13583	7.6	19	9152	183.4
B1+D20	14160	7.6	19	10107	182.9
B1+D21	10188	7.5	19	9170	183.2
B1+D22	9836	7.5	19	9170	182.9
B1+D23	9703	5.9	27	5772	183.5
B1+D24	10114	5.8	27	7168	181.2
B1+D25	8944	5.8	27	5850	183.0
B1+D26	9318	6.6	22	6328	182.6

Tabel C.1: Testresultater med datasæt B1

Datasæt	1. res	1. tid	Ite.	Res.	Total tid
B2+D1	304	5.9	23	303	185.5
B2+D2	15186	10.8	16	14609	184.4
B2+D3	15608	10.0	16	14598	187.0
B2+D4	16674	9.9	16	14935	186.3
B2+D5	17357	10.4	16	15662	185.4
B2+D6	5645	10.1	17	1324	192.9
B2+D7	5645	10.1	17	1323	193.0
B2+D8	5645	10.1	17	3322	191.3
B2+D9	7677	9.1	17	1322	190.0
B2+D10	15845	10.8	16	13197	189.9
B2+D11	15922	10.5	16	13503	191.8
B2+D12	15922	10.5	16	13651	191.6
B2+D13	13229	10.6	16	13229	190.0
B2+D14	5490	10.4	17	3318	190.4
B2+D15	6635	9.4	17	2319	189.1
B2+D16	6635	9.4	17	2319	189.1
B2+D17	9364	9.2	17	2320	187.9
B2+D18	24518	8.3	20	21458	185.7
B2+D19	8022	6.4	24	7923	183.2
B2+D20	6944	6.8	24	6944	180.5
B2+D21	8989	9.3	18	6841	188.6
B2+D22	7740	6.9	23	6577	183.4
B2+D23	7193	6.3	24	7193	182.1
B2+D24	7606	6.4	24	7606	182.0
B2+D25	5877	6.2	24	5877	180.9
B2+D26	-	-	-	-	-

Tabel C.2: Testresultater med datasæt B2

Datasæt	1. res	1. tid	Ite.	Res.	Total tid
B3+D1	30732	7.0	16	27422	184.4
B3+D2	24333	8.9	19	21788	188.2
B3+D3	26296	7.8	19	22429	187.1
B3+D4	24552	8.4	19	22981	189.1
B3+D5	24051	8.3	19	21448	186.9
B3+D6	6569	7.4	22	5626	182.3
B3+D7	9188	7.3	22	4971	182.7
B3+D8	9188	7.3	22	5455	182.6
B3+D9	7477	7.2	22	5535	182.5
B3+D10	23270	8.5	18	21671	180.6
B3+D11	23158	8.6	18	20712	181.4
B3+D12	23157	8.6	18	22367	181.0
B3+D13	25016	8.6	19	19998	190.0
B3+D14	9936	7.3	22	5525	181.8
B3+D15	7240	7.3	22	5613	181.4
B3+D16	9484	7.5	22	5453	181.8
B3+D17	7487	7.5	22	6113	182.2
B3+D18	307	4.4	29	303	181.7
B3+D19	5797	11.2	14	5028	189.5
B3+D20	9086	11.0	14	3298	191.3
B3+D21	4288	10.8	14	4057	190.0
B3+D22	5596	11.4	14	4293	190.7
B3+D23	10503	6.3	25	6547	187.0
B3+D24	11359	6.3	25	9803	186.5
B3+D25	7724	6.1	25	6054	185.3
B3+D26	-	-	-	-	-

Tabel C.3: Testresultater med datasæt B3

Datasæt	1. res	1. tid	Ite.	Res.	Total tid
B4+D1	38725	5.3	20	38417	186.3
B4+D2	42729	5.8	23	38298	185.4
B4+D3	40477	5.6	23	37585	182.5
B4+D4	41112	6.0	23	38182	185.5
B4+D5	39344	5.8	24	38397	189.7
B4+D6	19113	8.0	19	16880	183.2
B4+D7	20221	8.3	19	15996	185.1
B4+D8	19413	8.1	19	17007	184.3
B4+D9	18594	8.3	19	17103	184.9
B4+D10	37910	5.6	23	37323	191.2
B4+D11	38421	6.1	22	36350	180.7
B4+D12	38573	6.0	22	36327	180.0
B4+D13	37854	6.1	23	37157	190.0
B4+D14	18537	8.0	19	17200	183.8
B4+D15	18982	8.3	19	16439	184.1
B4+D16	18982	8.3	19	16485	185.6
B4+D17	19129	8.1	19	16856	183.8
B4+D18	16951	9.9	13	5765	204.0
B4+D19	32392	5.7	16	21645	182.9
B4+D20	30963	6.0	16	21819	183.5
B4+D21	32524	5.9	16	21562	184.0
B4+D22	29689	6.1	16	21164	183.7
B4+D23	14051	11.7	13	12381	182.8
B4+D24	12280	11.8	13	11271	187.1
B4+D25	13040	11.4	14	13019	195.0
B4+D26	30544	10.3	14	28131	193.1

Tabel C.4: Testresultater med datasæt B4

Datasæt	1. res	1. tid	Ite.	Res.	Total tid
B5+D1	16204	7.9	22	10493	183.8
B5+D2	22355	7.5	21	21448	185.5
B5+D3	23225	7.6	21	20068	187.7
B5+D4	22754	7.4	21	19901	186.6
B5+D5	22817	7.5	21	21297	184.9
B5+D6	-	-	-	-	-
B5+D7	-	-	-	-	-
B5+D8	-	-	-	-	-
B5+D9	-	-	-	-	-
B5+D10	19321	8.0	21	18482	188.3
B5+D11	20056	7.6	21	19488	187.0
B5+D12	20733	7.4	21	18228	189.3
B5+D13	18826	7.8	21	17850	186.8
B5+D14	-	-	-	-	-
B5+D15	-	-	-	-	-
B5+D16	-	-	-	-	-
B5+D17	-	-	-	-	-
B5+D18	7325	3.6	35	3357	185.4
B5+D19	31906	7.5	20	26893	182.4
B5+D20	31427	7.6	20	27796	184.6
B5+D21	33418	6.6	20	27675	182.9
B5+D22	31613	7.0	20	28012	183.6
B5+D23	16302	5.3	28	9242	183.0
B5+D24	16546	5.1	27	13084	184.8
B5+D25	11219	5.2	28	8549	182.1
B5+D26	33590	5.7	19	32675	189.4

Tabel C.5: Testresultater med datasæt B5

Datasæt	1. res	1. tid	Ite.	Res.	Total tid
B6+D1	30722	7.5	21	28908	187.0
B6+D2	29753	6.9	23	28822	181.1
B6+D3	27519	7.3	23	27519	181.7
B6+D4	29782	7.0	23	27969	183.2
B6+D5	31491	7.0	23	28378	182.5
B6+D6	-	-	-	-	-
B6+D7	-	-	-	-	-
B6+D8	-	-	-	-	-
B6+D9	-	-	-	-	-
B6+D10	27402	7.3	23	26737	186.7
B6+D11	26951	7.3	23	26951	188.6
B6+D12	27990	7.3	23	26754	186.5
B6+D13	28336	7.2	23	26594	186.0
B6+D14	-	-	-	-	-
B6+D15	-	-	-	-	-
B6+D16	-	-	-	-	-
B6+D17	-	-	-	-	-
B6+D18	25013	8.7	15	19420	180.7
B6+D19	-	-	-	-	-
B6+D20	-	-	-	-	-
B6+D21	-	-	-	-	-
B6+D22	-	-	-	-	-
B6+D23	34213	7.0	22	33172	189.8
B6+D24	35146	7.0	22	34987	187.7
B6+D25	36484	7.2	21	32932	181.0
B6+D26	-	-	-	-	-

Tabel C.6: Testresultater med datasæt B6

Datasæt	1. res	1. tid	Ite.	Res.	Total tid
B7+D1	59959	5.6	24	52491	193.0
B7+D2	77679	4.5	25	77677	187.2
B7+D3	78217	4.4	25	77680	186.9
B7+D4	77838	4.5	25	77681	187.0
B7+D5	78537	4.1	26	77679	189.4
B7+D6	46406	5.2	27	46399	181.9
B7+D7	49271	4.6	27	46398	181.6
B7+D8	47741	4.6	27	46362	182.6
B7+D9	46407	4.8	28	46399	188.6
B7+D10	65722	4.0	26	65721	186.4
B7+D11	65721	4.0	26	65718	186.1
B7+D12	65721	4.0	26	65718	186.3
B7+D13	65720	3.9	26	65720	183.3
B7+D14	47432	4.8	27	46390	181.8
B7+D15	46403	5.0	27	46389	183.8
B7+D16	46398	4.9	28	46393	188.3
B7+D17	46398	5.1	28	46393	188.3
B7+D18	57150	3.9	30	52798	183.1
B7+D19	-	-	-	-	-
B7+D20	-	-	-	-	-
B7+D21	-	-	-	-	-
B7+D22	-	-	-	-	-
B7+D23	-	-	-	-	-
B7+D24	-	-	-	-	-
B7+D25	-	-	-	-	-
B7+D26	-	-	-	-	-

Tabel C.7: Testresultater med datasæt B7

Datasæt	1. res	1. tid	Ite.	Res.	Total tid
B8+D1	312	4.8	20	298	182.3
B8+D2	298	5.9	24	298	180.7
B8+D3	306	5.8	25	298	187.2
B8+D4	306	5.8	25	298	186.3
B8+D5	298	5.9	25	298	187.7
B8+D6	9004	7.5	17	9004	183.5
B8+D7	8151	7.4	17	8151	184.5
B8+D8	8151	7.4	17	8151	183.5
B8+D9	9172	7.5	17	9172	184.3
B8+D10	300	5.4	26	292	186.8
B8+D11	297	5.6	26	292	187.8
B8+D12	296	5.4	26	291	187.9
B8+D13	292	5.5	26	292	186.8
B8+D14	10812	7.4	17	10163	184.7
B8+D15	8929	7.5	17	8929	184.5
B8+D16	10370	7.5	17	8483	184.9
B8+D17	7567	7.4	17	7567	185.5
B8+D18	12350	3.6	35	12350	185.6
B8+D19	13583	7.6	19	10654	182.4
B8+D20	13014	7.6	19	10128	183.7
B8+D21	10188	7.5	19	9229	183.7
B8+D22	9836	7.5	19	9780	183.5
B8+D23	9703	5.9	27	5698	184.2
B8+D24	10114	5.8	27	9000	181.8
B8+D25	12100	5.8	27	5141	182.3
B8+D26	9318	6.5	22	7327	182.8

Tabel C.8: Testresultater med datasæt B8

Datasæt	1. res	1. tid	Ite.	Res.	Total tid
B9+D1	8238	4.4	29	7928	180.8
B9+D2	15525	5.6	25	13491	185.4
B9+D3	15525	5.6	25	11478	186.1
B9+D4	15525	5.6	25	12364	185.1
B9+D5	15525	5.6	25	13213	185.5
B9+D6	6310	5.0	25	4314	186.5
B9+D7	6310	5.0	25	4313	186.2
B9+D8	6310	5.0	25	4317	185.7
B9+D9	4785	4.9	25	4317	185.8
B9+D10	18470	5.6	25	8997	186.4
B9+D11	14131	5.7	25	10325	187.3
B9+D12	14131	5.7	25	9324	186.8
B9+D13	10758	5.6	25	8285	186.5
B9+D14	5316	4.9	25	4316	184.5
B9+D15	4316	4.8	25	4316	184.4
B9+D16	5316	4.9	25	4311	184.7
B9+D17	4316	4.8	25	4311	184.8
B9+D18	10457	5.2	24	4399	182.9
B9+D19	33333	6.9	15	29916	195.2
B9+D20	32666	8.1	14	29945	180.5
B9+D21	32487	8.0	15	29043	195.2
B9+D22	33209	7.7	14	29347	182.0
B9+D23	17850	5.4	25	13876	184.1
B9+D24	19429	5.5	25	16829	182.6
B9+D25	16515	5.3	25	13369	182.8
B9+D26	33447	6.0	19	24837	192.8

Tabel C.9: Testresultater med datasæt B9

Bilag D

Eksempel på en vagtplan

Et eksempel på en lovlige 14-ugers vagtplan findes i nedenstående - den er genereret med datasæt B1+D1 med en objektværdi på 304 (B1:53, B2:27 og B3:224). Bemærk at samtlige angivelser af timer er multipliceret med 100 - dvs. en difference på -325 svarer til en difference på -3.25 timer. Det skal bemærkes at vaggtypen "00" for en deltidsansat angiver en nul-dag, mens det for en fuldtidsansat angiver en afspadseringsdag "HD".

id	Timetal	Type	Diff.	B1		B2	
0	3200T	SP	-893	12	(0 N2,0 N3,3 N4)	4	(3,0,3,7,1,0,0)
1	3700T	SP	-884	7	(1 N2,1 N3,1 N4)		
2	3700T	SP	-750	6	(2 N2,0 N3,1 N4)		
3	3700T	SP	-909	5	(1 N2,2 N3,0 N4)		
4	3700T	SP	-675	7	(3 N2,2 N3,0 N4)		
5	3200T	SP	-935	12	(0 N2,0 N3,3 N4)	3	(3,0,0,6,5,0,0)
6	3200T	SP	-818	12	(0 N2,0 N3,3 N4)	3	(3,0,0,5,6,0,0)
7	3700T	SP	-935	5	(1 N2,2 N3,0 N4)		
8	3700T	SP	-960	7	(1 N2,3 N3,0 N4)		
9	3050T	SP	-853	8	(0 N2,0 N3,2 N4)	3	(3,0,2,0,9,0,0)
10	3050T	SP	-710	8	(0 N2,0 N3,2 N4)	2	(8,0,0,6,0,0,0)
11	3700T	SP	-727	6	(0 N2,3 N3,0 N4)		
12	3050T	SP	-803	8	(0 N2,0 N3,2 N4)	3	(3,0,2,0,9,0,0)
13	3700T	SHJ	-75				
14	3700T	SHJ	-775				
15	3700T	SP	-901	5	(1 N2,2 N3,0 N4)		
16	3050T	SP	-85	8	(0 N2,0 N3,2 N4)	3	(5,0,2,0,7,0,0)
17	3200T	SP	-986	20	(0 N2,0 N3,5 N4)	3	(7,0,2,5,0,0,0)
18	3700T	SP	-650	7	(3 N2,0 N3,1 N4)		
19	3200T	SP	-926	12	(0 N2,0 N3,3 N4)	2	(5,0,0,9,0,0,0)
20	3700T	SP	-901	5	(1 N2,2 N3,0 N4)		
21	3700T	SP	-800	4	(2 N2,1 N3,0 N4)		
22	3700T	SP	-967	7	(3 N2,2 N3,0 N4)		
23	3050T	SHJ	700			1	(0,0,0,0,14,0,0)
24	3700T	SP	-84	5	(1 N2,2 N3,0 N4)		
25	3700T	SP	-842	7	(3 N2,2 N3,0 N4)		
26	3700T	SP	-500	7	(3 N2,2 N3,0 N4)		
27	3700T	SP	-634	6	(2 N2,2 N3,0 N4)		

Tabel D.1: Resultatet af 14-ugers vagtplanen produceret for datasæt B1+D1. "Diff." angiver timetals differencerne over 14 uger for hver af de ansatte (tallet er multipliceret med 100), "B1" angiver omkostningerne ved tildeling af nattevagter og "B2" angiver antallet af forskellige ugedage med nul-dage.

id	Timental	Type	Uge 1										Uge 2									
			M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff	M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff		
0	3200T	SP	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	3433	233	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	N4	2875	-325	
1	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	3433	3433	-267	
2	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	3467	-233	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100	
3	3700T	SP	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	3025	-675	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	BF	3458	-242	
4	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	BF	3467	-233	
5	3200T	SP	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	3433	233	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3025	-175	
6	3200T	SP	D1	D1	D1	D1	D1	00	BF	3100	-100	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	3433	3433	233	
7	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	BF	3467	-233	
8	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100	
9	3050T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	BF	2808	-242	
10	3050T	SP	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	2875	-175	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	BF	3025	-25	
11	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	3433	3433	-267	
12	3050T	SP	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	2808	-242	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	3100	50	
13	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100	
14	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100	
15	3700T	SP	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	3975	275	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100	
16	3050T	SP	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3025	-25	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	3100	50	
17	3200T	SP	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	2833	-367	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	BF	2833	-367	
18	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100	
19	3200T	SP	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	3175	-25	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	BF	3175	-25	
20	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100	
21	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100	
22	3700T	SP	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	3308	-392	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100	
23	3050T	SHJ	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	BF	3100	50	
24	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	3308	3308	-392	
25	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	3467	-233	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	BF	3458	-242	
26	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	BF	3975	275	
27	3700T	SP	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	3433	-267	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100	

Tabel D.2: En 14-ugers vagtplan produceret på 5.0 sekunder med datasæt B1+D1 (fortsættes)

id	Timestep	Type	Uge 3										Uge 4														
			M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff	M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff							
0	3200T	SP	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	N1	HD	00	L2	BF	N4	3433	233	N1	HD	00	L2	BF	N4	3433	233		
1	3700T	SP	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	2875	-825	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
2	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
3	3700T	SP	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3308	-392	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
4	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
5	3200T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	3100	-100	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	3025	-175
6	3200T	SP	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	00	D1	D1	00	L3	BF	BF	3025	-175	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	3175	-25
7	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	L2	D1	A2	BF	BF	3800	100	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	3975	275
8	3700T	SP	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	L1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3975	275	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242
9	3050T	SP	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	N1	HD	00	L2	BF	BF	3433	383	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	2833	-217	
10	3050T	SP	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	2833	-217	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	2875	-175
11	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3458	-242	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
12	3050T	SP	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	2808	-242	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	2808	-242
13	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
14	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3100	-600
15	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3308	-392
16	3050T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50
17	3200T	SP	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3433	233	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3025	-175
18	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3467	-233	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
19	3200T	SP	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	3175	-25	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	3433	233
20	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	3433	-267
21	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
22	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	3467	-233
23	3050T	SHJ	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50
24	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
25	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	3467	-233
26	3700T	SP	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	3433	-267	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242
27	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3467	-233	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100

Tabel D.3: (fortsat) En 14-ugers vagtplan produceret på 5.0 sekunder med dataset B1+D1 (fortsættes)

id	Timestep	Type	Uge 5						Uge 6						Timer	diff				
			M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff	M	T	O			T	F	L	S	Timer	diff
0	3200T	SP	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	BF	A1	L1	D1	D1	00	L3	BF	BF	3175	-25
1	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
2	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
3	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
4	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	BF	3433	-267
5	3200T	SP	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	3100	-100
6	3200T	SP	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	BF	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	BF	2833	-367
7	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	BF	D1	N1	HD	BF	BF	BF	N3	HD	3308	-392
8	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100
9	3050T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	BF	2808	-242
10	3050T	SP	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	BF	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	BF	2875	-175
11	3700T	SP	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	HD	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100
12	3050T	SP	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	3100	50
13	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100
14	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	3025	-675
15	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100
16	3050T	SP	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	BF	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	BF	3433	383
17	3200T	SP	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	BF	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3025	-175
18	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100
19	3200T	SP	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	BF	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	BF	3433	233
20	3700T	SP	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	BF	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	BF	3458	-242
21	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	BF	3467	-233
22	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	BF	3975	275
23	3050T	SHJ	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	3100	50
24	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	BF	3467	-233
25	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100
26	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	3800	100
27	3700T	SP	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	HD	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	BF	3458	-242

Tabel D.4: (fortsat) En 14-ugers vagtplan produceret på 5.0 sekunder med dataset B1+D1 (fortsættes)

id	Timestep	Type	Uge 7										Uge 8									
			M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff	M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff		
0	3200T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	3433	233				
1	3700T	SP	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	3467	-233				
2	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
3	3700T	SP	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	D1	D1	D1	BF	D2	BF	BF	3800	100				
4	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	3467	-233				
5	3200T	SP	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	2833	-367				
6	3200T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	-100				
7	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242				
8	3700T	SP	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
9	3050T	SP	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50				
10	3050T	SP	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	2875	-175				
11	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
12	3050T	SP	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3025	-25				
13	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	3025	-675				
14	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
15	3700T	SP	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
16	3050T	SP	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	2808	-242				
17	3200T	SP	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	3433	233				
18	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
19	3200T	SP	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	3175	-25				
20	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	3975	275				
21	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	3308	-392				
22	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	3433	-267				
23	3050T	SHJ	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50				
24	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	HD	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
25	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242				
26	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
27	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				

Tabel D.5: (fortsat) En 14-ugers vagtplan produceret på 5.0 sekunder med dataset B1+D1 (fortsættes)

id	Timental	Type	Uge 9										Uge 10									
			M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff	M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff		
0	3200T	SP	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	A1	L1	D1	D1	L3	BF	BF	3175	-25				
1	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
2	3700T	SP	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3025	-675				
3	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	N2	HD	BF	3467	-233				
4	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
5	3200T	SP	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	2833	-367				
6	3200T	SP	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	3100	-100				
7	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	3308	-392				
8	3700T	SP	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	D1	D1	D1	HD	BF	BF	BF	3458	-242				
9	3050T	SP	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	3433	383				
10	3050T	SP	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	3433	383				
11	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	3433	-267				
12	3050T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	2808	-242				
13	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
14	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
15	3700T	SP	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	D1	D1	D1	D1	HD	BF	BF	3458	-242				
16	3050T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50				
17	3200T	SP	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3025	-175				
18	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
19	3200T	SP	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	2875	-325				
20	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	D1	D1	D1	D1	N2	HD	BF	3467	-233				
21	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
22	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
23	3050T	SHJ	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50				
24	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
25	3700T	SP	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
26	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100				
27	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	L1	A1	L2	A2	A2	BF	BF	3975	275				

Tabel D.6: (fortsat) En 14-ugers vagtplan produceret på 5.0 sekunder med dataset B1+D1 (fortsættes)

id	Timestep	Type	Uge 11										Uge 12									
			M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff	M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff		
0	3200T	SP	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	-175	A1	L1	D1	D1	L3	BF	BF	3175	-25			
1	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	100	D1	D1	D1	HD	HD	BF	BF	3458	-242			
2	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	-242	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3800	100			
3	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3800	100			
4	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	D1	D1	D1	D2	BF	N3	HD	3433	-267			
5	3200T	SP	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	-25	D1	D1	D1	L3	00	BF	BF	3100	-100			
6	3200T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	N1	HD	L2	00	BF	N4	3433	233				
7	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	3975	275			
8	3700T	SP	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	3308	D1	D1	D1	HD	HD	BF	BF	3458	-242			
9	3050T	SP	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	2833	D1	D1	D1	L3	00	BF	BF	3100	50			
10	3050T	SP	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	-175	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	2833	-217			
11	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3800	100			
12	3050T	SP	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	2808	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	2808	-242			
13	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3800	100			
14	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3800	100			
15	3700T	SP	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	3975	D1	D1	D1	D2	N2	HD	BF	3467	-233			
16	3050T	SP	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	-25	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	3433	383			
17	3200T	SP	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	233	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	2875	-325			
18	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	-233	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3800	100			
19	3200T	SP	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	3433	00	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3025	-175			
20	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3025	-675			
21	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	-600	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3800	100			
22	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	-233	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3800	100			
23	3050T	SHJ	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	D1	D1	D1	00	BF	BF	BF	3100	50			
24	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	3308	-392			
25	3700T	SP	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	-267	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3800	100			
26	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	D1	D1	D1	D2	D2	BF	BF	3800	100			
27	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	D1	D1	D1	D2	N2	HD	BF	3467	-233			

Tabel D.7: (fortsat) En 14-ugers vagtplan produceret på 5.0 sekunder med dataset B1+D1 (fortsættes)

Uge 13													Uge 14												
id	Timetal	Type	M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff	M	T	O	T	F	L	S	Timer	diff					
0	3200T	SP	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	3175	-25	A1	L1	D1	00	L3	BF	BF	3175	-25					
1	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	3308	-392					
2	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100					
3	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100					
4	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	3467	-233					
5	3200T	SP	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	-100	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	-100					
6	3200T	SP	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3025	-175	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	-100					
7	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100					
8	3700T	SP	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	3975	275	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	3467	-233					
9	3050T	SP	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	2808	-242	L1	D1	N1	HD	00	BF	BF	2808	-242					
10	3050T	SP	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	2833	-217	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	3433	383					
11	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242					
12	3050T	SP	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	3433	383	00	N1	HD	L2	L3	BF	BF	2833	-217					
13	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	-600	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100					
14	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100					
15	3700T	SHJ	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100					
16	3050T	SP	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	2875	-175	00	D1	A1	A1	D2	BF	BF	2875	-175					
17	3200T	SP	N1	HD	L2	00	BF	BF	N4	3433	233	00	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3025	-175					
18	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	N1	HD	00	L2	BF	BF	N4	3433	-267					
19	3200T	SP	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	3025	-175	D1	D1	D1	00	D2	BF	BF	3025	-175					
20	3700T	SP	D1	N1	HD	BF	BF	N3	HD	3308	-392	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100					
21	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	3467	-233	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100					
22	3700T	SP	D1	D1	D1	BF	N2	HD	BF	3467	-233	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242					
23	3050T	SHJ	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50	D1	D1	D1	D1	00	BF	BF	3100	50					
24	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	L1	A1	L2	D1	A2	BF	BF	3975	275					
25	3700T	SP	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	3433	-267					
26	3700T	SP	BF	L1	N1	HD	BF	N3	HD	3433	-267	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100					
27	3700T	SP	D1	D1	D1	N1	HD	BF	BF	3458	-242	D1	D1	D1	D1	D2	BF	BF	3800	100					

Tabel D.8: (fortsat) En 14-ugers vagtplan produceret på 5.0 sekunder med dataset B1+D1 (fortsættes)

Bilag E

Kildekode

Der henvises til <http://www.diku.dk/hjemmesider/studerende/henriktp/>

Litteratur

- [1] Dansk Sygeplejeråd, Kommunernes Landsforening, *Arbejdstidsaftale for syge- og sundhedsplejersker*
<http://www.sygeplejersken.dk/job/tekstlink.asp?id=1500000&menu=194000>
(current 15. januar 2004) (1999)
- [2] Dansk Sygeplejeråd, Kommunernes Landsforening, *Primæroverenskomst*
<http://www.sygeplejersken.dk/job/tekstlink.asp?id=1450000&menu=194000#prot1.3> (current 4. februar 2004) (1999)
- [3] Arbejdsministeriet, *Bekendtgørelse af lov om arbejdsmiljø, LBK nr. 784 af 11/10/1999*, http://www.retsinfo.dk/_GETDOCL_/ACCN/A19990078429-REGL (current 4. februar 2004) (1999)
- [4] Dansk Sygeplejeråd, *Søgnehelligdagsbestemmelser i de nye arbejdstidsaftaler*, <http://www.sygeplejersken.dk/dsr/upload/020403soegne.doc> (current 4. februar 2004) (2003)
- [5] Personligt interview med Anne Vera Thim, Afdelingssygeplejerske, Kardiologisk afdeling C2, Amagerhospital, efteråret 2003.
- [6] Personligt interview og korrespondance med Ytte Hjert, Oversygeplejerske, Hoved Orto Centret, Anæstesi- og operationsklinikken, Rigshospitalet, efteråret 2003.
- [7] Personligt interview og korrespondance med Pernille Emmersen, Oversygeplejerske, Obstetrisk klinik, Rigshospitalet, efteråret 2003.
- [8] Personligt interview med Ulla Rechnagel, Afdelingssygeplejerske, Øre-Næse-Halsklinikken, Rigshospitalet, efterår 2003.
- [9] Personligt interview og korrespondance med Annette Storm, Afdelingssygeplejerske, Obstetrisk og gynækologisk operationsafdeling, Odense Universitets Hospital, efterår 2003.
- [10] M. Thorup *Mandskabsplanlægning for sygeplejersker*, IMM DTU, Richard Petersens Plads, Building 321, DK-2800 Kongens Lyngby, Denmark, M.Sc. Thesis, IMM-EKS-1997-3 (1997)

- [11] A. J. Mason, M. C. Smith *A Nested Column Generator for solving Rostering Problems with Integer Programming*, in International Conference on Optimisation : Techniques and Applications, L. Caccetta; K. L. Teo; P. F. Siew; Y. H. Leung; L. S. Jennings, and V. Rehbock (eds.), Curtin University of Technology, Perth, Australia, p827-834 (1998)
- [12] K. A. Dowsland *Nurse scheduling with tabu search and strategic oscillation* in European Journal of Operational Research 106 (1998), p. 393-407
- [13] E. S. Rosenbloom og N. F. Goertzen, *Cyclic nurse scheduling*, European Journal of Operational Research 31 (1987), p. 19-23
- [14] U. Aicklin og K. A. Dowsland *An indirect Genetic Algorithm for a Nurse Scheduling Problem* Accepted for publication by Computers and Operational Research. Tilgængelig på http://www.inf.brad.ac.uk/uaickeli/papers/02COR_indirect.pdf (current at 1/5-2004)
- [15] J. Leedgaard og K. H. Mortensen: *Optimering af mandskabsplanlægning i detail-branchen*, IMM DTU, Richard Petersens Plads, Building 321, DK-2800 Kongens Lyngby, Denmark, M.Sc. Thesis (2000)
- [16] P. Laursen: *Generelle Optimeringsheuristikker - en introduktion*, Dep. of Computer Science, University of Copenhagen, Universitetsparken 1, 2100 Copenhagen, Denmark, Technical Report 94/8 ISSN 0107-8283 (1994)
- [17] M. Gendreau *An introduction to tabu search*, Centre de recherche sur les transports and Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal, Case postale 6128, Succursale "Centre-ville", Montréal, Canada H3C 3J7 (2002), tilgængelig på http://www.ifi.uio.no/infheur/Bakgrunn/Intro_to_TS_Gendreau.htm (current at 1/5-2004)
- [18] C. Voudouris og E. Tsang: *Guided Local Search*, Dep. of Computer Science, University of Essex, Colchester, C04 3SQ, UK, Technical Report CSM-247 (1995)
- [19] C. Voudouris og E. Tsang: *Guided Local Search Joins the Elite in Discrete Optimisation*, submitted to DIMACS Workshop on Constraint Programming and Large Scale Discrete Optimisation, Rutgers, New Jersey, USA, (1998)
- [20] H. P. Williams: *Model building in mathematical programming*, 3rd ed., John Wiley & Sons Ltd., reprint 1994.
- [21] S. Røpke *Heuristics for The Multi-Vehicle Pickup and Delivery Problem with Time Windows*, Master-thesis, Dep. of Computer Science, University of Copenhagen, Universitetsparken 1, DK-2100 Copenhagen Ø (2002)