

Det Daglige Operasjonstimeplanproblemet

Beslutningsstøtte for generering av daglige
operasjonstimeplaner for elektive pasienter

Signe Marie Husø

Industriell økonomi og teknologiledelse

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Henrik Andersson, IØT

Medveileder: Marielle Christiansen, IØT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse

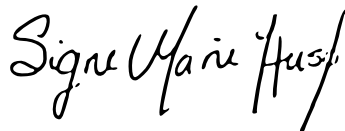
Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Norges Teknisk- Naturvitenskapelige Universitet ved Instituttet for industriell økonomi og teknologiledelse, våren 2015. Oppgaven omhandler bruk av optimering for planlegging av operasjoner på sykehus. Formålet er å støtte sykehus i genereringen av daglige operasjonstimeplaner for planlagte pasienter. Oppgaven er en videreføring av et forprosjekt utført høsten 2014 av Signe Marie Husø og Knut J. Hjertvik.

Stor takk til mine veiledere Førsteamanuensis Henrik Andersson og Professor Marielle Christiansen for all hjelp og utmerket veiledning. De har begge vært svært viktige støttespillere i arbeidet med denne oppgaven.

Takk også til Troels Martin Range for hjelp med informasjon om sykehus og optimering, og til Simen Braaten, Ola Gjønnes og Håkon Mork for hjelp med koding og analyseverktøy.

Trondheim, 25.juni 2015

A handwritten signature in black ink that reads "Signe Marie Husø". The signature is written in a cursive, flowing style.

Signe Marie Husø

Sammendrag

Sykehus står i dag ovenfor et økende press på effektivitet og kostnadsbesparelser. For å øke effektiviteten og redusere kostnadene uten å påvirke kvaliteten på pasientbehandlingen, er sykehus avhengig av god planlegging.

I denne oppgaven presenteres «det Daglige Operasjonstimeplanproblemet». Problemet omhandler genereringen av operasjonstimeplaner for planlagte pasienter. Målene har vært å generere operasjonstimeplaner som reduserer kostnader knyttet til bruk av ressurser og antall utsatte pasienter. Målene inkluderer også rask behandling av ankommende ikke-planlagte pasienter.

En grunnleggende blandet heltallsmodell (Basismodellen) og fire apriori kolonnegenereringsmodeller er presentert for å løse problemet. I tillegg presenteres fem modeller for generering av kolonner til apriori kolonnegenereringsmodellene. Akuttpasienter inkluderes ved å jevne ut avslutningstidspunktet for planlagte pasienters operasjoner.

Basismodellen og to apriori kolonnegenereringsmodeller er implementert og testet for å bestemme hvilken modell som er best for løsningen av «det Daglige Operasjonstimeplanproblemet». Testene gir ikke grunnlag for å si at noen av modellene presterer best i løsningen av problemet. Modellene for generering av kolonner til apriori kolonnegenereringsmodellene har vist seg å være både tidkrevende og begrensende for problemstørrelsen som kan løses. På grunnlag av dette ansees Basismodellen som den beste av modellene for generering av operasjonstimeplaner.

Testene av Basismodellen viser at modellen løser problemer med 20 minutters tidsdiskretisering og 10 pasienter til optimalitet. Gode løsninger genereres for instanser med opp til 20 pasienter. For større instanser reduseres kvaliteten av løsningene. Målfunksjonen i modellene viser seg å være flat, som antyder et stort løsningsområde med mange jevn gode løsninger.

Problemspesifikke analyser viser at spesialismespesifikke ressurser har stor innvirkning på problemet. Høyere grad av felles ressurser gir bedre utnyttelse av ressursene. Samtidig gjør økt grad av frihet at problemene blir vanskeligere å løse. Analysen viser at inkluderingen av ikke-elektive pasienter har størst innvirkning på små problemer der relativt lave antall pasienter og rom per spesialisisme gjør det vanskelig å spre

avslutningstidspunktene for elektive pasienters operasjoner. Å tillate bruk av overtid viser seg å ha stor innvirkning på kvaliteten av operasjonstimeplanene som genereres. En liten økning i overtid gir relativt store forbedringer i løsningene.

Innhold

Innhold	iv
Figurer	vi
Tabeller	viii
1 Introduksjon	2
2 Bakgrunn	4
2.1 Sykehusstruktur	4
2.2 Operasjonsgangplanlegging og styring	4
2.3 Hendelsesforløp for operasjoner	8
2.4 Pasientklassifiseringer	9
2.5 Håndtering av ikke-elektive pasienter	10
2.6 Inkludering av PACU, ICU, og sengeposter	11
2.7 Usikkerhet	11
3 Litteratursøk	12
3.1 To litteraturstudier	12
3.2 Syv beskrivende felt	13
3.2.1 Problem	14
3.2.2 Målfunksjon	15
3.2.3 Inkludering av sykehusenheter, ressurser og personell	18
3.2.4 Inkludering av ikke-elektive pasienter	19
3.2.5 Håndtering av tid	21
3.2.6 Inkludering av usikkerhet	22
3.2.7 Løsningsmetode	23
4 Problembeskrivelse	26
5 Modeller	29
5.1 Antakelser og forenklinger i modellen	29
5.2 Notasjon	30
5.2.1 Mengder og indekser	30
5.2.2 Tidsparametere	33
5.2.3 Øvrige parametere	34
5.2.4 Variable	36

5.3	Basismodellen	42
5.3.1	Romallokeringsrestriksjoner	42
5.3.2	Kirurgallokeringsrestriksjoner	43
5.3.3	Forbruksrestriksjoner	44
5.3.4	BII restriksjoner	45
5.3.5	Symmetribrytende restriksjoner	47
5.3.6	Måfunksjon	48
5.3.7	Ikke-negativitet- og binaritetskrav	48
5.4	Apriori kolonnegenereringsmodeller	50
5.4.1	Apriori Kolonnegenereringsmodell 1 (AKM1)	51
5.4.2	Apriori Kolonnegenereringsmodell 2 (AKM2)	54
5.4.3	Apriori Kolonnegenereringsmodell 3 (AKM3)	54
5.4.4	Apriori Kolonnegenereringsmodell 4 (AKM4)	56
5.5	Alternativ målfunksjonsformulering	58
5.6	Innføringen av Fler-Rekke Ulikheter	59
5.7	Modeller for generering av kolonner	62
5.7.1	Eksakt generering av kolonner til AKM3 (G-AKM3)	63
5.7.2	Heuristisk modell (1) for generering av kolonner til AKM3 (G-AKM3-M)	66
5.7.3	Heuristisk modell (2) for generering av kolonner til AKM3 (G- AKM3-MO)	68
5.7.4	Generering av kolonner til AKM1 (G-AKM1 og G-AKM1-M)	69
6	Problemet for Sydvestjysk Sygehus	71
7	Resultater og analyse	74
7.1	Data og implementering	74
7.2	Test av genereringsmodellene med økende instans	75
7.3	Sammenligning av AKM-modellene og Basismodellen	80
7.3.1	Prioriterte prestasjonsmål for vurdering av generatormodellene	81
7.3.2	Resultater for Basismodellen	82
7.3.3	Analyse av G-AKM3-modellene	83
7.3.4	Analyse av AKM1-modellene	89
7.3.5	Sammenligning av alle modellene	93
7.3.6	Videre testing	94
7.3.7	Oppsummering for analyse av Basismodellen og AKM-modellene	95
7.4	Effekten av spesialismer	96
7.5	Effekt av ikke-elektive pasienter	105

7.6	Effekt av overtid	107
8	Konklusjon	109
9	Videre Arbeid	110
	Vedlegg	113
A	Modellnotasjon for Basismodellen og AKM-modellene	113
B	Basismodellen	116
C	Apriori kolonnegenereringsmodell	119
C.1	Apriori kolonnegenereringsmodell 1 (AKM1)	119
C.2	Apriori kolonnegenereringsmodell 2 (AKM2)	122
C.3	Apriori kolonnegenereringsmodell 3 (AKM3)	125
C.4	Apriori kolonnegenereringsmodell 4 (AKM4)	127
D	Genereringsmodellene	129
D.1	G-AKM3	129
D.2	G-AKM1-M	130
D.3	G-AKM3-MO	131
D.4	G-AKM1	132
D.5	G-AKM1-O	133
E	Resultater fra empiriske analyse av G-AKM3- og G-AKM1-modellene	134
F	Resultater fra stor instans, dag 1 og 2 med tidsdiskretisering på 20 minutter	138

Figurer

1	Problemene innen operasjonsteaterplanlegging –og styring (Hans et al., 2011).	5
2	Problemene innen operasjonsteaterplanlegging –og styring med markering av områdene utdypet i figur 3.	5
3	Problemene innen styringsområdet ressurskapasitetsplanlegging innen operasjonsgangplanlegging og styring (Range, 2015).	6
4	Problemene innen operasjonsplanlegging.	7

5	Tidsintervallene som beskriver hendelsesforløpet for operasjonsprosedyrer.	8
6	Eksempel på en operasjonsplan.	9
7	Operasjonsplanen i figur 6, der de ulike tidsintervallene i pasientenes operasjonsprosedyrer er illustrert.	10
8	Ressursforbruk i de ulike tidsintervallene i operasjonsprosedyren. Blå farge indikerer at ressurs eller personell anvendes i tidsintervallet. . . .	30
9	Pasient og tidsspesifikke mengder. Noter at de pasient og tidsspesifikke mengdene i dette tilfellet står i sammenheng med tidsintervallene illustrert i figur 5. En vesentlig forskjell mellom de to er at de pasient og tidsspesifikke mengdene er mengder som funksjoner av starttiden for pasient i sin operasjon, mens tidsintervallene i figur 5 er konstante tidsintervall som er uavhengig tiden t	32
10	Tidsparameterene som inngår i modellene relatert til de ulike tidsintervallene i hendelsesforløpet for operasjoner, som er illustrert i figur 5.	34
11	Operasjonsplanen fra eksempelet i avsnitt 2.3, der tidsperioder hvor rom er opptatt er markert i lys rosa.	39
12	Operasjonsplanen fra eksempelet i avsnitt 2.3, der tidsperioder hvor kirurger er opptatt er markert i mørk blå.	39
13	Verdien av variablene z_{gt} , f_{gt} og \hat{f}_{gt} for eksempelet gitt i avsnitt 2.3. Verdiene på radene "Alle rom opptatt" og "Alle kirurger opptatt" tar henholdsvis verdi 1 dersom alle rom og kirurger innen spesialismen er opptatt i den gitte tidsperioden, og er 0 ellers. Verdiene er basert på figur 11 og 12 over.	39
14	Verdiene av overtidsvariabelen t_r^{OR} i eksempelet presentert i avsnitt 2.3.	40
15	Verdiene av variablene v_{irt} , u_{irt} og t_r^{OR} i eksempelet i avsnitt 2.3. . . .	40
16	Antall anestesileger og operasjonssykepleiere av type 1 og 2 som trengs for å gjennomføre operasjonsplanen i eksempelet i avsnitt 2.3.	41
17	Den resulterende PACU-timeplanen for eksempelet i avsnitt 2.3, basert på oppvåkningstidene gitt i tabell 15.	41
18	Genereringen av kolonner i G-AKM3-M	67
19	Det heuristiske kravet om skjemaletting i henhold til romtider i genereringsmodellen G-AKM3-MO	68
20	Utvikling av løsningssøk i Basismodellen.	95

Tabeller

1	Oversikt over beslutningsnivå og type problemer.	15
2	Prestasjonsmålene som inngår i målfunksjonene i de ulike artiklene. . .	17
3	Inkludering av sykehusenheter.	18
4	Inkludering av ikke-elektive pasienter.	21
5	Håndtering av tid i manuskriptene	21
6	Inkludering av usikkerhet.	23
7	Løsningsmetoder i artiklene.	25
8	Indekser.	31
9	Ordinære mengder.	31
10	Pasient og tidsspesifikke mengder.	32
11	De spesialismespesifikke delmengdene i eksempelet gitt i avsnitt 2.3. .	32
12	PACU-opphold for pasientene i eksempelet gitt i avsnitt 2.3.	33
13	Pasient og tidsspesifikke mengder for eksempelet gitt i avsnitt 2.3. . .	33
14	Tidsparametere.	33
15	Tidsparametere i eksempelet gitt i avsnitt 2.3.	35
16	Øvrige parametere.	36
17	Oversikt over alle variable med navn og kort beskrivelse.	37
18	Informasjonen i en kolonne i de ulike AKM-modellene.	50
19	Nye indekser i AKM-modellene.	52
20	Ny mengde i AKM-modellene.	52
21	Nye parametere i AKM-modellene.	52
22	Nye pasient og tidsspesifikke mengder i AKM-modellene.	52
23	Ny variabel i AKM-modellene.	52
24	Kombinasjoner av 3 pasienter.	60
25	Etikettene som inngår i et mønster	63
26	Fordelingen av rom på den Sentrale Operasjonsgangen på SVJS. Rom 2 er for øyeblikket stengt, mens rom 12 kun kan behandle enkelte av operasjonstypene innen ØNH. To type operasjonssykepleiere er fordelt mellom de fem spesialismene. Spesialismene som bruker operasjonssykepleiere av type 1 og 2 er markert ved å bruke kursiv og vanlig skrifttype for spesialismene respektivt.	72
27	Resultater for genereringsmodellene med en tidsdiskretisering på 20 minutter per tidsperiode.	77
28	Resultater for genereringsmodellene med en tidsdiskretisering på 15 minutter per tidsperiode.	78

29	Resultater for genereringsmodellene med en tidsdiskretisering på 10 minutter per tidsperiode.	79
30	Resultater for test av liten, medium og stor instansstørrelse for Basismodellen.	83
31	Resultater fra t-test for AKM3-modellene.	84
32	G-AKM3-modellene presterer best for små instanser	85
33	Prosentandel av tilfellene der de ulike G-AKM3-modellene presterer best for 1) testene av de mellomstore instansene der alle genereringsmodellene gir resultater, 2) testene av de mellomstore instansene der minst G-AKM3-M og G-AKM3-MO gir resultater, og 3) alle mellomstore testinstanser.	86
34	Prosentandel av tilfellene der de ulike G-AKM3-modellene presterer best for 1) testene av de store instansene der alle genereringsmodellene gir resultater, 2) testene av de store instansene der minst G-AKM3-M og G-AKM3-MO gir resultater, og 3) alle store testinstanser.	87
35	Oppsummering av beste G-AKM3 modeller	88
36	Sannsynligheten for avviket mellom gjennomsnittlig målfunksjonsverdi for AKM1-modellene, gitt av t-testene for AKM1-modellene.	89
37	AKM1-modellene som presterer best i de parvise t-testene der sannsynligheten for avviket i gjennomsnittlig målfunksjonsverdi er mindre en den angitte grensen på fem prosent.	90
38	Prosentandel av tilfellene der de to ulike G-AKM1-modellene presterer best blant alle AKM1-testene med små instanser.	90
39	Prosentandel av tilfellene der de ulike G-AKM1-modellene presterer best for 1) mellomstore instanser der begge genereringsmodellene gir resultater, 2) alle mellomstore testinstanser.	91
40	Prosentandel av tilfellene der de ulike G-AKM1-modellene presterer best for 1) store instanser der begge genereringsmodellene gir resultater, 2) alle store testinstanser.	92
41	Oppsummering av beste G-AKM1-modeller	92
42	Resultater fra t-test for alle modellene.	94
43	Målfunksjonsverdi for test av AKM3-modeller	97
44	Målfunksjonsverdi for test av AKM1-modeller	98
45	Resultatene for test av spesialismespesifikke kirurger og rom for små instanser.	102
46	Resultatene for test av spesialismespesifikke kirurger og rom for mellomstore instanser.	103

47	Resultatene for test av spesialismespesifikke kirurger og rom for store instanser.	104
48	Resultater fra test av effekten av ikke-elektive pasienter	106
49	Resultater fra test av effekten av overtid	108
50	Beste genereringsmodell for små instanser i AKM3.	134
51	Beste genereringsmodell for mellomstore instanser i AKM3	135
52	Beste genereringsmodell for mellomstore instanser i AKM3.	135
53	Beste genereringsmodell for små instanser i AKM1.	136
54	Beste genereringsmodell for mellomstore instanser i AKM1.	136
55	Beste genereringsmodell for store instanser i AKM1.	137
56	Resultater for test av AKM3-modeller med ulike genereringsmodeller for Stor instans, Dag 1 og 20 minutters tidsdiskretisering. I dette tilfellet gir G-AKM-MO optimal løsning med høyere målfunksjonsverdi enn ikke-optimal løsning i for de to andre genereringsmodellene. Dette indikerer at mønster som inngår i den optimale løsningen av det opprinnelige problemet ikke er representert blant de genererte mønstrene i genereringsmodell G-AKM2-MO.	138
57	Resultater for test av AKM3-modeller med ulike genereringsmodeller for Stor instans, Dag 2 og 20 minutters tidsdiskretisering. Samme tilfelle som for samme instans for Dag 1 ovenfor; tilfelle der mønstre som inngår i den optimale løsningen av det opprinnelige problemet er ikke representert i mengden av genererte mønstrene i G-AKM2-MO.	138

1 Introduksjon

Aldrende befolkning, teknologisk utvikling og økende velferd har de siste 50 årene ført til økt etterspørsel etter sykehustjenester (Agdestein, 2012). Økende etterspørsel har ført til økte kostnader, og i løpet av de siste 50 årene har den totale helsekostnaden, som prosentandel av brutto nasjonalprodukt, økt fra 3.8 prosent i 1960 til 9.3 prosent i 2012 blant landene i Organisasjonen for økonomisk samarbeid og utvikling (OECD, 2014). Totale utgifter innen Helse -og Omsorgsdepartementet var i 2014 på omlag 131 milliarder kroner og stod for 8.3 prosent av Norges totale utgifter (Statsbudsjettet 2014). Finanskrisen i verden har satt et ytterligere preg på situasjonen og forsterker behovet for effektivisering (Teixeira og De Oliveira, 2015). Sykehus står derfor i dag ovenfor et økende press på effektivitet og kostnadsbesparelser. Samtidig kreves det at økt effektivitet og kostnadsbesparelser ikke går ut over kvaliteten på pasientbehandlingen. God planlegging og effektiv bruk av knappe ressurser er derfor stadig mer aktuelt innen sykehusdrift.

Operasjonsgangen er det fysiske området som omfatter alle operasjonsrommene samt oppvåkningsavdelingene. Kostnader knyttet til operasjoner utgjør rundt 40 prosent av totale sykehuskostnader, mens omlag 67 prosent av sykehusets inntekter stammer fra operasjonene (Essen et al., 2012). I tillegg vil rundt 60 prosent av pasientene besøke operasjonsgangen i løpet av et sykehusopphold. Planlegging og effektiv ressursutnyttelse innen operasjonsgangen er derfor essensielt for god pasientbehandling og effektiv ressursutnyttelse for sykehuset som en helhet.

Ulike interesser blant aktører gjør det vanskelig å definere et godt ytelsesnivå, og oppnåelsen av ønsket ytelsesnivå innen operasjonsgangen avhenger av hvilke prestasjonsmål som evalueres. Fra et medisinsk perspektiv er hovedfokuset å redde flest liv og å gjøre flest mulig av pasientene friske. Fra et økonomisk perspektiv er kostnads-effektiv drift i sentrum, mens fordeling av ressurser på en måte som kommer flest mulig til gode, i tillegg til lover og regelverk (som arbeidsmiljøloven) er essensielt fra et politisk perspektiv. Dette kompliserer oppgaven rundt fordelingen av knappe ressurser. Derfor trengs det verktøy for beslutningsstøtte for planlegging og styring av operasjonsgangen.

Den første bruken av operasjonsanalyse innen sykehus er datert fra sent på 1940-tallet (Teixeira og De Oliveira, 2015). Siden den gang er en rekke artikler og bøker publisert. I dagens litteratur understrekes behovet for videre forskning.

I denne oppgaven diskuteres timeplanlegging av pasienter innen operasjonsgangen. Fokuset er «det Daglige Operasjonstimeplanproblemet» (forkortet til DOP), et operasjonelt planleggingsproblem der starttiden for pasienters operasjoner skal fastsettes på hvert operasjonsrom innen en planleggingsperiode på en dag. Målet er å generere operasjonstimeplaner som reduserer kostnader knyttet til bruk av ressurser og antall utsatte pasienter, og som fremmer rask håndtering av ankommende ikke-elektive pasienter. For å løse problemet foreslås en grunnleggende blandet heltallsmodell (engelsk: mixed integer program, forkortet til MIP) samt fire apriori kolonnegenereringsmodeller (forkortet til AKM).

I motesetning til mange publikasjoner i litteraturen, som kun tar høyde for et fåtall av hensynene innen operasjonstimeplanlegging, inkluderer DOP en rekke hensyn. Eksempelvis er inkluderingen av ikke-elektive pasienter i planleggingen, kombinert med inkludering av oppvåkningsavdelinger for pasienter, lite diskutert i nåværende litteratur. Av de publiserte artiklene som inkluderer mange ulike hensyn, løses de fleste med en heuristik tilnærming.

Denne oppgaven er bygd opp på følgende måte: Kapittel 2 inneholder informasjon om sykehusdrift og planlegging. Kapittel 3 gir en oversikt over relevant litteratur innen bruk av operasjonsplanlegging innen operasjonsgangen. I kapittel 4 presenteres en detaljert beskrivelse av DOP, mens modellformuleringene for problemet er presentert i kapittel 5. Kapittel 7.1 inneholder et reelt studie. I tillegg diskuteres hensyn som er tatt i implementeringen av studiet. Resultater fra testing og analyse er presentert i kapittel 7, mens kapittel 8 inneholder konklusjonen for oppgaven. I kapittel 9 diskuteres til slutt mulige forbedringer av modellen og områder av interesse for videre arbeid.

2 Bakgrunn

2.1 Sykehusstruktur

Sykehus varierer i størrelse og oppgaver. Det derfor finnes også ulike organisasjonsformer (Iversen, 2009). Et sykehus består gjerne av en eller flere sengeposter, en eller flere operasjonsganger, samt en eller flere intensivavdelinger (engelsk: Intensive Care Unit, forkortet til ICU). I tillegg inkluderer operasjonsgangen på enkelte sykehus et eget rom forbeholdt klargjøring av pasienter før operasjon. Dette kalles et *klargjøringsrom*.

På sengepostene ligger innlagte pasienter. Sengepostene er gjerne delt inn etter medisinske fagområder. De medisinske fagområdene kalles herved *spesialismer*. Operasjonsgangen omfatter operasjonsrom samt en eller flere oppvåkingsavdelinger (engelsk: Post Anesthesia Care Unit, forkortet til PACU). Operasjonsrommene kan være tilknyttet ulike spesialismer eller være tilgjengelige for alle type operasjoner. ICU er en egen avdeling for pasienter som trenger spesiell overvåkning.

2.2 Operasjonsgangplanlegging og styring

Operasjonsgangplanlegging og styring defineres i denne oppgaven som all planlegging tilknyttet utførelsen av operasjoner innen operasjonsgangen. Figur 1 viser en oversikt over de ulike områdene og problemene innen operasjonsgangplanlegging og styring (Hans, Van Houdenhoven et al., 2012). De ulike problemene dekomponeres i henhold til ulike styringsområder og ulike beslutningsnivå. De ulike styringsområdene er presentert langs den horisontale akse i figur 1. De omfatter medisinsk planlegging (Medical planning), ressurskapasitetsplanlegging (Resource capacity planning), materialplanlegging (Materials planning) og finansiell planlegging (Financial planning). Medisinsk planlegging omfatter planlegging og styring relatert til den medisinske behandlingen av pasienter, ressurskapasitetsplanlegging og materialplanlegging omhandler styring og planlegging av ressurser og materialer, mens finansiell planlegging omhandler den finansielle planleggingen knyttet til behandling av pasienter. På den vertikale akse er de ulike beslutningsnivåene representert. Beslutningsnivåene sier noe om tidshorisonten for beslutningene som tas. Strategiske beslutninger har lang tidshorisont, taktiske beslutninger har medium tidshorisont, og operasjonelle beslutninger har kort tidshorisont (Cardoen et al., 2010). Offline operasjonelle beslutninger er beslutninger som tas før gjennomføringen av planene settes i gang, mens online

operasjonelle beslutninger er beslutninger som tas etter at gjennomføringen av planene er satt i gang (Cardoen et al., 2010).

	Medical planning	Resource capacity planning	Materials planning	Financial planning	
Strategic	Research, development of medical protocols	Case mix planning, capacity dimensioning, workforce planning	Supply chain and warehouse design	Investment plans, contracting with insurance companies	↑ hierarchical decomposition ↓
Tactical	Treatment selection, protocol selection	Block planning, staffing, admission planning	Supplier selection, tendering	Budget and cost allocation	
Offline operational	Diagnosis and planning of an individual treatment	Appointment scheduling, workforce scheduling	Materials purchasing, determining order sizes	DRG billing, cash flow analysis	
Online operational	Triage, diagnosing emergencies and complications	Monitoring, emergency coordination	Rush ordering, inventory replenishing	Billing complications and changes	
	← managerial areas →				

Figure : Illustration from Hans. et. al.

Figur 1: Problemene innen operasjonsteaterplanlegging –og styring (Hans et al., 2011).

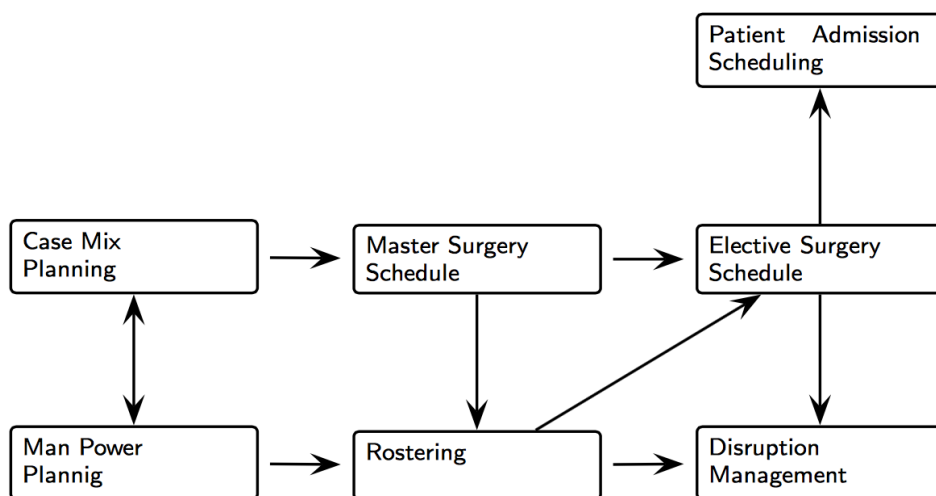
Fokuset i denne oppgaven er styringsområdet ressurskapasitetsplanlegging på offline operasjonelt nivå. Det aktuelle området for er markert i figur 2.

	Medical planning	Resource capacity planning	Materials planning	Financial planning	
Strategic	Research, development of medical protocols	Case mix planning, capacity dimensioning, workforce planning	Supply chain and warehouse design	Investment plans, contracting with insurance companies	↑ hierarchical decomposition ↓
Tactical	Treatment selection, protocol selection	Block planning, staffing, admission planning	Supplier selection, tendering	Budget and cost allocation	
Offline operational	Diagnosis and planning of an individual treatment	Appointment scheduling, workforce scheduling	Materials purchasing, determining order sizes	DRG billing, cash flow analysis	
Online operational	Triage, diagnosing emergencies and complications	Monitoring, emergency coordination	Rush ordering, inventory replenishing	Billing complications and changes	
	← managerial areas →				

Figur 2: Problemene innen operasjonsteaterplanlegging –og styring med markering av områdene utdypet i figur 3.

Fordi ressurskapasitetsplanleggingen på offline operasjonelt nivå er tett knyttet til ressurskapasitetsplanlegging på tanktisk nivå, blir også ressurskapasitetsplanlegging

på tanktisk nivå diskutert i oppgaven. Figur 3 illustrerer de ulike problemene og sammenhengen mellom problemene som inngår i ressurskapasitetsplanlegging på taktisk og operasjonelt nivå. Problemet *Patient Admission Scheduling* omhandler allokeringen av pasienter til senger og rom på pasientavdelingene (Range et al., 2014), *Man Power Planning* og *Rostering* omhandler planlegging av personell, mens *Disruption Management* omfatter problemet på online operasjonelt nivå innen ressurskapasitetsplanlegging som omhandler håndteringen av uforutsette hendelser og forstyrrelser i gjennomføringen av planene. De tre problemene på midterste rad i figur 3 tar for seg planlegging og styring av pasienter på operasjonsrommene. Dette kalles *operasjonsplanlegging*, og er fokuset i denne oppgaven. Operasjonsplanlegging kan inkludere andre enheter som PACU, ICU eller pasientavdelingene, men er først og fremst rettet mot pasientflyten på operasjonsrommene. De tre problemene tilsvarer operasjonsplanlegging på henholdsvis strategisk, taktisk og offline operasjonelt nivå.

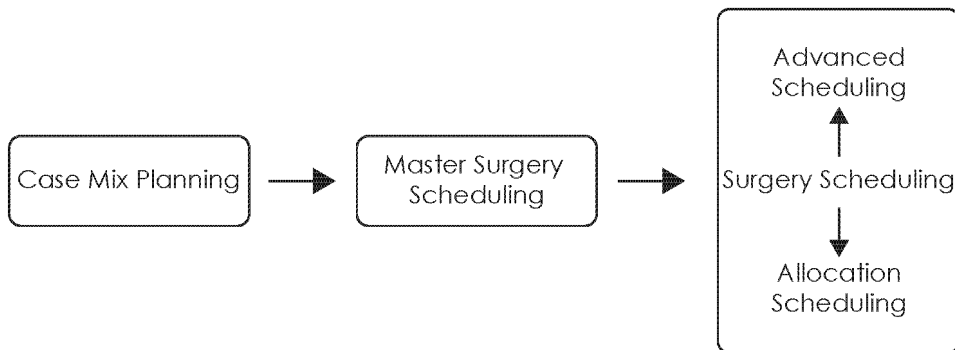


Figur 3: Problemene innen styringsområdet ressurskapasitetsplanlegging innen operasjonsgangplanlegging og styring (Range, 2015).

De to første problemene innen operasjonsplanlegging, *Case Mix Planning* og *Master Surgery Schedule*, omhandler planlegging i forkant av timeplanleggingen. I *Case Mix Planning* bestemmes antall og type operasjoner som skal utføres samt antall nødvendige ressurser, for en kommende planleggingsperiode (Molina-Pariente et al., 2015). Ut ifra dette bestemmes en syklisk timeplan, *The Master Surgery Schedule*, der tidsblokker innen operasjonsrommene (heretter kalt *operasjonsromblokker*) tildeles de ulike spesialismene (Aringhieri et al., 2015). Det siste problemet, kalt *Elective*

Surgery Scheduling omhandler timeplanleggingen av pasienter på operasjonsrommene. Her bestemmes hvilke pasienter som skal opereres innen hvilke operasjonsblokker, samt den detaljerte operasjonstimeplanen som spesifiserer når pasienters operasjon skal starte og slutte på hvert rom (Range et al., 2014). Problemet deles inn i de to sub-problemene; *Advance Scheduling*, og *Allocation Scheduling* (Aringhieri et al., 2015). *Advance Scheduling* omhandler allokeringen av pasienter til operasjonsblokker og dermed rom, mens den detaljerte operasjonstimeplanen for ethvert rom bestemmes i *Allocation Scheduling* (Aringhieri et al., 2015). I mange tilfeller er operasjonsromblokkenes varighet en dag. I disse tilfellene tilsvarer *Advance Scheduling* allokeringen av pasienter til hver operasjonsrom-dag kombinasjon i planleggingsperioden.

Definisjonene og navnene på problemene innen operasjonsromplanlegging varierer i litteraturen. I denne oppgaven vil imidlertid navnene og definisjonene presentert i dette avsnittet anvendes, foruten om det offline operasjonelle problemet, *Elective Surgery Scheduling*, som i denne oppgaven simpelthen vil refereres til som *Surgery Scheduling*. Figur 4 gir en oversikt over navnene på operasjonsplanleggingsproblemene som anvendes i denne oppgaven.

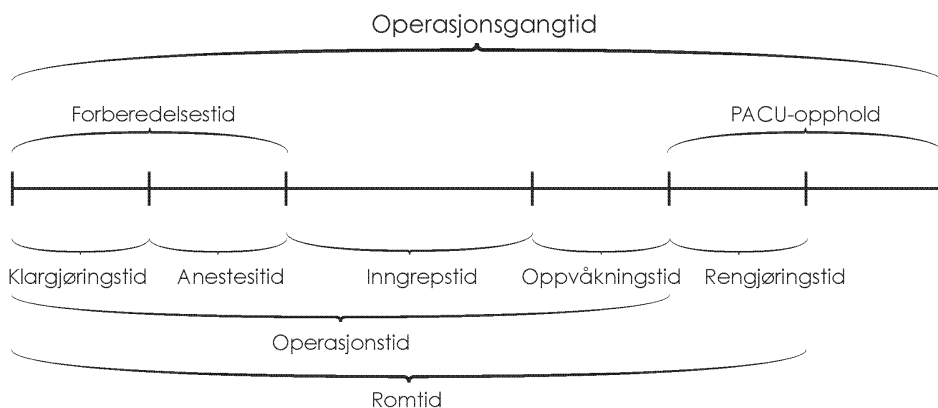


Figur 4: Problemene innen operasjonsplanlegging.

2.3 Hendelsesforløp for operasjoner

En *operasjonsprosedyre* defineres som alle aktivitetene tilknyttet en operasjon som finner sted innen operasjonsgangen. For å forenkle hendelsesforløpet deles operasjonsprosedyrene opp i seks mindre tidsintervall. Disse seks tidintervallene vil herved refereres til som *primære tidsintervall*. I tillegg til de primære tidsintervallene spesifiseres fire *akkumulerte tidsintervall*. De akkumulerte tidsintervallene tilsvarer summen av to eller flere primære tidsintervall. De ulike tidsintervallene som inngår i operasjonsprosedyren er illustrert i figur 5.

Tiden det tar å klargjøre en pasients inngrep refereres til som *klargjøringstiden*. Dette omfatter tiden det tar å klargjøre utstyr og maskiner, flytte pasienten over på operasjonsbordet og legge pasienten riktig, samt klargjøring og sterilisering av kroppsdelen der inngrepet skal utføres. Tiden det tar å bedøve pasienten beregnes som tidsintervallet fra anestesilegen setter bedøvelsen på pasienten, til bedøvelsen virker fullstendig og anestesilegen kan forlate rommet. Dette tidsintervallet kalles *anestestiden*. *Inngrepetiden* betegner tiden det tar å utføre selve inngrepet på en pasient. Det vil si tidsintervallet fra og med kirurgen begynner å skjære i pasienten, til pasienten er sydd sammen og kirurgen forlater rommet. Når pasientene er ved en forutbestemt grad av bevissthet trilles pasienten inn til oppvåkingsavdelingen (PACU). Tiden det tar fra en pasients inngrep er avsluttet til pasienten trilles fra rommet til PACU kalles *oppvåkningstiden*. Tiden som går med til å rengjøre et rom etter en operasjon kalles *rengjøringstiden*, mens tiden en pasient oppholder seg på PACU, refereres til som pasientens *PACU-opphold*.



Figur 5: Tidsintervallene som beskriver hendelsesforløpet for operasjonsprosedyrer.

Forberedelsestid betegner den totale tiden før inngrepet på en pasient. Det tilsvarer summen av pasientens klargjøringstid og anestesitid. Den totale varigheten av en pasients operasjon kalles *operasjonstid*, og tilsvarer summen av klargjøringstid, anestesitid, inngrepstid og oppvåkningstid. Ved å legge til rengjøringstiden får en pasientens *romtid*. Det tilsvarer den totale tiden pasienten okkuperer et rom. For sykehus som inkluderer dedikerte klargjøringsrom for pasienter kan deler av klargjøringstiden trekkes fra romtiden. Den totale tiden en pasient befinner seg på operasjonsgangen kalles pasientens *operasjonsgangtid*. Dette tilsvarer summen av pasientens operasjonstid, eventuelt delen av klargjøringstiden som finner sted på et klargjøringsrom, og pasientens PACU-opphold.

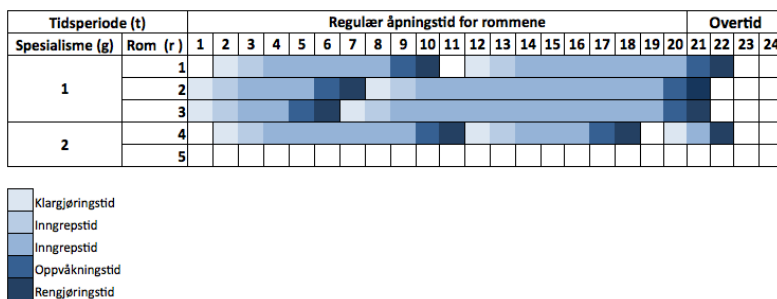
Figur 6 illustrerer et eksempel på en operasjonsplan. Figur 7 viser det samme eksempelet, men illustrerer de ulike tidsintervallene som inngår i operasjonsprosedyren for hver av pasientene i operasjonsplanen. Dette eksempelet vil bli brukt som et gjenngående eksempel i resten av oppgaven. Eksempelet består av to spesialismer (Spesialisme 1 og Spesialisme 2), med henholdsvis tre og to rom. Syv pasienter tilhører Spesialisme 1, mens tre pasienter inngår i Spesialisme 2. En ser i dette eksempelet at det kun er Pasient 6 som ikke inngår i operasjonsplanen. Altså skjemalegges alle pasienter foruten Pasient 6 i dette eksempelet. Operasjonsplanen i figur 6 viser at rom 5 ikke er tatt i bruk.

Tidsperiode (t)		Regulær åpningstid for rommene																		Overtid							
Spesialisme	Rom	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	1	pasient 1						pasient 4																			
	2	pasient 2						pasient 7																			
	3	pasient 5						pasient 3																			
2	4	pasient 9						pasient 8						pasient 10													
	5																										

Figur 6: Eksempel på en operasjonsplan.

2.4 Pasientklassifiseringer

Pasienter deles i litteraturen i to overordnede pasientklasser; elektive og ikke-elektive pasienter. Elektive pasienter er pasienter med operasjoner som kan planlegges på forhånd, mens ikke-elektive pasienter er pasienter som ankommer uventet med operasjoner som haster (Cardoen et al., 2010). Elektive pasienter kan deles videre i *innpasienter* (engelsk: inpatients) og *dagpasienter* (engelsk: outpatients). Innpasienter er pasienter som har minst en overnatting på sykehuset, mens dagpasienter ankommer



Figur 7: Operasjonsplanen i figur 6, der de ulike tidsintervallene i pasientenes operasjonsprosedyrer er illustrert.

og drar fra sykehuset på samme dag. Det er også vanlig å klassifisere elektive pasienter i henhold til prioriteter. Formålet er å bruke prioriteterne for å styre planleggingen og behandlingen av elektive pasienter (Guerriero og Guido, 2011). Ikke-elektive pasienter kan deles i *akuttpasienter* (engelsk: emergency patients) og *hastepasienter* (engelsk: urgent patients), avhengig av hvor fort de må behandles etter ankomst. Akuttpasienter må opereres så fort som mulig, mens hastepasienter som pasienter er tilstrekkelig stabile og kan utsettes en kort periode etter ankomst (Cardoen et al., 2010).

2.5 Håndtering av ikke-elektive pasienter

De fleste sykehus håndterer ikke-elektive operasjoner ved å reservere kapasitet på operasjonsrommene. Reserveringen av romkapasitet kan foregå på tre måter; (1) ikke-elektive pasienter tildeles egne operasjonsrom, (2) ikke-elektive pasienter skjema legges på de elektive operasjonssalene, eller (3) en kombinasjon av (1) og (2) (Essen et al., 2012). I situasjon (1) opereres ikke-elektive pasienter med en gang dersom en dedikert operasjonssalen er ledig. Dersom ingen dedikert operasjonsrom er ledig må pasienten vente på det første ledige dedikerte operasjonsrommet. I situasjon (2) kan ikke-elektive pasienter opereres på det første ledige av alle operasjonsrommene. Andre operasjoner vil da utsettes til fordel for operasjonen på akuttpasienten. I situasjon (3) opereres akuttpasienten på et dedikert operasjonsrom dersom der er et ledig, eller venter på det første av alle operasjonsrommene dersom som er ledig (Essen et al., 2012).

2.6 Inkludering av PACU, ICU, og sengeposter

Operasjonsrommene er knyttet til andre enheter som PACU, ICU og sykehusets sengeposter. Korrelasjoner mellom operasjonsrommene og nedstrømmene enheter som ICU, PACU og sykehusavdelingene gjør at disse bør inkluderes i operasjonsplanleggingen, også av medisinske grunner. Operasjonsromplanleggingen påvirker de nedstrømmende enhetene og visa versa. For eksempel vil høy gjennomstrømning av pasienter på operasjonsrommene medføre økt strøm av pasienter inn til ICU og PACU. Dette øker sannsynligheten for at PACU eller ICU blir fylt opp, slik at en pasient som er ferdig med operasjon må vente på operasjonsrommet til en seng er ledig. Dette refereres til som *bed blocking* i litteraturen (Cardoen et al., 2009).

2.7 Usikkerhet

Usikkerheten rundt sykehustjenester er et av de største problemene for genereringen av nøyaktige operasjonstimeplaner (Cardoen et al., 2010). I dette tilfellet er det gjerne snakk om to typer usikkerhet: usikkerhet knyttet til etterspørselen av operasjoner og usikkerhet knyttet til varigheten av operasjoner. Usikkerheten knyttet til etterspørselen av operasjoner inkluderer både usikkerhet i etterspørselen etter elektive operasjoner samt den uforutsette ankomsten av ikke-elektive pasienter. Usikkerheten knyttet til varigheten av operasjoner inkluderer usikkerheten i varigheten av alle tidsintervallene i operasjonsprosedyren. I tillegg kommer usikkerhet knyttet til forsinkelser av personell samt transportering av pasienter og utstyr.

3 Litteratursøk

I dette kapittelet presenteres relevant litteratur innen operasjonsgangplanlegging og styring med fokus på operasjonsplanlegging. Litteraturen innen operasjonsgangplanlegging og styring er preget av mangel på klare og universelle definisjoner. Dette medfører at den er noe uoversiktlig (Cardoen et al., 2010). I denne oppgaven anvendes navnene og definisjonene presentert i delkapittel 2.2.

Rammene for litteratursøket er litteratur innen operasjonsplanlegging på taktisk og offline operasjonelt nivå, som baserer seg på operasjonsanalyse. Det er ikke satt noen ramme for publiseringsår for litteraturen som presenteres. All litteratur som ansees som relevant for oppgaven eller som bidrar til å skape et oversiktlig bilde over litteraturen om operasjonsplanlegging inkluderes. Det inkluderes kun litteratur som er publisert på engelsk.

Litteratursøket struktureres på følgende måte: Først blir litteraturstudier innen operasjonsplanlegging presenteret. Deretter evalueres og sammenliknes en rekke artikler innen syv ulike felt, som enten er problemorienterte eller teknisk orienterte.

3.1 To litteraturstudier

De siste 60 årene har det blitt presentert mye litteratur innen operasjonsgangplanlegging og styring (Cardoen et al., 2010). I to nyere litteraturstudier presenterer Cardoen et al. (2010) og Guerriero og Guido (2011) henholdsvis 124 og 129 artikler og bøker. Rammene for begge litteraturstudiene er litteratur som omhandler bruk av operasjonsanalyse for operasjonsplanlegging. Cardoen et al. (2010) begrenser sitt litteraturstudie til litteratur publisert fra og med år 2000. Guerriero og Guido (2011) setter ingen grense for publiseringsår i sitt litteraturstudie.

Hovedforskjellen mellom de to er måten litteraturstudiene struktureres på. Cardoen et al. (2010) evaluerer og sammenlikner litteraturen i henhold til seks ulike områder, på samme måte i dette litteratursøket. Hensikten med studiet er å gi et overblikk over litteraturen ut ifra ulike interesseområder, samt å identifisere områder som er dårlig dekket av litteraturen. Guerriero og Guido (2011) derimot kategoriserer manuskriptene ut ifra de tre beslutningsnivåene (det strategiske, det taktiske og det operasjonelle beslutningsnivået). Cardoen et al. (2010) beskriver de tre beslutningsnivåene som et mye brukt hjelpemiddel for å kartlegge problemene innen operasjonsplanlegging men

understreker at denne definisjonen er vag ettersom det ikke er noen klar definisjon av de tre nivåene. Det fører til at forskjellige forfattere enkelte ganger definerer det samme problemet på ulik måte. (Cardoen et al., 2010) beskriver heller beslutningene som tas i et eget område der de bruker en 2-dimensjonal klassifisering for å beskrive ulike beslutninger. Den ene dimensjonen ser på hva beslutningen gjelder (dato, tidspunkt, rom eller kapasitet), mens den andre dimensjonen omhandler hvem beslutningen gjelder (eks. spesialisme, kirurg, pasient eller andre).

Fordelen med litteraturstudiet av Cardoen et al. (2010) er at det er enkelt og oversiktlig å sammenligne litteraturen ut ifra ulike interesseområder, i tillegg til at de ikke belager seg på de ikke-universelle definisjonene av de tre beslutningsnivåene for operasjonsplanlegging. Fordelen med Guerriero og Guido (2011) sin struktur er at hvert manuskript presenteres på et sted. På den måten kan leseren lese om et problem og løsningsmetoden som anvendes for å løse det uten å måtte lese gjennom hele litteraturstudiet.

3.2 Syv beskrivende felt

I følgende avsnitt evalueres og sammenliknes litteraturen innen syv beskrivende felt, på samme måte som i litteraturstudiet av Cardoen et al. (2010). De syv feltene er som følger: (1) Problem, (2) Målfunksjon, (3) Inkludering av sykehusenheter, ressurser og personell, (4) Inkludering av ikke-elektive pasienter, (5) Håndtering av tid, (6) Inkludering av usikkerhet, og (7) Løsningsmetode.

I det beskrivende feltet «Problem» presenteres problembeskrivelse, beslutningsnivå og type problem for artiklene presentert i dette litteraturstudiet. Det beskrivende feltet «Målfunksjon» beskriver prestasjonsmål og målfunksjonene som anvendes i litteraturen, mens «Inkludering av sykehusenheter, ressurser og personell» ser på hvilke hensyn som er inkludert i operasjonsplanleggingsproblemene. «Inkludering av ikke-elektive pasienter» omhandler hvorvidt manuskriptene tar høyde for ikke-elektive pasienter i planleggingen, mens «Håndtering av tid tar» tar for seg hvordan tid håndteres i modelleringen. «Inkludering av usikkerhet» ser på hvorvidt litteraturen inkluderer usikkerhet i planleggingsproblemene. Det beskrivende feltet «Løsningsmetode» tar til slutt for seg løsningsmetodene som anvendes i den presenterte litteraturen.

3.2.1 Problem

Fügener et al. (2014), Hans, Wullink et al. (2008), Cardoen et al. (2009), Marcon og Dexter (2006) og Essen et al. (2012) ser på isolerte problemer innen operasjonsplanlegging. Det vil si at de ser på ett problem som enten er på taktisk eller operasjonelt nivå. Aringhieri et al. (2015), Tànfanì og Testi (2010), Agnetis et al. (2014), Jebali et al. (2006) og Doulabi et al. (2014) derimot ser på integrerte problemer som inkluderer flere av problemene innen operasjonsplanlegging.

Fügener et al. (2014) diskuterer det taktiske *Master Surgery Scheduling*-problemet med hovedfokus på hvordan dette påvirker pasientflyten inn på ICU og sengepostene. Hans, Wullink et al. (2008) ser på et *Advance Scheduling*-problem der pasienter allokteres til operasjonsromblokker. Både planleggingsperioden og operasjonsromblokkene har lengde lik en dag, og operasjonsromblokkene er tildelt en spesialisering på en daglig basis. Problemet tilsvarer altså et *Advance Scheduling*-problem der pasienter allokteres til spesialiseringsspesifikke operasjonsrom innen en gitt planleggingsdag. Listen av pasienter som skal opereres er forutbestemt, og pasienter hverken legges til eller trekkes fra denne listen. Hensikten er å se på om det kan frigjøres kapasitet ved å re-allokere pasientene. Problemet kaller de *the Robust Surgery Loading Problem*.

Cardoen et al. (2009), Marcon og Dexter (2006) og Essen et al. (2012) ser på varianter av *Allocation Scheduling*-problemet. Cardoen et al. (2009) presenterer et ganske ordinært *Allocation Scheduling*-problem der starttidene for en forutbestemt liste av pasienter skal bestemmes innen forutbestemte operasjonsromblokker. Marcon og Dexter (2006) presenterer en simuleringsmodell der ulike regler for sekvensering av pasientene evalueres. Syv sekvenseringsregler er testet på en mengde scenarioer. Formålet er å se hvordan sekvenseringsreglene påvirker PACU-avdelingen. Problemet i Essen et al. (2012) omhandler å bestemme sekvensen av operasjoner på hvert operasjonsrom. Timeplanene antas tettpakkede. Det vil si at sekvensen av pasienter på hvert rom angir den komplette operasjonstimeplanen på alle rom. Listen over pasientene som skal opereres på hvert rom antas å være kjent.

Aringhieri et al. (2015), Tànfanì og Testi (2010) og Agnetis et al. (2014) tar for seg det samlede *Master Surgical Schedule* og *Allocation Scheduling*-problemet. Problemene som presenteres av Tànfanì og Testi (2010) og Agnetis et al. (2014) er svært like. De ser på samme type problem og har samme målfunksjon. Forskjellene ligger i antakelsene og løsningsmetodene som presenteres i de to manuskriptene.

Jebali et al. (2006) og Doulabi et al. (2014) ser på det samlede *Surgery Scheduling*-problemet, som består av *Advance Scheduling* og *Allocation Scheduling*. Jebali et al. (2006) løser problemet i to steg. *Advance Scheduling*-problemet løses først. Deretter løses *Allocation Scheduling*-problemet. To strategier evalueres for løsningen av *Allocation Scheduling*-problemet. I den første strategien revurderes ikke resultatet fra den første steget. Her er det altså forutbestemt hvilke operasjoner som skal inngå på de ulike rommene. For den andre strategien åpnes det derimot for revurdering av allokeringen av operasjoner på de ulike rommene. Problemet presentert av Doulabi et al. (2014) ligner på problemet presentert av Jebali et al. (2006). To hovedforskjeller skiller de to problemene. Den første er at de to har ulik planleggingshorisont og dermed tar ulike beslutninger i *Advance Scheduling*-steget. Doulabi et al. (2014) ser på en tidshorisont på en uke og bestemmer både rommet og dagen en operasjon skal utføres på. Jebali et al. (2006) derimot ser på en planleggingshorisont på en dag og bestemmer derfor kun hvilket rom operasjonene skal utføres på. Den andre forskjellen er at de to modellene tar ulike antakelser. Blant annet inkluderer Jebali et al. (2006) to nedstrømmene sykehusenheter, mens Doulabi et al. (2014) antar at nedstrømmene sykehusenheter ikke er begrensende for planleggingen på operasjonsrommene. Tabell 1 gir en oversikt over problemene som presenteres i litteraturen.

3.2.2 Målfunksjon

Jebali et al. (2006) og Doulabi et al. (2014) bruker begge maksimering av utnyttelsen av operasjonsrommene som et prestasjonsmål i sitt samlede *Surgery Scheduling*-problem. Jebali et al. (2006) inkluderer også ventetiden for elektive pasienter i målfunksjonen. Ventetiden definerer de som tiden mellom pasientenes innleggesdato og planlagte operasjonsdato. Målfunksjonen i *Advance Scheduling*-delen av problemet i Jebali et al. (2006), er å minimere over- og undertid på operasjonsrommene,

Nivå	Type problem	Manuskript
Taktisk	Master Surgery Scheduling	Fügener et al. (2014)
Taktisk og operasjonelt	Master Surgery Scheduling og Advance Scheduling	Aringhieri et al. (2015), Tãnfani og Testi (2010), Agnetis et al. (2014)
Operasjonelt	Advance Scheduling	Hans, Wullink et al. (2008)
	Allocation Scheduling	Essen et al. (2012), Marcon og Dexter (2006), Cardoen et al. (2009)
	Surgery Scheduling (Advance og Allocation Scheduling)	Jebali et al. (2006), Doulabi et al. (2014)

Tabell 1: Oversikt over beslutningsnivå og type problemer.

samt å minimere ventetiden mellom pasientenes innleggelsesdato og operasjonsdato. I *Allocation Scheduling*-delen av problemet er målfunksjonen å minimere total overtid. I Doulabi et al. (2014) derimot maksimeres simpelthen summen av tidsenheter med planlagte operasjoner på operasjonsrommene. Hans, Wullink et al. (2008) ser også på utnyttelsen av operasjonsteateret. I tillegg ønsker de å minimere total overtid og kanselleringer av operasjoner.

Tanfani og Testi (2010), Agnetis et al. (2014) har samme målfunksjon for det samlede *Master Surgery Scheduling* og *Advance Scheduling*-problemet. De minimerer elektive pasienters vektete ventetid. Den vektete ventetiden avhenger av den pasientenes faktiske ventetid, som er tiden mellom datoen en pasient inkluderes i ventelisten og datoen pasienten inkluderes i operasjonsplanen, og pasientenes hastegrad. Både kostnadene knyttet til pasientene som inngår i operasjonsplanen og til pasientene som ikke inngår i operasjonsplanen inkluderes. Også Aringhieri et al. (2015) minimerer pasienters ventetid, men inkluderer ikke pasientenes hastegrad. Istedenfor inkluderer de antall senger som anvendes i løpet av helgene i minimeringsproblemet. Fokuset i Essen et al. (2012) er å jevne minimere ventetiden for akuttpasienter.

Cardoen et al. (2009) presenterer en flermålsfunksjon, der kostnader knyttet til seks objektiv minimeres. Målfunksjonen omfatter skjemalegging av barn og prioriterte pasienter så tidlig som mulig på dagen samt pasienter som må reise langt for å komme til sykehuset etter et gitt tidspunkt, minimering av overtid på PACU-avdelingene, og utjevning av antallet pasienter på to PACU-avdelinger. Skjemalegging av barn og prioritetspasienter så tidlig som mulig gjøres ved å minimere starttidspunktene for alle disse operasjonene. Prioriterte pasienter er i dette tilfellet blant annet pasienter som har blitt utsatt ved en tidligere anledning. For å skjemalegge pasienter som må reise langt for å komme til sykehuset etter et gitt tidspunkt tid minimeres antallet langreisende pasienter som starter operasjon før det gitte referansetidspunktet.

Objektivet i Fügener et al. (2014) er rettet mot ICU og pasientavdelingene. Målet er å generere *the Master Surgery Schedule* på en måte som minimerer kostnadene av ressursforbruket på de nedstrømmene enhetene ICU og pasientavdelingene forårsaket av *the Master Surgery Schedule*. En overikt over målfunksjonene er presentert i tabell 2.

Prestasjonsmål	Manuskript
Ventetid	
for elektive pasienter	Jebali et al. (2006), Tånfani og Testi (2010), Agnētis et al. (2014), Aringhieri et al. (2015)
for ikke-elektive pasienter	Essen et al. (2012)
Utnyttelse	
Operasjonsrommene	Jebali et al. (2006), Hans, Wullink et al. (2008)
Overtid	
Operasjonsrommene	Jebali et al. (2006), Doulabi et al. (2014), Hans, Wullink et al. (2008)
PACU	Cardoen et al. (2009)
Utgjevning av ressursbruk	
PACU	Cardoen et al. (2009)
Finansiell	
ICU	Fügener et al. (2014)
Pasientavdelingene	Fügener et al. (2014)
Utsettelse av pasienter	
elektive	Tånfani og Testi (2010), Agnētis et al. (2014), Aringhieri et al. (2015)
Pasientprioriteringer eller hastegrader	Tånfani og Testi (2010), Agnētis et al. (2014), Aringhieri et al. (2015)
Annet	Cardoen et al. (2009)

Tabell 2: Prestasjonsmålene som inngår i målfunksjonene i de ulike artiklene.

3.2.3 Inkludering av sykehusenheter, ressurser og personell

Når operasjonsromtimeplaner skal legges står beslutningstakerne ovenfor en avveining mellom inkluderingen av kompleksiteten i det helhetlige bildet og faren for suboptimale løsninger ved å kun se på isolerte enheter (Fügener et al., 2014). Fügener et al. (2014) vektlegger viktigheten av å inkludere nedstrømsende enheter i operasjonsromplanleggingen. De inkluderer ICU og pasientavdelingene i genereringen av *the Master Surgery Schedule*. PACU-avdelingen inkluderes ikke ettersom den er en del av operasjonsteateret på mange sykehus. Tånfani og Testi (2010) inkluderer oppvåkningssenger på ICU som en begrensende ressurs. Oversikten over hvilke sykehusenheter som er inkludert i problemene er angitt i tabell 3.

Sykehusenheter	Manuskript
Operasjonsrom	Hans, Wullink et al. (2008), Cardoen et al. (2009), Fügener et al. (2014), Jebali et al. (2006), Doulabi et al. (2014), Tånfani og Testi (2010), Agnetis et al. (2014)
PACU	Cardoen et al. (2009), Jebali et al. (2006), Marcon og Dexter (2006)
ICU	Fügener et al. (2014), Tånfani og Testi (2010)
Sykehusavdelinger	Fügener et al. (2014)

Tabell 3: Inkludering av sykehusenheter.

Cardoen et al. (2009) inkluderer ingen andre ressurser enn operasjonsrommene. Hvorvidt operasjonsrommene ansees som homogene eller heterogene sier de ingenting om, men ettersom det er forutbestemt hvilke pasienter som skal opereres innen hver operasjonsblokk har det heller ingen betydning for problemet. Hverken Essen et al. (2012) eller Hans, Wullink et al. (2008) inkluderer andre enheter enn operasjonsrommene, og heller ingen andre ressurser eller noen typer personell. Hans, Wullink et al. (2008) antar at det knyttes et operasjonsteam til hver operasjonsrom-dag kombinasjon. Det vil si at hvert operasjonsrom har et eget operasjonsteam på en daglig basis, men antar at hvert operasjonsteam har et tilstrekkelig antall kirurger til å kunne utføre alle operasjoner. Kirurger og operasjonssykepleiere, som inngår i operasjonsteam, er altså ikke begrensende ressurser og inkluderes ikke i problemet. Essen et al. (2012) antar homogene operasjonsrom.

I Marcon og Dexter (2006) er operasjonsrommene er knyttet til ulike spesialismer og anses derfor som heterogene. Det skilles imidlertid ikke mellom rommene innen samme spesialisme, og en pasient innen en spesialisme kan flyttes til alle ledige operasjonsrom som tilhører den samme spesialismen. De inkluderer ikke anestesileger og

operasjonssykepleiere, men PACU-sykepleiere inngår i deres simuleringsmodell. Også Doulabi et al. (2014) antar homogene operasjonsrom og heterogene kirurger. Alle operasjonsrom antas å ha samme kapasitet og å være utstyrt med samme utstyr, mens det maksimale antall timer en kirurg kan operere i løpet av en planleggingsdagen er kirurg –og dagsavhengig. Aringhieri et al. (2015) inkluderer senger som anvender i helgen i tillegg til operasjonsrom i sitt problem.

Jebali et al. (2006) modellerer både operasjonsrom og kirurger som heterogene. Blant annet er regulær åpningstid og mulig overtid romavhengig, mens tilgjengeligheten for kirurgene er avhengig av kirurgen, og det skilles på hvilket rom pasientene allokeres til og hvilken kirurg pasientene opereres av. Jebali et al. (2006) antar at antall operasjonssykepleiere er tilstrekkelig til å dekke alle operasjonsrom. Operasjonssykepleiere inngår altså ikke som en begrensende ressurs.

Også Tànfani og Testi (2010) og Agnetis et al. (2014) modellerer operasjonsrommene som heterogene. I Tànfani og Testi (2010) er åpningstid og maksimal overtid på rommene romavhengig. I Agnetis et al. (2014) er operasjonsrommene spesialismeneavhengige, men modelleres som homogene innen hver spesialisme. Agnetis et al. (2014) nevner ingen andre resurser enn operasjonsrommene, og heller ikke noe type personell. Tànfani og Testi (2010) inkluderer operasjonsteam som omfatter blant annet kirurger. Operasjonsteamene er knyttet til spesialismene, men ansees som homogene innen hver spesialisme.

Foruten om Marcon og Dexter (2006) som inkluderer PACU-operasjonssykepleiere sier ingen andre manuskripter noe om andre type sykepleiere, og ingen av manuskriptene nevner anestesileger i problemene som presenteres. Cardoen et al. (2009) og Doulabi et al. (2014) inkluderer ekstra rengjøringstid for pasienter med smittebærende bakterier.

3.2.4 Inkludering av ikke-elektive pasienter

Største delen av litteraturen fokuserer kun på elektive pasienter (Cardoen et al., 2010). De fleste av manuskriptene som nevner ikke-elektive pasienter antar at disse opereres på dedikerte operasjonsrom hvorpå ikke-elektive pasienter ikke inngår i operasjonsplanleggingen (Essen et al., 2012). Cardoen et al. (2010) presenterer en oversikt over 117 manuskriptene hvorav kun inkluderer 21 inkluderer ikke-elektive pasienter. Hovedargumentet for å utelate ikke-elektive pasienter er at det er en høy grad

av usikkerhet knyttet til ikke-elektive pasienter. Samtidig motiverer mange av forfatterne sitt arbeid med den høye graden av usikkerhet rundt operasjonsromplanlegging, og bruker dette som argument for behovet om å utvikle dedikerte planleggingsprosedyrer og verktøy (Cardoen et al., 2010). Wullink et al. (2007) påpeker viktigheten av å inkludere akuttpasienter i operasjonsplanlegging ettersom lang ventetid for akuttpasienter øker faren for komplikasjoner og lidelser i ettertid.

Av artiklene presentert i dette litteratursøket inkluderer fire artikler ikke-elektive pasienter; Wullink et al. (2007), Essen et al. (2012), Hans, Wullink et al. (2008) og Marcon og Dexter (2006). Wullink et al. (2007) evaluerer hva som er den beste måten for å reservere operasjonsrom-tid til akuttpasienter på et sykehus med 12 operasjonssaler. De to hovedstrategiene som testes er; å reservere operasjonsrom-tid til akuttpasienter på egne dedikerte akuttpasient-operasjonssaler (1), og å reservere operasjonsrom-tid på alle de elektive operasjonssalene, slik at elektive- og akuttpasienter opereres på samme operasjonsrom (2). De to strategiene testes i henhold til tre prestasjonsmål; ventetid, overtidsarbeid for ansatte, og utnyttelse av operasjonsrom, ved bruk av *Discrete Event Simulation Model*. Resultatene viser at strategien ved å reservere kapasitet til akuttpasienter på alle de elektive operasjonsrommene, presterer bedre i henhold til alle tre prestasjonsmål.

Essen et al. (2012) minimerer ventetiden for akuttpasienter ved å jevne ut tidsintervallene mellom avslutningstidspunktene for de elektive operasjonene. I målfunksjonene minimerer det største tidsintervallet mellom to etterfølgende operasjoner på operasjonsteateret. Hans, Wullink et al. (2008) inkluderer akuttpasienter ved å reservere operasjonsromkapasitet til ikke-elektive pasienter på alle operasjonsrom. Dette gjør de ved å redusere operasjonsromkapasiteten på hvert rom. Marcon og Dexter (2006) evaluerer effekten av å inkludere ikke-elektive pasienter som en del av sin sensitivitetsanalyse. De ser da på konsekvensen av å legge til hastepasienter i listen av operasjoner skal utføres på operasjonsrommene med de tre prestasjonsmålene; antallet pasienter på PACU, PACU-stengetid, og hyppigheten av tilfeller med sengeokkupasjon. Ingen øvrige manuskript inkluderer ikke-elektive pasienter. I flere av artiklene nevnes ikke ikke-elektive pasienter.

Type pasienter	Manuskript
Inkluderer kun elektive pasienter	Fügener et al. (2014), Cardoen et al. (2009), Tånfani og Testi (2010), Agnetis et al. (2014), Jebali et al. (2006)
Inkluderer ikke-elektive pasienter	Essen et al. (2012), Wullink et al. (2007), Marcon og Dexter (2006), Hans, Wullink et al. (2008)

Tabell 4: Inkludering av ikke-elektive pasienter.

3.2.5 Håndtering av tid

Det skiller i hovedsak mellom tre måter å håndtere tid på; diskret, kontinuerlig, eller grov håndtering av tid. I det siste tilfellet modelleres ikke tiden eksplisitt. Tid inkluderes som varigheter og modelleres som et *knapsack* problem med kapasitetsrestriksjoner som sikrer at summen av tidene ikke overskrider total tid tilgjengelig. Simuleringsmodeller inngår i dette avsnittet som en egen klasse.

Samtlige av artikkelen som tar for seg *Advance Scheduling*-problemer, i tillegg til Hans, Wullink et al. (2008), har en grov håndtering av tid. De ser kun på summen av operasjonstidene som allokeres til hver operasjonsblokk eller hver rom-dag kombinasjon. Jebali et al. (2006) har både en grov og en kontinuerlig håndtering av tid. I *Advance Scheduling*-steget håndteres tiden grovt, mens tid modelleres som kontinuerlig i *Allocation Scheduling*-steget.

Fügener et al. (2014), Doulabi et al. (2014) og Cardoen et al. (2009) håndterer tid som diskret, mens Essen et al. (2012) i tillegg til Jebali et al. (2006) modellerer tid som kontinuerlig. Marcon og Dexter (2006) presenterer en simuleringsmodell.

Håndtering av tid	Manuskript
Diskret	Fügener et al. (2014), Cardoen et al. (2009), Doulabi et al. (2014)
Kontinuerlig	Jebali et al. (2006), Essen et al. (2012)
Grov	Tånfani og Testi (2010), Agnetis et al. (2014), Aringhieri et al. (2015), Jebali et al. (2006)
Simuleringsmodeller	Marcon og Dexter (2006)

Tabell 5: Håndtering av tid i manuskriptene

3.2.6 Inkludering av usikkerhet

Håndtering av usikkerhet deles i denne oppgaven opp i tre hovertyper. Usikkerhet kan håndteres deterministisk, implisitt eller stokastisk. I deterministiske modeller ignoreres usikkerheten og variansen som inngår i sykehustjenester, mens stokastiske modeller eksplisitt prøver å inkludere den Cardoen et al. (2010). I tillegg til deterministisk og stokastisk håndtering skilles det i denne oppgaven mellom artikler som ikke inkluderer noen form for usikkerhet og artikler der usikkerhet håndteres deterministisk, men som implisitt tar høyde for usikkerhet. Den siste typen håndtering refereres til som implisitt håndtering av usikkerhet. Simuleringsmodeller kategoriseres som en egen kategori.

Av artiklene presentert i dette litteratursøket er det kun Essen et al. (2012) og Hans, Wullink et al. (2008) som inkluderer usikkerhet. Begge inkluderer usikkerhet implisitt. Hans, Wullink et al. (2008) inkluderer implisitt usikkerheten knyttet til varigheten av operasjoner ved å legge til et planlagt slakk på hvert rom. Slakket beregnes som en funksjon av summen av standardavviket for alle operasjonene som allokeres til rommet. For å estimere operasjonstidene for de ulike operasjonene bruker de forventningsverdier. Essen et al., 2012 inkluderer usikkerheten knyttet til ankomsten av ikke-elektive pasienter ved å generere operasjonstimeplaner som minimerer ventetiden for en potensielt ankommende akutt pasient.

De resterende artiklene inkluderer ikke usikkerhet. Cardoen et al. (2009) antar at alle planlagte operasjonstider samt PACU-opphold på PACU 1 og 2 er kjent. Sannsynlighetene for at pasienter er mindre eller lik 5 år, prioritetspasienter, bærere av MRSA-smitte, eller må reise lagt for å komme til sykehuset er foreslått av avdelings-sykepleieren basert på erfaring. Jebali et al. (2006), Tãnfani og Testi (2010), Agnetis et al. (2014), Aringhieri et al. (2015) eller Doulabi et al. (2014) antar enten at operasjonstidene er kjente eller estimerer dem ved hjelp av forventningsverdier. Jebali et al. (2006) diskuterer nytten av å knytte pasientenes operasjonstider til kirurgen som behandler dem, men anseer ikke operasjonstidene som kirurgspesifikke på grunn av mangelen på tilstrekkelig informasjon.

I Marcon og Dexter (2006) plukkes romtid, PACU-oppvåkningstid og tiden det tar å rengjøre og klargjøre operasjonsrommet for neste operasjon tilfeldig fra respektive log-normalfordelinger. Marcon og Dexter (2006) inkluderer usikkerhet i romtidene ved å trekke to tilfeldige romtider. Den første romtiden brukes for å introdusere operasjonen. Denne brukes i skjemaleggingen av operasjonen i planleggingsfasen. Den

andre romtiden representerer den «faktiske» rom, som brukes i simuleringen. På denne måten inkluderes usikkerheten i forskjellen mellom estimert og «faktisk» romtid.

Fügener et al. (2014) inkluderer sansynligget knyttet til for hvorvidt en pasient opereres innen en gitt operasjonsrom-blokk, om pasienten sendes til ICU eller til en sykehusavdeling rett etter operasjonen, antall dager pasienten ligger på ICU eller på sykehusavdelingene, og antall dager den ligger på en sykehusavdeling etter å ha blitt utskrevet fra ICU når de skal bestemme flyten av pasienter fra operasjonsrommene til ICU og sykehusavdelingene.

	Artikler
Deterministisk	Tånfani og Testi (2010), Agnetis et al. (2014), Aringhieri et al. (2015), Jebali et al. (2006), Cardoen et al. (2009), Doulabi et al. (2014)
Deterministisk. Inkluderer implisitt usikkerhet	Hans, Wullink et al. (2008), Essen et al. (2012)
Stokastisk. Inkluderer usikkerhet eksplisitt	
Simuleringsmodell	Marcon og Dexter (2006)

Tabell 6: Inkludering av usikkerhet.

3.2.7 Løsningsmetode

Essen et al. (2012) diskuterer en eksakt og flere heuristiske løsningsmetoder for sitt scheduleringsproblem. De presenterer en eksakt lineært heltallsproblem (engelsk: Integer Linear Program) som kan brukes for å løse små instanser, samt for benchmarking av de heuristiske metodene. For å løse større instanser utvikler og tester de flere ulike konstruksjonsheuristikker og forbedringsheuristikene; *Simulated Annealing* og *Tabu Search*. De diskuterer også en heuristikk som kombinerer konstruksjon og forbedring kalt *Shifting Bottleneck Heuristic*. Essen et al. (2012) anbefaler sykehus å bruke konstruksjonsheuristikken *Fixed Goal Values* ettersom den gir best resultater ved bruk av simulering og er enkel å implementere.

Fügener et al. (2014) bruker en stokastisk analytisk tilnærming for å bestemme etterspørselen av tjenester på ICU og sengepostene for en gitt *Master Surgery Schedule*. Ut ifra dette bestemmes kostnaden av de ulike ressursene, før problemet ved å minimere disse kostnadene formuleres som et *general assignment problem*. Problemet løses med bruk av både eksakte og heuristiske algoritmer.

Hans, Wullink et al. (2008) foreslår flere konstruksjonsheuristikker og flere lokalsøkheuristikker kombinert med statistisk informasjon for å utnytte operasjonsromtiden på best mulig måte. Resultatene viser at metodene frigjør mye tid på operasjonsrommene, og viser at kombinasjonen av optimeringsteknikker og historisk statistisk data kan bidra til bedre utnyttelse av operasjonsrommene.

Både Marcon og Dexter (2006) og Wullink et al. (2007) bruker en *discrete event simulation* for å evaluere og teste ulike strategier for sekvenseringen av elektive pasienter og inkluderingen av ikke-elektive pasienter henholdsvis.

Jebali et al. (2006) presenterer en MIP-modell for å løse *Advance Scheduling*-problemet, og en MIP-modell for å løse *Allocation Scheduling*-problemet. For de to strategiene for *Allocation Scheduling*-problemet edres modellen kun ved å variere om allokeringen av operasjoner til operasjonsrommene inngår som en parameter hentet fra resultatet av *Advance Scheduling*-steget, eller om det inkluderer som en variabel i *Allocation Scheduling*-modellen.

Doulabi et al. (2014) presenterer en kolonnegenereringsmodell for å løse den integrerte Surgery Scheduling Problem. Sub-problemene ser på Allocation Scheduling-problemet for et operasjonsrom og en operasjonsdag, og generere en mulig operasjonstidplan for et hvilket som helst rom (ettersom rommene er homogene) for en gitt dag. De ulike planene inkluderes i (det reduserte) mastrproblemet. Der tas beslutningene om hvilke planer som skal gjennomføres på de ulike dagene i planleggingsperioden, og dermed konstrueres operasjonstidplanen for hele planleggingsperioden.

Hovedforskjellen mellom manuskriptene av Tànfani og Testi (2010) og Agnetis et al. (2014) er løsningsmetodene som presenteres for å løse det samlede *Master Surgical Scheduling Problem* og *Surgical Case Assignment*-problemet (det siste tilsvarer *Advance Scheduling*-problemet). Tànfani og Testi (2010) presenterer en lineær programmeringsmodell som løser *the Master Surgical Schedule* og *the Surgical Case Assignment Problem (Advance Scheduling)* samtidig. Løsningsmetoden er basert på en sekvensiell heuristikk som først velger et sub-sett av pasienter som skal opereres og deretter identifiserer tidsblokkene pasientene kan opereres i basert på pasientenes forventede operasjonstid. Etter dette løses den reduserte lineære programmeringsmodellen ved å fjerne de pasienter og tidsblokker som ikke kan velges. Agnetis et al. (2014) løser problemet sekvensielt med en dekomponerings tilnærming. Først løses

the Master Surgical Scheduling Problem ved hjelp av en algoritme. Deretter løses *the Surgical Case Assignment Problem (Advance Scheduling)* som en mengde uavhengige multiple-knapsack problem, et for hver spesialisme, basert på den resulterende master-operasjonsplanen fra *the Master Surgical Schedule Problem*. Løsningene fra dekomponeringstilnærmingene sammenliknes med løsningene fra en eksakt integrert tilnærming. Sammenligningen viser at dekomponeringsmetoden gir tilfredsstillende resultater med betydelige besparelser i kalkuleringstiden. I tabell 7 presenteres en oversikt over løsningsmetodene som anvendes i litteraturen.

Løsningsmetode	Manuskript
Eksakt	Jebali et al. (2006)
Heuristisk	Hans, Wullink et al. (2008), Tånfani og Testi (2010)
Både eksakte og heuristiske metoder	Essen et al. (2012), Fügener et al. (2014)
Kolonnegenerering	Doulabi et al. (2014), Agnetis et al. (2014)
Simulering	Marcon og Dexter (2006), Wullink et al. (2007)

Tabell 7: Løsningsmetoder i ariklene.

4 Problembeskrivelse

I dette kapitlet presenteres det Daglige Operasjonstimeplanproblemet (DOP). Problemet er tredelt. Det består av å skjemalegge en forutbestemt mengde pasienter på operasjonsrom, tilegne pasientene en kirurg, samt å bestemme starttiden for pasientenes operasjoner. Beslutningene må ta høyde for ankomsten av ikke-elektive akutt-pasienter, samtidig som tids- og kapasitetsbegrensninger overholdes.

Problemets tidshorisont er en dag. Operasjonsplanene genereres på slutten av foregående dag. Problemet klassifiseres altså som et offline operasjonelt planleggingsproblem. Operasjonsrommene har en gitt åpningstid. Åpningstiden kan imidlertid utvides ved å anvende overtidsressurser. Overtid regnes som all tid som overskrider regulær åpningstid, og er begrenset av en øvre grense.

Alle operasjoner må utføres på et operasjonsrom. For å kunne tilegne en operasjon til et rom, må rommet være utstyrt for å behandle den gitte operasjonstypen. Operasjonsrom kan være utstyrt til å håndtere operasjoner innen en eller flere spesialismer. Videre må operasjoner tilegnes et egnet operasjonsteam. Operasjonsteamet består av en mengde sykehuspersonell som inngår i utførelsen av en operasjon. Det inkluderer en eller flere kirurger, anestesileger, operasjonssykepleiere og anestesisykepleiere. De ulike typene personell utfører ulike oppgaver under operasjonene. Ulikt personell kan dermed være tilstede ved ulike deler av operasjonene. For eksempel ankommer anestesilegen etter at pasienten er klargjort for operasjonen og forlater operasjonsrommet når pasienten er tilstrekkelig bedøvet. Kirurgen på en annen side ankommer etter anestesitiden og forlater operasjonsrommet når inngrepet er utført. Sykehuspersonell har altså ulik grad av fleksibilitet, avhengig av lenge de er tilstede under hver operasjon. De kan behandle pasienter på ulike operasjonsrom i løpet av en dag, men må behandle en pasient av gangen. Enkelte typer personell kan behandle alle pasienter, andre kan kun behandle pasienter innen enkelte spesialismer, mens noen kun kan behandle pasienter innen en spesialisme. Personell eller ressurser som kun kan behandle pasienter innen en gitt spesialisme kalles herved spesialismespesifikke.

Pasienter deles i to hovedgrupper; elektive pasienter og ikke-elektive. Ikke-elektive pasienter deles i akuttpasienter og hastepasienter. Basert på diagnose allokeres pasientene til ulike spesialismer. De elektive pasientene er kjent på forhånd. Hver av disse skal enten skjemalegges innen planleggingsdagen eller utsettes. Ikke-elektive pasienter er ikke kjent på forhånd. Akuttpasienter skal behandles så fort som mulig og

tilegnes det første ledige rommet og operasjonsteamet som er egnet til å utføre den gitte operasjonstypen. Dersom ingen egnede rom eller team er ledige må pasienten vente på første ledige egnede rom og team. Når et rom og team er ledig kan akutt-pasienten opereres. Dette vil muligens medføre at den originale operasjonstimeplanen for de elektive pasientene forskyves. Hastepasienter er mindre kritiske og kan enten opereres i løpet av ankomstdagen, eller forskyves til en etterfølgende dag.

Ettersom akuttpasienter skal ha kort ventetid bør operasjonstimeplanen genereres på en slik måte at det alltid er kort tid til neste egnede operasjonsrom og operasjonsteam er ledig. Det skilles mellom *tilstrekkelig* og *akseptabel* ventetid for akuttpasienter. Den øvre grensen for tilstrekkelig ventetid angir ventetiden som ansees som kort nok. Det skilles derfor ikke mellom ventetid under øvre grense for tilstrekkelig ventetid. Den øvre grensen for akseptabel ventetid angir grensen for hvor lang ventetid det er tillatt at akuttpasientene har. Det kreves med andre ord at alle akuttpasienter har ventetid som er kortere enn øvre grense for akseptabel ventetid.

Antall akuttpasienter som kan forventes å ankomme i løpet av en planleggingsdag kan variere for de ulike spesialismene. Dette skyldes at andelen av operasjonstyper innen en spesialisme som kan forventes å ankomme akutt kan være ulik for de forskjellige spesialismene. Mens enkelte spesialismer inkluderer mange kritiske operasjonstyper, kan andre spesialismer ikke inkludere noen kritiske operasjonstyper. Spesialismene kan derfor ha ulike øvre grenser for akseptabel og tilstrekkelig ventetid for akuttpasienter. Enkelte spesialismer fokuserer kun på elektive pasienter. For disse spesialismene kan kravet om kort ventetid for akuttpasienter relaxeres.

Sykehuset har et gitt antall oppvåkningssenger til rådighet på oppvåkningsavdelingen (PACU). En seng kan kun okkuperes av en pasient av gangen. Oppvåkningstiden for pasienter avhenger av pasientens operasjonstype og pasientens helsetilstand.

Tidsintervallene som inngår i en pasients operasjon består av tiden det tar å utføre aktiviteter i forkant av inngrepet, tiden det tar å selve inngrepet og tiden det tar å utføre aktiviteter i etterkant av inngrepet. Alle disse intervallene avhenger av operasjonen pasienten behandles for, pasientens helsetilstand og arbeidshastigheten for sykehuspersonalet som utfører operasjonen.

Beslutningene som tas inkluderer å skjemalegge en forutbestemt mengde pasienter til de elektive operasjonsrommene. Det inkluderer å tilegne kirurger til pasientene, samt

4 Problembeskrivelse

å bestemme starttiden for pasientenes operasjoner. Beslutningene må ta høyde for den usikre ankomsten av ikke-elektive pasienter og usikkerheten knyttet til lengden av de ulike tidsintervallene i operasjonsprosedyrene. Beslutningene må i tillegg ta høyde for tidsbegrensninger på operasjonsrommene.

Objektivet er å utvikle operasjonstidplaner som minimerer kostnader knyttet til personell, overtid, bruk av operasjonsrom og øvrige ressurser knyttet til utførelsen av operasjoner. Målet er i tillegg å minimere antall utsatte pasienter samt å jevne ut avslutningstidspunktet for de elektive pasientenes operasjoner. Begrunnelsen for å utjevne avslutningstidspunktet for de elektive pasientenes operasjoner er todelt. For det første vil utjevning av avslutningstidspunktene redusere ventetiden for potensielt ankomende akutt pasienter. I tillegg vil det jevne ut forbruket av felles ressurser som for eksempel oppvåkingsenger på PACU og ICU.

5 Modeller

I DOP genereres operasjonstimeplaner for elektive pasienter på sykehus. Beslutningene som tas er på operasjonelt nivå og inkluderer avgjørelser om hvilke pasienter som skal opereres, hvilke som skal utsettes, tilegning av rom og kirurger til pasienter, og bestemmelse av starttid for pasienters operasjoner. Antall fellesressurser som trengs for å gjennomføre timeplanene fastsettes, og potensielt ankommende akuttpasienter inkluderes ved å legge til rette for å kunne starte nye operasjoner raskt. Hensikten er å generere timeplaner som reduserer kostnadene knyttet til operasjonstimeplanen, øker sykehusets beredskap for håndtering av akuttpasienter og minimerer antallet utsatte pasienter.

Problemet presentert i denne oppgaven er formulert som et blandet heltallsproblem. For å løse problemet foreslås en grunnleggende MIP-modell (Basismodellen) samt fire AKM-modeller. I tillegg presenteres fem modeller for generering av mulige deløsninger til AKM-modellene.

En rekke faktorer kompliserer modelleringen av problemet. Det gjelder spesielt den tilfeldige naturen relatert til varigheten av operasjoner, komplikasjoner, og ankomsten av akuttpasienter. Derfor er det gjort en rekke antagelser og forenklinger i modelleringen. I dette kapitlet presenteres først modellens underliggende antakelser og forenklinger. Deretter presenteres felles notasjon for alle modellene, før modellene beskrives steg for steg. En oversikt over all modellnotasjon er presentert i vedlegg A. Den komplette modellformulering av Basismodellen, de fire AKM-modellene og genereringsmodellene finnes i vedlegg B til D.

5.1 Antakelser og forenklinger i modellen

Pasienter, kirurger og rom deles inn i ulike spesialismer. Det antas at pasienter, kirurger og rom kun tilhører en spesialisisme. Pasienter kan altså kun allokere på rom og behandles av kirurger innen sin spesialisisme. Det samme gjelder for rom og kirurger. Rommene innen en spesialisisme antas å være homogene, mens kirurgene er modellert som heterogene. Det er altså ingen restriksjoner til hvilket rom en pasient allokere til så lenge rommet er innen pasientens egne spesialisisme.

Som angitt i avsnitt 2.3, deles hendelsesforløpet for operasjonsprosedyrer opp i mindre tidsintervall. En rekke antakelser er tatt relatert til de ulike tidsintervallene. Tid

er modellert diskret. Det vil si at tiden deles opp i en mengde tidsperioder. Dette er illustrert i eksempelet i avsnitt 2.3, der operasjonsdagen er delt opp i 24 tidsperioder. Klargjøringstiden og rengjøringstiden antas å være konstante. Anestestiden, inngrepstiden, oppvåkningstiden og PACU-oppholdet ansees som pasientavhengig, men regnes som konstant for hver enkelt pasient. Åpningstiden for rommene er standardisert for alle rom.

Ettersom klargjøringstiden antas konstant skilles det ikke mellom tiden som kreves mellom to etterfølgende operasjoner. I realiteten vil dette være avhengig av operasjonene. For eksempel vil tiden det tar å klargjøre et rom gjerne være kortere dersom foregående operasjon var av samme type.

Behovet for ulike ressurser knyttes til de ulike tidsintervallene som den totale operasjonsprosedyren deles opp i. Figur 8 illustrerer det antatte ressursforbruket i de ulike tidsintervallene. Antall anestesileger og kirurger som er tilstede under en operasjon antas konstant, mens antall operasjonssykepleiere avhenger av pasienten som skal opereres.

	Klargjøringstid	Anestestid	Inngrepstid	Oppvåkningstid	Rengjøringstid	PACU-opphold
PACU oppvåkningsseng						
Rom						
Anestesilege						
Kirurg						
Operasjonssykepleier						

Figur 8: Ressursforbruk i de ulike tidsintervallene i operasjonsprosedyren. Blå farge indikerer at ressurs eller personell anvendes i tidsintervallet.

5.2 Notasjon

For å gjøre modellen mer forståelig og lettlest er det valgt å følge en standardisert notasjon for alle modellene. Variable presenteres med små bokstaver, mens konstanter og parametere konsekvent angis av store bokstaver. Indekser gis ved subskript, mens karakteristiske bokstaver er gitt ved superskript. I følgende avsnitt vil alle mengder, indekser, parametere og variable som inngår i modellen deklarerer.

5.2.1 Mengder og indekser

Mengdene \mathcal{I} , \mathcal{R} og \mathcal{S} tilsvarer respektivt mengdene av alle pasienter, rom og kirurger, der hver enkelt pasient, rom og kirurg er gitt av indeksene i , r og s . Mengden

av alle spesialismer er gitt ved G , og hver enkelt spesialisme beskrives med indeks g . \mathcal{N} angir mengden av alle typer operasjonssykepleiere, der de ulike typene operasjonssykepleiere beskrives med indeks n . Indeksen for tid er t , og \mathcal{T} utgjør mengden av alle tidsenheter. Mengdene \mathcal{I}_g^G , \mathcal{R}_g^G og \mathcal{S}_g^G er henholdsvis mengdene av pasienter, rom, og kirurger innen spesialisme g , mens mengden \mathcal{I}_n^N angir alle pasienter som bruker operasjonssykepleiere av type n . En oversikt over alle indekser og ordinære mengder som inngår i modellen er gitt i tabell 8 og 9.

Indeks	Beskrivelse
g	Spesialisme
i	Pasient
r	Rom
s	Kirurg
t	Tidsenhet
n	Type operasjonssykepleier

Tabell 8: Indekser.

Mengde	Beskrivelse
\mathcal{G}	Alle spesialismer
\mathcal{I}	Alle pasienter
\mathcal{R}	Alle rom
\mathcal{S}	Alle kirurger
\mathcal{T}	Alle tidsperioder
\mathcal{N}	Alle typer operasjonssykepleiere
\mathcal{I}_g^G	Alle pasienter innen spesialisme g
\mathcal{I}_n^N	Alle pasienter som bruker operasjonssykepleiere av type n .
\mathcal{R}_g^G	Alle rom innen spesialisme g
\mathcal{S}_g^G	Alle kirurger innen spesialisme g

Tabell 9: Ordinære mengder.

I tillegg til mengdene presentert ovenfor inngår fire pasientspesifikke, variable mengder i modellen. En oversikt over de pasient og tidsspesifikke mengdene er presentert i tabell 10. Mengdene $\mathcal{T}_i^A(t)$, $\mathcal{T}_i^B(t)$ og $\mathcal{T}_i^N(t)$ og $\mathcal{T}_i^R(t)$ angir mengdene av tidsperioder der en pasient i bruker de ulike ressursene; anestesilege, oppvåkningsseng i PACU, operasjonssykepleier og rom, gitt at pasienten starter operasjon i tidsperiode t . Mengdene er altså funksjoner av starttiden for pasient i sin operasjon. Figur 9 viser sammenhengen mellom de pasient og tidsspesifikke mengdene i forhold til tidsintervallene presentert i figur 5. Den matematiske formuleringen for mengden $\mathcal{T}_i^R(t)$, som en funksjon av pasient i sin operasjonsstarttid, er presentert i avsnitt 5.3.1. De matematiske formuleringene for mengdene $\mathcal{T}_i^A(t)$, $\mathcal{T}_i^B(t)$ og $\mathcal{T}_i^N(t)$ er presentert i avsnitt 5.3.3.

Mengde	Beskrivelse
$\mathcal{T}_i^R(t)$	Pasient og tidsspesifikk mengde av tidsperioder der pasient i okkuperer et rom dersom pasient i har operasjonsstarttid i tidsperiode t .
$\mathcal{T}_i^A(t)$	Pasient og tidsspesifikk mengde av tidsperioder der pasient i bruker en anestesilege dersom pasient i har operasjonsstarttid i tidsperiode t .
$\mathcal{T}_i^B(t)$	Pasient og tidsspesifikk mengde av tidsperioder der pasient i bruker en oppvåkningsseng på PACU dersom pasient i har operasjonsstarttid i tidsperiode t .
$\mathcal{T}_i^N(t)$	Pasient og tidsspesifikk mengde av tidsperioder der pasient i bruker operasjonssykepleiere dersom pasient i har operasjonsstarttid i tidsperiode t .

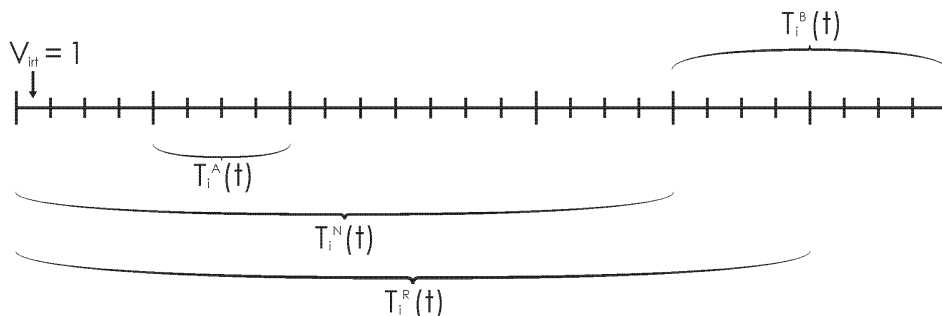
Tabell 10: Pasient og tidsspesifikke mengder.

De spesialismespesifikke subsettene \mathcal{I}_g^G , \mathcal{R}_g^G , og \mathcal{S}_g^G for eksempelet presentert i figur 6 og 7 i avsnitt 2.3 er gitt i tabell 11. Noter at figur 6 og 7 ikke gir informasjon om hvilke kirurger som utfører operasjonene, mengden kirurger innen hver spesialisme, eller pasientene som utsettes.

Mengder	Spesialisme 1	Spesialisme 2
\mathcal{I}_g^G	{1,2,3,4,5,6,7}	{8,9,10}
\mathcal{R}_g^G	{1,2,3}	{4,5}
\mathcal{S}_g^G	{1,2,3}	{4}

Tabell 11: De spesialismespesifikke delmengdene i eksempelet gitt i avsnitt 2.3.

Varigheten av de ulike tidsintervallene i eksempelet, illustrert i figur 7, er presentert i tabell 15. I tillegg er PACU-oppholdet for samtlige pasienter angitt i tabellen. Etter-



Figur 9: Pasient og tidsspesifikke mengder. Noter at de pasient og tidsspesifikke mengdene i dette tilfellet står i sammenheng med tidsintervallene illustrert i figur 5. En vesentlig forskjell mellom de to er at de pasient og tidsspesifikke mengdene er mengder som funksjoner av starttiden for pasient i sin operasjon, mens tidsintervallene i figur 5 er konstante tidsintervall som er uavhengig tiden t .

som klargjøringstiden og rengjøringstiden er konstante er ikke disse parameterene inkludert i tabellen. Basert på figur 7 er varigheten av begge disse lik en tidsperiode. Basert på varighetene i tabell 15 samt starttiden for pasientenes operasjoner, som er angitt av figur 7, kan alle de pasient og tidsspesifikke mengdene i eksempelet bestemmes. De pasient og tidsspesifikke mengdene er gitt i tabell 13.

Pasient	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PACU-opphold	5	4	3	3	7	6	4	4	8	0

Tabell 12: PACU-opphold for pasientene i eksempelet gitt i avsnitt 2.3.

Pasient	$\mathcal{T}_i^B(t)$	$\mathcal{T}_i^N(t)$	$\mathcal{T}_i^R(t)$	$\mathcal{T}_i^A(t)$
1	{3}	{2,3,4,5,6,7,8,9}	{2,3,...,9,10}	{10,11,12,13,14}
2	{2}	{1,2,3,4,5,6}	{1,2,...,6,7}	{7,8,9,10}
3	{8}	{7,8,...,19,20}	{7,8,...,20,21}	{21,22,23}
4	{13}	{12,13,...,20,21}	{12,13,...,21,22}	{22,23,24}
5	{2}	{1,2,3,4,5}	{1,2,3,4,5,6}	{6,7,...,11,12}
6	-	-	-	-
7	{9}	{8,9,...,19,20}	{8,9,...,20,21}	{21,22,23,24}
8	{13}	{12,13,14,15,16,17}	{12,13,...,17,18}	{18,19,20,21}
9	{3}	{2,3,...,9,10}	{2,3,...,10,11}	{11,12,...,17,18}
10	-	{20,21}	{20,21,22}	-

Tabell 13: Pasient og tidsspesifikke mengder for eksempelet gitt i avsnitt 2.3.

5.2.2 Tidsparametere

For å modellere operasjonsprosedyrenes hendelsesforløp inngår en rekke tidsparametere i modellen. En oversikt over tidsparameterene er presentert i tabell 14.

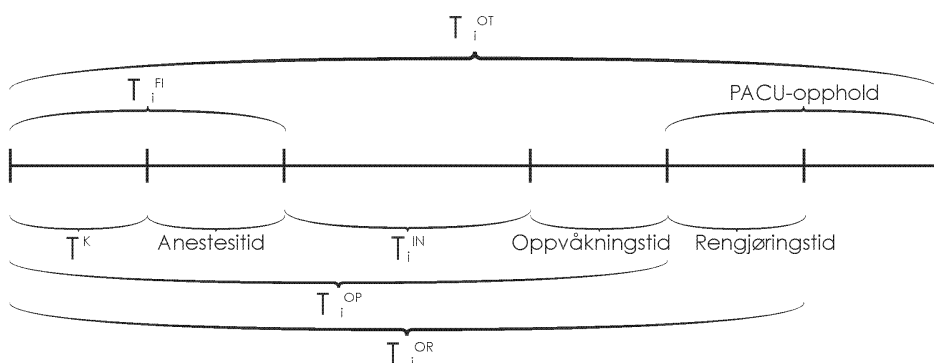
Parameter	Tidsintervall
T^K	Klargjøringstid
T_i^{IN}	Inngrepstid for pasient i
T_i^{FI}	Forbredelsestid for pasient i
T_i^{OP}	Operasjonstid for pasient i
T_i^{OR}	Romtid for pasient i
T_i^{OT}	Operasgangtid for pasient i
T^{RT}	Regulær åpningstid på rommene

Tabell 14: Tidsparametere.

De to første parameterne i tabell 14 er primære tidsintervaller. Parameteren T^K tilsvare klargjøringstiden, som er tiden det tar å klargjøre et rom for pasientens operasjon, mens parameteren T_i^{IN} tilsvare inngrepstiden for pasient i . Klargjøringstiden er konstant. De fire neste tidsparameterene i tabell 14 representerer akkumulerte

tidsintervall. Parameteren T_i^{FI} betegner forberedelsestiden for inngrepet på pasient i , parameteren T_i^{OP} tilsvarer operasjonstiden for pasient i , og parameterene T_i^{OR} og T_i^{OT} tilsvarer henholdsvis pasient i sin romtid og operasjonsgangtid. Alle de akkumulerte tidsintervallene inkluderer en eller flere pasientspesifikke tidsintervall og er følgelig pasientspesifikke. I figur 10 er tidsparameterene illustrert, relatert til tidsintervallene presentert i figur 5 i avsnitt 2.3.

Den siste tidsparameteren i tabell 14 tilsvarer åpningstiden for rommene. Denne er konstant og bestemmes av sykehuset.



Figur 10: Tidsparameterene som inngår i modellene relatert til de ulike tidsintervallene i hendelsesforløpet for operasjoner, som er illustrert i figur 5.

I tabell 15 presenteres verdiene av de pasientspesifikke tidsparameterene fra eksempelet i avsnitt 2.3. Klargjøringstiden og åpningstiden for rommene er ikke presentert ettersom de er konstante. For pasient 10 ser en at operasjonsromtiden er større enn operasjonsgangtiden. Årsaken er at rengjøringstiden inkludert i romtiden men ikke i operasjonsgangtiden. Ettersom pasient 10 har PACU-opphold lik null, vil pasienten trilles ut av operasjonsgangen så fort operasjonen er avsluttet, mens rommet må vaskes etter operasjonen. Det vil si at pasient 10 okkuperer rommet lenger enn pasienten selv oppholder seg på operasjonsgangen. Følgelig er pasientens romtiden større enn pasientens operasjonsgangtid.

5.2.3 Øvrige parametere

I tillegg til tidsparameterene beskrevet i forrige avsnitt, inngår en rekke øvrige parametere i modellene. Tabell 16 gir en oversikt over alle øvrige parametere i modellene.

Pasient	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\mathbf{T}^K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
\mathbf{T}_i^{FI}	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
\mathbf{T}_i^{IN}	5	3	11	7	2	6	10	3	6	1
\mathbf{T}_i^{OP}	8	6	14	10	5	6	12	6	9	2
\mathbf{T}_i^{OR}	9	7	15	11	6	8	13	7	10	3
\mathbf{T}_i^{OT}	13	10	17	13	12	12	16	10	17	2

Tabell 15: Tidsparametere i eksempelet gitt i avsnitt 2.3.

Parameteren A_i^N angir hvor mange operasjonssykepleierene som må være tilstede under operasjonen på pasient i , mens parameterene \bar{B}_g^A og \bar{B}_g^S er grenser relatert til beredskap. Parameteren \bar{B}_g^A angir øvre grense for akseptabel ventetid for akuttpasienter innen spesialisme g . Det vil si, øvre grense for antall etterfølgende tidsperioder der spesialisme g ikke er beredt til å starte en ny operasjon. Parameteren \bar{B}_g^S angir tilstrekkelig ventetid for spesialisme g . Den angir altså hvor mange etterfølgende tidsperioder det er greit å ikke kunne starte en ny operasjon innen spesialisme g , ettersom det anses at ingen akuttoperasjoner innen spesialismen vil trenge kortere ventetid enn \bar{B}_g^S . Parameterene \bar{B}_g^A og \bar{B}_g^S er spesialismeavhengige ettersom spesialismene kan ha ulike krav til beredskap for akuttpasienter.

I tillegg inngår åtte kostnadsparametere i modellen. Disse knytter kostnader til ressursbruk, overtid, utsettelse av pasienter, samt kostnaden knyttet til ventetid for akuttpasienter. Kostandene knyttet til en anestesilege, en PACU oppvåkningsseng, og en operasjonssykepleier av type n er gitt av parameterene C^A , C^B , og C_n^N . Parameteren C^R angir kostnaden av å åpne et rom, mens parameteren C_s^S angir kostnaden av å ha kirurg s på jobb i løpet av planleggingsdagen. Parameteren C^{OT} angir kostnaden av å anvende et rom per tidsenhet på overtid, mens kostnaden av å utsette pasient i er gitt ved C_i^{PP} . Parameteren C_g^{BII} er kostnaden knyttet til ventetid for akuttpasienter. Parameteren angir kostnaden per tidsenhet der en spesialisme g ikke kan starte en ny operasjon. Noter at kostnadene ikke nødvendigvis er kostnader i en valuta.

Parameter	Beskrivelse
A_i^N	Antall operasjonssykepleiere som trengs under operasjonen til pasient i .
\overline{B}_g^A	Øvre grense for akseptert antall etterfølgende tidsperioder der en ikke kan starte en ny operasjon innen spesialisme g .
\overline{B}_g^S	Grense for antall etterfølgende tidsperioder der en ikke kan starte en ny operasjon som gir tilstrekkelig god beredskap innen spesialisme g .
C^A	Kostnaden av en anestesilege per dag.
C^B	Kostnaden av en PACU-oppvåkningsseng per dag.
C_n^N	Kostnaden av en operasjonssykepleier av type n per dag.
C^R	Kostnaden av å åpne et rom i løpet av planleggingsdagen.
C_s^S	Kostnaden av å ha kirurg s på jobb i løpet av planleggingsdagen.
C^{OT}	Kostnaden av å anvende et rom per overtidsenhet.
C_i^{PP}	Kostnaden av å utsette pasient i .
C_g^{BII}	Kostnaden per tidsenhet en ikke kan starte en ny operasjon innen spesialime g .

Tabell 16: Øvrige parametere.

5.2.4 Variable

Tabell 17 presenterer en oversikt over variabelene som inngår i modellene. De fire første variablene i tabellen er tilknyttet oppstarten av operasjoner, og okkupasjon av rom og kirurger. Variabel v_{irt} angir starttiden for for operasjonen av pasient i . Den er lik 1 dersom operasjonen av pasient i starter på rom r i tidsperiode t , og 0 ellers. Variabelen refereres til som *startvariabelen* for pasient i . Variablene u_{irt} og w_{ist} er okkupasjonsvariable, og registrerer når en pasient okkuperer et rom og en kirurg. Variabel u_{irt} er lik 1 dersom pasient i okkuperer rom r i tidsperiode t , og 0 ellers. Variabel w_{ist} tar verdien 1 dersom pasient i okkuperer kirurg s i tidsperiode t , og 0 ellers. Variablene u_{irt} og w_{ist} refereres til som *romokkupasjonsvariabelen* og *kirurgokkupasjonsvariabelen*. Variabelen e_i angir om pasient i utsettes eller skjemalegges. Variabelen tar verdien 1 dersom en pasient i utsettes, og er 0 ellers. Variabel e_i kalles herved *utsettelsesvariabelen*. Verdien av starttidsvariablene og romokkupasjonsvariablene i eksempelet i avsnitt 2.3 er presentert i figur 15.

Variablene z_{gt} , f_{gt} og \hat{f}_{gt} er variabler tilknyttet beredskap for håndtering av akutt-pasienter. Variabelen z_{gt} registrerer hvorvidt spesialisme g er beredt til å starte en ny operasjon i tidsperiode t . For å kunne starte en ny operasjon innen en spesialisme g kreves det at et rom og en kirurg innen spesialisme g er ledig. Variabel z_{gt} tar verdi 1 dersom spesialisme g ikke kan starte en operasjon i tidsperiode t , og er 0 ellers. Variabelen refereres til som *beredskapsvariabelen*, til tross for at variabelen tar verdien 1 dersom spesialisme g ikke er beredt til å starte en ny operasjon i tidsperiode t .

Variabel	Navn og beskrivelse
v_{irt}	Operasjonsstartvariabel. Er lik 1 dersom pasient i starter operasjon på rom r i tidsperiode t , 0 ellers.
u_{irt}	Romokkupasjonsvariabel. Er lik 1 dersom pasient i okkuperer rom r i tidsperiode t , 0 ellers.
w_{ist}	Kirurgokkupasjonsvariabel. Er lik 1 dersom pasient i okkuperer kirurg s i tidsperiode t , 0 ellers.
e_i	Utsettelsesvariabel. Er lik 1 dersom pasient i utsettes, 0 hvis ikke.
z_{gt}	Beredskapsvariabel. Er lik 1 dersom spesialisme g ikke kan starte en ny operasjon i tidsperiode t , 0 ellers.
f_{gt}	BII-variabel. Teller antall etterfølgende tidsperioder der z_{gt} er lik 1, frem til tidsperiode t .
\hat{f}_{gt}	Registrerer toppunktverdier av BII. Er lik verdien av f_{gt} dersom $f_{g(t+1)}$ er lik 0, 0 ellers.
t_r^{OT}	Overtidsvariabel. Oppgir antall overtidstimer som er nødvendig på rom r for å gjennomføre operasjonstimeplanen.
y_r^R	Variabel for åpent rom. Er lik 1 dersom rom r åpnes i løpet av planleggingsdagen, 0 ellers.
y_s^S	Variabel for kirurg på jobb. Er lik 1 dersom kirurg s er på jobb i løpet av planleggingsdagen, 0 ellers.
x^A	Antall anestesileger som er nødvendig for å gjennomføre operasjonstimeplanen.
x^B	Antall oppvåkningssenger på PACU som er nødvendig for å gjennomføre operasjonstimeplanen.
x_n^N	Antall sykepleiere av type n som er nødvendig for å gjennomføre operasjonstimeplanen.

Tabell 17: Oversikt over alle variable med navn og kort beskrivelse.

Variabel f_{gt} er gitt navnet *BII-variabelen*. Forkortelsen BII refererer til det engelske begrepet «Break In Interval», som betegner tidsperiodene der det er mulig å starte en ny operasjon. I Essen et al. (2012) defineres BII som tidsintervallet mellom avslutningstidspunktet for to etterfølgende operasjoner. I Essen et al. (2012) genereres tettpakkede operasjonstimeplaner, og antar at elektive operasjoner ikke kan avbrytes etter at de er startet. Dermed angir tidsintervallet mellom avslutningstidspunktet for to etterfølgende operasjoner den største mulige ventetiden for akutt pasienter som ankommer mellom de to operasjonene. I denne oppgaven derimot, trenger ikke operasjonstimeplanene være tettpakkede. Videre antas det at elektive operasjoner kan avbrytes inntil inngrepet starter. I tillegg knytter Essen et al. (2012) BII til tilgjengeligheten av alle rom. Det vil si at en akutt pasient kan opereres så fort et hvilket som helst rom er ledig. I denne oppgaven er BII spesialismespesifikk og knyttes til tilgjengeligheten av kirurgene i tillegg til tilgjengeligheten av rommene. I denne oppgaven tilsvarer BII dermed tidsintervallet mellom en avsluttet operasjon og starttiden for inngrepet i neste operasjon innen samme spesialisme.

For å registrere lengden av BII telles antall etterfølgende tidsperioder der det ikke


er mulig å starte en ny operasjon innen en spesialisme. Variabelen f_{gt} angir antall etterfølgende tidsperioder der det ikke er mulig å starte en ny operasjon innen spesialisme g , frem til og med tidsperiode t . Variabelen f_{gt} teller altså antall etterfølgende tidsperioder, frem til og med tidsperiode t , der variabelen z_{gt} er lik 1. Variabelen \hat{f}_{gt} registrerer toppunktverdiene av BII-variablene. Hensikten er å knytte kostnader til den totale lengden av hver BII, istedenfor å straffe BII-verdien i hver tidsperiode. Variabel \hat{f}_{gt} tar verdien av BII-variabelen f_{gt} , dersom BII-variabelen tar verdien null i neste tidsperiode, og er 0 ellers (det vil si; $\hat{f}_{gt} = f_{gt}$ dersom $f_{gt} > 0$ og $f_{g(t+1)} = 0$). Slik tar variabelen \hat{f}_{gt} kun toppunktverdiene av f_{gt} og er 0 ellers. Variabel \hat{f}_{gt} refereres herved til som *variabelen for størst BII*.

Beredskapsvariabelen, BII-variabelen og variabelen for størst BII refereres samlet til ved fellesbetegnelsen *BII-variablene*. For å illustrere verdien av og sammenhengen mellom BII-variablene brukes eksempelet presentert i avsnitt 2.3. Figur 11 og figur 12 illustrerer operasjonstimeplanen illustrert i figur 6 og 7 i avsnitt 2.3, men markerer tidsintervallene der rom og kirurger er regnet som opptatt. I figur 11 er tidsperiodene der rom regnes som opptatt markert med fargen rosa, mens tidsperiodene der kirurger regnes som opptatt er markert i blått i figur 12. Basert på de to figurene beregnes BII-variablene i figur 13. I tidsperioder der alle rom innen en spesialisme er opptatt tar cellen under tidsperioden på raden «Alle rom opptatt» verdi 1. I tidsperioder der alle kirurger innen spesialismen er opptatt er celleverdien på raden «Alle rom opptatt» under denne tidsperioden lik 1. På de neste tre radene er verdiene for BII-variablene gitt for hver tidsperiode t , for hver av de to spesialismene.

Overtiden t_r^{OT} angir antall overtidstidsenheter på rom r . Variabelen kalles heretter *overtidsvariabelen*. Dersom rom r er åpnet i løpet av planleggingsdagen tar variabelen y_r^R verdi 1. Ellers er variabelen lik 0. Variabel y_s^S er lik 1 dersom kirurg s er på jobb på den gitte planleggingsdagen, og 0 ellers. Variablene y_r^R og y_s^S refereres til som *variabelen for åpne rom*, og *variabelen for kirurger på jobb*. Antall anestesileger, PACU oppvåkningssenger og sykepleiere av type n som trengs for å gjennomføre operasjonstimeplanen registreres henholdsvis i variablene x^A , x^B og x_n^N . De tre variablene omtales som *ressursforbrukvariablene*.


Verdien av ovetidsvariablene i eksempelet i avsnitt 2.3 er presentert i figur 14, mens figur 15 angir verdiene for variablene for åpne rom. Verdiene av forbruksvariablene for anestesileger og operasjonssykepleiere for eksempelet er gitt i figur 16. Behovet for operasjonssykepleiere og anestesileger i hver tidsperiode er gitt på radene «Forbruk av anestesileger» og «Forbruk av operasjonssykepleiere». Ut i fra dette utledes

Tidsperiode (t)		Regulær åpningstid for rommene																			Overtid				
Spesialisme (g)	Rom (r)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1																								
	2																								
	3																								
2	4																								
	5																								

 Indikerer at rommet er opptatt

Figur 11: Operasjonsplanen fra eksempelet i avsnitt 2.3, der tidsperioder hvor rom er opptatt er markert i lys rosa.

Tidsperiode (t)		Regulær åpningstid for rommene																			Overtid				
Spesialisme (g)	Rom (r)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1																								
	2																								
	3																								
2	4																								
	5																								

 Indikerer at en kirurg blir brukt

Figur 12: Operasjonsplanen fra eksempelet i avsnitt 2.3, der tidsperioder hvor kirurger er opptatt er markert i mørk blå.

Spesialisme (g)	Variabel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Alle rom opptatt	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	Alle kirurger opptatt	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	z_{gt}	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	f_{gt}	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0
	$f(\hat{a})_{gt}$	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0
2	Rom opptatt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kirurg opptatt	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	z_{gt}	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	f_{gt}	0	0	0	0	1	2	3	4	5	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0
	$f(\hat{a})_{gt}$	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figur 13: Verdien av variablene z_{gt} , f_{gt} og \hat{f}_{gt} for eksempelet gitt i avsnitt 2.3. Verdiene på radene "Alle rom opptatt" og "Alle kirurger opptatt" tar henholdsvis verdi 1 dersom alle rom og kirurger innen spesialismen er opptatt i den gitte tidsperioden, og er 0 ellers. Verdiene er basert på figur 11 og 12 over.

antall anestesileger og antall operasjonssykepleiere av typene 1 og 2 som trengs for å gjennomføre operasjonstimeplanen, gitt ved x^A og x^N , i de to siste kolonnene.

PACU-timeplanen og verdien av forbruksvariablen for oppvåkningssenger for eksempelet presentert avsnitt 2.3 er gitt i figur 17. PACU-timeplanen er basert på oppvåkningstidene angitt i figur 15. Behovet for PACU-oppvåkningssenger i hver tidsperiode er angitt på nederste rad. Deretter beregnes variabelen forbruksvariablen for oppvåkningssenger, på samme måte som for forbruksvariablene for anestesileger og operasjonssykepleiere, basert på sengebehovet i hver tidsperiode.








Tidsperioder (t)		Regulær åpningstid for rommene																		Overtid				t_r^{OT}		
Spesialisme (g)	Rom (r)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23	24
1	1	pasient 1									pasient 4													2		
	2	pasient 2						pasient 7																0		
	3	pasient 5						pasient 3																1		
2	4	pasient 9									pasient 8						pasient 10							2		
	5																									

Figur 14: Verdiene av overtidvariablen t_r^{OR} i eksempelet presentert i avsnitt 2.3.

Verdier av u_{irt} og v_{irt}			Tidsperioder (t)																								Sum	y_r^R	
Spesialisme (g)	Rom (r)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
1	1	v_{irt}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
		u_{irt}	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	
	2	v_{irt}	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
		u_{irt}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	
2	3	v_{irt}	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
		u_{irt}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	
	4	v_{irt}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1
		u_{irt}	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	3	
5	v_{irt}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	u_{irt}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		


Figur 15: Verdiene av variablene v_{irt} , u_{irt} og t_r^{OR} i eksempelet i avsnitt 2.3.

Tidsperioder (t)		Regulær åpningstid for rommene																				Overtid				x^A	x_n^N
Spesialisme (g)	Rom (r)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
1	1																										
	2																										
	3																										
2	4																										
	5																										
Forbruk av anestesileger		0	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Forbruk av operasjonssykepleiere	type 1	2	3	3	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	0	0	0		
	type 2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0		

-  Preparasjonstid, forbruker operasjonssykepleiere
-  Anestestid, forbruker operasjonssykepleiere og anestesileger
-  Inngrepsstid, forbruker operasjonssykepleiere og kirurg
-  Oppvåkningstid, forbruker operasjonssykepleiere
-  Rengjøringstid
-  Operasjoner på rommet bruker sykepleiere av type 1
-  Operasjoner på rommet bruker sykepleiere av type 2

Figur 16: Antall anestesileger og operasjonssykepleiere av type 1 og 2 som trengs for å gjennomføre operasjonsplanen i eksempelet i avsnitt 2.3.

Pasient	Tidsperioder (t)																								x^B
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
Forbruk av PACU-oppvåkningssenger		0	0	0	0	0	1	2	2	2	3	3	3	2	2	1	1	1	2	1	1	3	3	3	2

-  Indikerer tidsperioder der pasienten trenger en PACU-oppvåkningssenger

Figur 17: Den resulterende PACU-timeplanen for eksempelet i avsnitt 2.3, basert på oppvåkningstidene gitt i tabell 15.

5.3 Basismodellen

I dette avsnittet presenteres formuleringen for Basismodellen. Den komplette modellformuleringen er presentert i vedlegg B.

5.3.1 Romallokeringsrestriksjoner

Romallokeringsrestriksjonene knytter pasienter til rom, og sørger for at pasientene okkuperer riktig antall tidsenheter på rommene.

$$\sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} + e_i = 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (1)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} u_{irt} - y_r^R \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (2)$$

$$\sum_{t' \in \mathcal{T}_i^R(t)} u_{irt'} - T_i^{OR} v_{irt} \geq 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (3)$$

$$\sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} u_{irt} - T_i^{OR} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (4)$$

Restriksjon (1) sikrer at en pasient starter operasjon nøyaktig en gang eller utsettes. Dersom pasienten skal opereres må den starte på et rom innen spesialismen pasienten selv tilhører. Restriksjon (2) sørger for at maksimalt en pasient kan okkupere et rom i enhver tidsperiode. Det kreves da at rommet er åpnet. Forholdet mellom okkupasjonsvariabelen, u_{irt} , og startvariabelen, v_{irt} , blir beskrevet i restriksjon (3) og (4). Restriksjon (3) sørger for at en pasient som starter operasjon i tidsperiode t på rom r , må okkupere det samme rommet i minst antall tidsperioder tilsvarende pasientens romtid, T_i^{OR} . Ved å summere over den pasient og tidsspesifikke mengden $\mathcal{T}_i^R(t)$, som tilsvarende tidsperiodene der en pasient okkuperer et rom dersom pasienten starter operasjon i tidsperiode t , sikrer en at pasientene okkuperer rom i riktige tidsperioder. Den pasient og tidsspesifikke mengden $\mathcal{T}_i^R(t)$ kalkuleres på følgende måte:

$$\mathcal{T}_i^R(t) := [t, t + T_i^{OR} - 1] \quad (5)$$

Dersom pasienten ikke starter operasjon i tidsperiode t gir restriksjon (3) ingen begrensning for når pasienten må okkupere et rom ettersom romokkupasjonsvariabelen har ikke-negativitetskrav (se avsnitt 5.3.7). Restriksjon (4) sikrer at pasienter ikke okkuperer rom i flere tidsperioder enn pasientens romtid, og at pasienter som utsettes ikke okkuperer noe rom i noen tidsperioder.

5.3.2 Kirurgallokeringsrestriksjoner

Kirurgallokeringsrestriksjonene tilegner kirurger til pasientene som skal opereres og sørger for at pasientene okkuperer kirurgene i riktig antall tidsenheter, på samme måte som romallokeringsrestriksjonene.

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} w_{ist} - y_s^S \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (6)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} w_{ist} + e_i \leq 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (7)$$

$$w_{ist} - w_{is(t-1)} - \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} v_{ir(t-T_i^{FI})} \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G, i \in \mathcal{I}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (8)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} w_{ist} - T_i^{IN} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (9)$$

Restriksjon (6) sier, på liknende måte som i restriksjon (2), at maksimalt en pasient kan okkupere en kirurg i en tidsperiode, og at dette forutsetter at kirurgen er på jobb. Restriksjon (7) sikrer at en pasient som utsettes ikke okkuperer noen kirurg, samt at pasienter kun kan okkupere en kirurg i en tidsperiode. Relasjonen mellom kirurgokkupasjonsvariabelen w_{ist} og operasjonsstartvariabelen v_{irt} beskrives i restriksjon (8) og (9). Restriksjon (8) sørger for at en pasient kun kan begynne å okkupere en kirurg en gang, og at dette kun kan skje i tidsperioden der pasientens inngrep begynner. Denne tidsperioden tilsvarer tidsperioden som er \mathcal{T}_i^{FI} tidsperioder etter pasientens operasjonsstarttid. For å sjekke om pasienters inngrep begynner i tidsperiode t sjekker en dermed om pasientenes operasjon starter i tidsperioden tilsvarende $t - \mathcal{T}_i^{FI}$. Restriksjon (9) sikrer til slutt, på liknende måte som restriksjon (4), at en pasient

som opereres okkuperer en kirurg i nøyaktig antall tidsperioder tilsvarende varighet av pasientens inngrep. Restriksjonen sikrer også at en pasient som utsettes ikke okkuperer noen kirurg i noen av tidsperiodene.

5.3.3 Forbruksrestriksjoner

I forbruksrestriksjonene registreres hvor mye som brukes av fellesressursene: anestesileger, operasjonssykepleiere og PACU-oppvåkningssenger.

$$x^A \geq \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^A(t)} v_{irt'} \quad t \in \mathcal{T} \quad (10)$$

$$x_n^N \geq \sum_{i \in \mathcal{I}_n^N} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^N(t)} A_i^N \cdot v_{irt'} \quad n \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (11)$$

$$x^B \geq \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^B(t)} v_{irt'} \quad t \in \mathcal{T} \quad (12)$$

$$t_r^{OT} \geq t \cdot u_{irt} - T^{RT} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (13)$$

Restriksjonene (10) til (12) teller ressursforbruket av anestesileger, operasjonssykepleiere og PACU-oppvåkningssenger. I alle tre restriksjoner beregnes ressursforbruket på en daglig basis. Variablene x^A , x_n^N og x^B beregnes som funksjoner av pasientenes planlagte operasjonsstarttid, v_{irt} , og de pasient og tidsspesifikke settene $\mathcal{T}_i^A(t)$, $\mathcal{T}_i^N(t)$, og $\mathcal{T}_i^B(t)$. Det nødvendige antallet ressurser som trengs i løpet av planleggingsdagen registreres ved å sette at ressursforbruksvariablene må være større eller lik ressursforbruket ved enhver tidsperiode t . De pasient og tidsspesifikke settene $\mathcal{T}_i^A(t)$, $\mathcal{T}_i^N(t)$ og $\mathcal{T}_i^B(t)$ kalkuleres på følgende måte:

$$\mathcal{T}_i^A(t) := [t - T_i^{FI} + 1, t - T^{PR}] \quad (14)$$

$$\mathcal{T}_i^N(t) := [t - T_i^{OP} + 1, t] \quad (15)$$

$$\mathcal{T}_i^B(t) := [t - T_i^{OT} + 1, t - T_i^{OP}] \quad (16)$$

Restriksjon (13) teller antall overtidstimer som er brukt på hvert rom. Overtiden kalkuleres ved å trekke den siste tidsenheten for ordinær åpningstid, \mathcal{T}^{RT} , fra den siste tidsenheten rommet er okkupert i løpet av planleggingsdagen. Hvis summen blir negativ blir antall overtidstimer 0 ettersom overtidsvariabelen t_r^{OT} er tilknyttet ikke-negativitetskrav (se avsnitt 5.3.7).

For alle forbruksrestriksjonene er det kun nødvendig å definere nedre grenser for ressursbruket ettersom det knyttes kostnader relatert til forbruket som minimeres i objektivfunksjonen (se avsnitt 5.3.6). I denne modellen er det bevisst ikke satt noen øvre grenser for forbruk av fellesressursene anestesileger, sykepleiere, og PACU oppvåkingsseger. Årsaken til dette er at modellen skal gi sykehus en indikasjon på om sykehuset bør øke kapasitetene på disse ressursene. Øvre grense for antall overtidstimer er gitt av den totale tiden \mathcal{T} .

5.3.4 BII restriksjoner

BII restriksjonene teller tidsperiodene der det ikke er mulig å starte en ny operasjon for hver enkelt spesialisme. På den måten gir de et bilde på når en spesialisme er beredt til å håndtere potensielle akuttpasienter.

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} y_s^S + \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} w_{ist} - \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} v_{ir(t-T_i^{FI})} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (17)$$

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} y_r^R + \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} u_{irt} - \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t' \in [t-T_i^{FI}, t]} v_{irt'} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (18)$$

Restriksjon (17) sikrer at en ikke kan starte en ny operasjon innen en spesialisme i tidsperiode t , dersom det ikke er ledige egnede kirurger til å behandle pasienten. Dette gjøres ved å se på alle egnede kirurger og evaluere hvordan de er anvendt i den aktuelle tidsperioden. Det andre leddet på høyre side av ulikheten teller antall egnede kirurger som er på jobb på den gitte planleggingsdagen. Det tredje leddet teller antall kirurger som etter planen vil være opptatt med en pasient i tidsperiode t . Dersom en kirurg etter planen skal starte et inngrep i tidsperiode t , kan inngrepet avlyses til fordel for en akutt pasient om nødvendig. Dermed trekkes det fra antall egnede kirurger som etter planen skal starte et inngrep i tidsperiode t , i det fjerde leddet på høyresiden. Restriksjon (18) sier på liknende måte at en ny operasjon ikke kan

starte dersom det ikke er et egnet rom tilgjengelig i tidsperiode t . En forskjell mellom restriksjon Z-Kirurg og restriksjon (18) er at restriksjon (18) i det fjerde leddet trekker fra pasienter som i tidsperiode t befinner seg sted mellom operasjonsstarttiden og starttiden for inngrepet. Årsaken til denne forskjellen er at det en operasjon kan avlyses helt frem til selve inngrepet begynner. Altså vil et rom kunne regnes som ledig selvom en pasient okkuperer det, helt frem til pasientens inngrep begynner. Det samme gjelder kirurger, men ettersom kirurgene ikke kommer inn før selve inngrepet begynner knyttes ikke kirurgene til tiden før inngrepet. Dersom kirurgen er ledig i dette tidsintervallet vil dette allerede være fanget opp i ledd tre i restriksjon (17).

I restriksjonene (19) til (21) registreres etterfølgende tidsperioder der en ikke kan starte en ny operasjon i BII-variabelen, og toppunktverdiene registreres.

$$f_{gt} \geq f_{g(t-1)} + z_{gt} - \bar{B}_g^A(1 - z_{gt}) \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (19)$$

$$f_{gt} \leq \bar{B}_g^A \cdot z_{gt} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (20)$$

$$\hat{f}_{gt} \geq f_{gt} - f_{g(t+1)} - \bar{B}_g^S \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (21)$$

Dersom en ikke kan starte en ny operasjon innen spesialisme g i tidsperiode t tar beredskapsvariabelen z_{gt} verdien 1. Restriksjon (19) sørger for at BII-variabelen da f_{gt} øker med minst 1. Dersom spesialisme g kan starte en ny operasjon i tidsperiode t er ikke restriksjon (19) begrensende. Restriksjon (20) sikrer at BII er under øvre grense for BII innen hver spesialisme. Restriksjonen sørger i tillegg for at BII-variabelen tar verdien 0 dersom beredskapsvariabelen z_{gt} er 0. I restriksjon (21) registreres toppunktene for verdiene av BII-variabelen. Kun verdiene som er større enn øvre grense for tilstrekkelig BII (\bar{B}_g^S) registreres. Årsaken er at tilstrekkelig BII ikke straffes i målfunksjonen. Variabelen \hat{f}_{gt} tar altså verdien av f_{gt} dersom f_{gt} er større enn \bar{B}_g^S og verdien av variabelen i neste tidsperiode er lik 0. Det vil si, når $f_{gt} > \bar{B}_g^S$ og $f_{g(t+1)} = 0$. Når dette ikke er tilfellet gir restriksjon (21) ingen begrensning til verdien av variabelen \hat{f}_{gt} .

I tillegg til restriksjonene (19) til (21) kan restriksjon (22) anvendes for å sikre at BII-variablene tar ønsket verdi også når de er innenfor grensen for tilstrekkelig BII

(dvs. for $f_{gt} \leq \overline{B}_g^S$). Det vil en gjøre det enklere å tolke resultatene fra modellen. Restriksjon (22) sikrer at verdien av f_{gt} øker med nøyaktig 1 for hver tidsperiode der beredskapsvariabelen er 1.

$$f_{gt} \leq f_{g(t-1)} + z_{gt} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (22)$$

5.3.5 Symmetribrytende restriksjoner

Dersom kirurger og rom er homogene innen hver spesialisering vil symmetriske løsninger være forventet. For å redusere antall like løsninger kan følgende symmetribrytende restriksjoner legges til i modellformuleringen (Baricelli et al., 1998).

$$y_r^R \geq y_{r+1}^R \quad g \in \mathcal{G}, r \in \mathcal{R}_g^G \quad (23)$$

$$y_s^S \geq y_{s+1}^S \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G \quad (24)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} u_{irt} \geq \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} u_{i(r+1)t} \quad g \in \mathcal{G}, \forall r \in \mathcal{R}_g \quad (25)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} w_{ist} \geq \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} w_{i(s+1)t} \quad \forall g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G \quad (26)$$

Restriksjon (23) tilsier at rommene innen en spesialisering skal åpnes i henhold til indeksverdi. Det vil si at rom med lav indeks skal åpnes før rom med høyere indeks. Restriksjon (24) tilsier på samme måte at kirurgene innen en spesialisering skal settes opp på jobb i henhold til stigende indeks, slik av kirurger med lav indeks velges før kirurger med høyere indeks. Restriksjon (25) og (26) sørger for at rom og kirurger innen hver spesialisering tilordnes pasienter i henhold til stigende rom- og kirurgindeks. Noter at mengdene \mathcal{R}_g^G og \mathcal{S}_g^G i de symmetribrytende restriksjonene ikke inkluderer det siste rommet eller kirurgen innen spesialiseringen. Dette fordi restriksjonene i det tilfellet ville vært utenfor sine verdiområder. For å øke leseligheten er formuleringen imidlertid forenklet.

5.3.6 Målfunksjon

I målfunksjonen minimeres kostnadene knyttet til ressursforbruket av fellesressurserne, rom og kirurger, samt kostnadene knyttet til overtid, utsettelse av pasienter og BII.

$$\begin{aligned} \min \omega = & C^A x^A + C^B x^B + \sum_{n \in \mathcal{N}} C_n^N x_n^N + \sum_{r \in \mathcal{R}} C^R y_r^R + \sum_{s \in \mathcal{S}} C_s^S y_s^S + \\ & \sum_{r \in \mathcal{R}} C^{OT} t_r^{OT} + \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^{PP} e_i + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g^{BII} \hat{f}_{gt} \end{aligned} \quad (27)$$

De første tre leddene i målfunksjonen er kostnadene av antall anestesileger, PACU-oppvåkningssenger og operasjonssykepleiere som trengs for å gjennomføre operasjonstimeplanen. Det tredje og det fjerde leddet i målfunksjonen representerer kostnadene av alle åpne rom og for kirurger som er på jobb på den gitte planleggingsdagen. De siste tre leddene i målfunksjonen tilsvarer kostnaden for overtid på alle rom, kostnaden av alle utsatte pasienter, og kostnadene for alle BII-intervall over grensen for tilstrekkelig BII. Kostnadene knyttet til sykepleiere på PACU er medberegnet i kostnaden knyttet til en oppvåkningsseng på PACU, mens sykepleierene på sykehusets sengeposter ikke er inkludert ettersom sengeportene er utenfor rammene for problemet. Disse kostnadene er dermed ikke inkludert i målfunksjonen.

5.3.7 Ikke-negativitet- og binaritetskrav

Ikke-negativitet og binaritetsrestriksjonene sikrer at heltallsvariable er positive heltall og at binarvariable er binære tall.

$$v_{irt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, \forall i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (28)$$

$$u_{irt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (29)$$

$$w_{ist} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, s \in \mathcal{S}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (30)$$

$$e_i \in \{0, 1\} \quad i \in \mathcal{I} \quad (31)$$

$$z_{gt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (32)$$

$$y_r^R \in \{0, 1\} \quad r \in \mathcal{R} \quad (33)$$

$$y_s^S \in \{0, 1\} \quad s \in \mathcal{S} \quad (34)$$

$$t_r^{OT} \geq 0, \text{ integer} \quad r \in \mathcal{R} \quad (35)$$

$$f_{gt}, \hat{f}_{gt} \geq 0, \text{ integer} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (36)$$

$$x_n^N \geq 0, \text{ integer} \quad n \in \mathcal{N} \quad (37)$$

$$x^A, x^B \geq 0, \text{ integer} \quad (38)$$

Restriksjonene (28) til (34) utgjør binaritetskrav, mens restriksjonene (35) til (37) utgjør heltall med ikke-negativitetskrav. Alle binaritets- og ikke-negativitetskrav sikrer at kun variable med gyldige indeks-kombinasjoner genereres. For eksempel genereres operasjonsstartvariabelen v_{irt} kun for kombinasjoner av pasienter og rom innen samme spesialisme. Dette sikres ved å spesifisere at variablene kun gjelder for spesialismespesifikke mengder.

5.4 Apriori kolonnegenereringsmodeller

En alternativ løsningsmetode for DOP er å bruke kolonnegenerering. I dette kapitlet presenteres fire apriori kolonnegenereringsmodeller (AKM). I apriori kolonnegenerering tas pre-genererte kolonner inn i masterproblemet før løsningsprosessen starter. Hver kolonne gir informasjon om en delvis løsning. Forskjellen på AKM-modellene som presenteres i dette kapitlet er informasjonen som inngår i kolonnene. Dette er en sentral avveining innen apriori kolonnegenerering. Med mye informasjon i kolonnene øker antall kolonner. Antall beslutninger i masterproblemet reduseres, mens informasjonen som tas inn i masterproblemet øker. Lite informasjon i kolonnene derimot reduserer antallet kolonner, mens antall beslutninger i masterproblemet øker.

I alle modellene gir en kolonne informasjon om en mulig løsning på et rom. Det vil si at deler av, eller hele, operasjonstimeplanen på et rom er fastsatt i en kolonne. I den første AKM-modellen (AKM1) er pasientene som skal opereres på et rom fastsatt i en kolonne. I den andre modellen (AKM2) er i tillegg rekkefølgen av pasientene som skal opereres på et rom bestemt, mens kolonnene i den tredje modellen (AKM3) gir informasjon om starttiden for pasientene som skal opereres på et rom. Dette innebærer implisitt informasjon om pasientene som skal opereres på et rom og rekkefølgen av pasientene. I den fjerde modellen (AKM4) gir en kolonne informasjon om starttiden for pasientenes operasjoner samt kirurgene som skal operere hver pasient. En oversikt over informasjonen som inngår i en kolonne i de ulike modellene er presentert i tabell 18. De helhetlige modellformuleringene er presentert i vedlegg B.

Modell	Informasjon i hver kolonne
AKM1	Pasienter
AKM2	Pasienter, rekkefølge
AKM3	Pasienter, starttid
AKM4	Pasienter, starttid, kirurg

Tabell 18: Informasjonen i en kolonne i de ulike AKM-modellene.

En kolonne omtales også som et mønster. Et mønster er angitt som en (g, m) kombinasjon. Dette tilsvarer et mønster m generert for et rom innen spesialisisme g . I dette tilfellet kan mønstrene innen hver spesialisisme angis som en mengde som starter på 1 og går opp til antall mønster innen spesialisismen. Det kan da finnes flere like mønster med indekser m i mengden av alle mønster. Mønster med lik indeks vil da være knyttet til ulike spesialismer. I denne oppgaven vil et mønster omtådes både som et mønster (g, m) og som et mønster m . I tilfeller der det er snakk om et mønster

m antas det at mønsteret er knyttet til en spesialisme g . Et annet alternativ er å angi et mønster med kun en indeks. Da vil alle mønster være assosiert med en unik indeks.

I tillegg til notasjonen beskrevet i avsnitt 5.2 inngår nye indekser og parametere, samt en ny mengde og en ny variabel i AKM-modellene. En oversikt over all ny notasjon er presentert i tabell 19 til 23. Den nye notasjonen vil forklares ettersom indeksene, mengden, parametrene og variabelen presenteres i modellene.

5.4.1 Apriori Kolonnegenereringsmodell 1 (AKM1)

Kolonnene AKM1 gir informasjon om hvilke pasienter som skal opereres på et rom. Et mønster tilsvarer altså en kombinasjon av pasienter på et rom. Det å ikke åpne et rom er ikke et mønster. Det vil si at alle valgte mønstre tilsvarer et åpnet rom. Beslutningene som tas i AKM1 inkluderer valg av mønster, fastsettelse av starttid, allokering av kirurger til pasienter, samt fastsettelse av antall operasjonssykepleiere, anestesileger, PACU-oppvåkningssenger, åpne rom, kirurger på jobb, og overtid. Beslutningene må ta hensyn til tidsbegrensning og BII. Den totale formuleringen av modell AKM1 er presentert i vedlegg C.1.

En ny variabel, λ_{gm} , innføres for å registrere om mønster (g,m) velges. Variabelen tar verdien 1 dersom mønster (g,m) velges, og er 0 ellers. Parameteren D_{igm} angir om pasient i inngår i mønster (g,m) . Parameteren tar verdien 1 dersom pasient i inngår i mønster (g,m) , og er 0 ellers. Kostnaden av et mønster er gitt ved parameteren C_{gm}^M . Dette tilsvarer kostnaden av å åpne et rom innen spesialisme g . Mengden av mønstre innen spesialisme g er gitt ved mengden \mathcal{M}_g^G .

I målfunksjonen i AKM1 erstattes kostnaden av åpne rom med kostnaden av valgte mønstre. Målfunksjonen i AKM1 blir som følger:

$$\begin{aligned} \min \alpha = & C^A x^A + C^B x^B + \sum_{n \in \mathcal{N}} C_n^N x_n^N + \sum_{s \in \mathcal{S}} C^S y_s^S + \sum_{r \in \mathcal{R}} C^{OT} t_r^{OT} \\ & + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} C_{gm}^M \lambda_{gm} + \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^{PP} e_i + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g^{BII} \hat{f}_{gt} \end{aligned} \quad (39)$$

Indekser	Beskrivelse
m	Mønsterindeks
j	Pasientindeks

Tabell 19: Nye indekser i AKM-modellene.

Mengde	Beskrivelse
\mathcal{M}_g^G	Mengden mønster innen spesiaisme g

Tabell 20: Ny mengde i AKM-modellene.

Parametere	Beskrivelse
C_{gm}^M	Kostnaden av mønster (g,m)
V_{igmt}	Parameter for starttid i for pasient i i mønster (g,m) . Er lik 1 dersom pasient i starter i tidsperiode t i mønster (g,m) , 0 ellers
D_{igm}	Parameter for inklusjon av pasient i i mønster (g,m) . Er lik 1 dersom pasient i inngår i mønster (g,m) , 0 ellers
I_{ijgm}	Rekkefølgeparameter. Er lik 1 dersom pasient i opereres før pasient j i mønster (g,m) , 0 ellers

Tabell 21: Nye parametere i AKM-modellene.

Pasient og tidsspesifikke mengder	Beskrivelse
$T_i^O(t)$	Mengden av tidsperioder som pasient i må starte operasjon i dersom pasient i skal okkupere et rom i tidsperiode t
$T_i^K(t)$	Mengden av tidsperioder som pasient i må starte operasjon i dersom pasient i skal okkupere en kirurg i tidsperiode t

Tabell 22: Nye pasient og tidsspesifikke mengder i AKM-modellene.

Variabel	Beskrivelse
λ_{gm}	Variabel for valg av mønster. Er lik 1 dersom mønster (g,m) inngår i løsningen, 0 ellers

Tabell 23: Ny variabel i AKM-modellene.

Restriksjon (40) innføres for å begrense antall mønstre som velges. Restriksjonen sikrer at antall valgte mønstre innen spesialisme g er mindre eller lik antall rom innen spesialismen. Ettersom et uåpnet rom ikke er representert som et mønster kreves det ikke at antall valgte mønstre innen en spesialisme er lik antall operasjonsrom innen spesialismen.

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_r^R} \lambda_{gm} \leq |\mathcal{R}_g^G| \quad g \in \mathcal{G} \quad (40)$$

Restriksjon (1) i Basismodellen erstattes i AKM1 av restriksjonene (41) og (42). De to restriksjonene sikrer relasjonen mellom starttid, utsettelse av pasienter og pasienter som inngår i et valgt mønster. Restriksjon (41) krever at pasient i enten må inngå i et valgt mønster eller utsettes, mens restriksjon (42) sikrer at en pasient som inngår i et valgt mønster må tildeles en starttid.

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} D_{igm} \lambda_{gm} + e_i = 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (41)$$

$$\sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} D_{igm} \lambda_{gm} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (42)$$

Variabelen for åpne rom, y_r^R , utgår i AKM1 ettersom et valgt mønster tilsvarer et åpent rom. I restriksjon (2) erstattes variabelen med uttrykket for om pasient i inngår i mønster (g, m) . Restriksjon (2) i Basismodellen er altså som følger i AKM1:

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} u_{irt} - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} D_{igm} \lambda_{gm} \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (43)$$

Foruten restriksjon (1) og (2) er de resterende romallokeringsrestriksjonene i Basismodellen like i AKM1. Samtlige kirurgallokeringsrestriksjoner, forbruksrestriksjoner

og BII-restriksjoner er like som i Basismodellen, foruten restriksjon (18) der antall åpne rom erstattes med antall valgte mønster.

5.4.2 Apriori Kolonnegenereringsmodell 2 (AKM2)

I AKM2 gir en kolonne informasjon om rekkefølgen av pasientene på et rom, i tillegg til å spesifisere pasientene som inngår i mønsteret. Beslutningene som tas er de samme som i AKM1, men valget av mønster fastsetter mer av løsningen på et rom i AKM2. Paratmeteren I_{ijgm} introduseres og gir informasjon om rekkefølgen av to pasienter, i og j , i et mønster (g,m) . Parameteren tar verdien 1 dersom pasient i skjemalegges før pasient j i henhold til mønster (g,m) , og er 0 ellers. Den matematiske formuleringen av modell AKM2 er presentert i vedlegg C.2.

Målfunksjonen i AKM2 tilsvarer målfunksjonen i AKM1, og samtlige restriksjoner i AKM2 er identiske som i AKM1. Forskjellen mellom de to modellene er kun en ny restriksjon som innføres i AKM2. Restriksjon (44) innføres for å sikre at pasientene som inngår i et valgt mønster (g,m) skjemalegges i henhold til den spesifiserte rekkefølgen i mønsteret. Restriksjonen krever at starttiden for pasient j er større enn summen av starttiden og operasjonsromtiden til pasient i dersom parameteren I_{ijgm} er lik 1 for et valgt mønster (g,m) .

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} t v_{jrt} - \sum_{t \in \mathcal{T}} t v_{irt} - T_i^{IN} + T^{TOT} (1 - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} I_{ijgm} \lambda_{gm}) \geq 0 \quad g \in \mathcal{G}, r \in \mathcal{R}_g^G, i, j \in \mathcal{I}_g^G \quad (44)$$

5.4.3 Apriori Kolonnegenereringsmodell 3 (AKM3)

I AKM3 gir en kolonne informasjon om hvilke pasienter som skal opereres på et rom, samt starttiden for pasientenes operasjoner. Beslutningene som tas omfatter valg av operasjonsplan, allokering av kirurger, og fastsettelse av antall kirurger, anestesileger, PACU-oppvåkningssenger og operasjonssykepleiere. Starttiden for pasientene i et mønster (g,m) er gitt ved parameteren V_{igmt} . Parameteren er lik 1 dersom pasient i starter i tidsperiode t i henhold til mønster (g,m) . Den totale modellformuleringen for AKM3 er presentert i vedlegg C.3.

Ettersom starttiden for pasientenes operasjoner er fastsatt i et mønster følger det at anvendt overtid på rommet er bestemt i mønsteret. Kostnaden av et mønster inkluderer dermed kostnaden av å åpne et rom og kostnaden av anvendt overtid i mønsteret. I målfunksjonen i AKM3 substitueres da (fra målfunksjonen i Basismodellen) kostnaden av åpne rom og kostnaden av overtid med kostnaden av valgte mønstre. Målfunksjonen i AKM3 er som følger:

$$\begin{aligned} \min \omega = & C^A x^A + C^B x^B + \sum_{n \in \mathcal{N}} C_n^N x_n^N + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} C_{gm}^M \lambda_{gm} + \\ & \sum_{s \in \mathcal{S}} C^S y_s^S + \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^{PP} e_i + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g^{BII} \hat{f}_{gt} \end{aligned} \quad (45)$$

Begrensningen av antall valgte mønster er lik som i AKM1. Restriksjonen for valgte mønster er altså gitt av likning (40). Valget om å starte operasjonen av pasient i i tidsperiode t kan uttrykkes som summen av starttidsparemeteren, V_{igmt} , multiplisert med summen av lambda-variablene for alle mønstre. Forholdet mellom starttidsva- raibelen, v_{irt} i Basismodellen og starttidsparemeteren V_{igmt} kan altså uttrykkes som:

$$\sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} V_{igmt} \lambda_{gm} = \sum_{r \in \mathcal{R}} v_{irt}$$

Restriksjon (46) sikrer relasjonen mellom å starttid og utsettelse av en pasienter. Restriksjonen tilsvarer restriksjon (1) i Basismodellen der uttrykket for starttid er substituert i henhold til relasjonen for starttidsva-riablen og starttidsparemeteren gitt over. Restriksjon (46) likner restriksjon (41) i AKM1. Forskjellen er at paremeteren som sier om en pasient i er inkludert i et mønster (g,m) , D_{igm} , substitueres med starttidsparemeteren, V_{igmt} summert over alle tidsperioder.

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} V_{igmt} \lambda_{gm} + e_i = 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (46)$$

Romtiden for en pasient er en følge av pasientens starttid. Følgelig utgår romokkupasjonsvariabelen u_{irt} og alle romokkupasjonsrestriksjonene fra Basismodellen i AKM3. Kirurgokkupasjonsrestriksjonene og forbruksrestriksjonene tilsvarer kirurgokkupasjon- og forbruksrestriksjonene i Basismodellen der startvariabelen v_{irt} er substituert i henhold til relasjonen mellom starttidsvariabelen og starttidsparameteren. Ettersom overtid er angitt i møntrene utgår restriksjon (13) fra Basismodellen i AKM3.

BII-restriksjonene i AKM3 ligner på BII-restriksjonene i Basismodellen. I restriksjon (17) er variabelen for starttid substituert i henhold til relasjonen mellom starttidsvariabelen og starttidsparameteren. I restriksjon (18) substitueres summen av åpnete rom innen spesialisisme g med summen av valgte mønster innen spesialisismen, på samme måte som i AKM1 og AKM2. For å uttrykke de siste to leddene i restriksjon (18), som uttrykker om et rom er opptatt i en tidsperiode t , introduseres den pasient og tidsspesifikke mengden $\mathcal{T}_i^O(t)$. Mengden uttrykker tidsperiodene en pasient i må starte innen for at pasienten okkuperer et rom i tidsperiode t . Den matematiske formuleringen av mengden $\mathcal{T}_i^O(t)$ er som følger:

$$\mathcal{T}_i^O(t) = [t - \mathcal{T}_i^{OR} + 1, t - \mathcal{T}_i^{FI} - 1] \quad (47)$$

BII-restriskjonen for om et rom er opptatt i tidsperiode t , som tilsvarer restriksjon (18) i Basismodellen, er gitt i likning (48). De resterende BII-restriksjonene i AKM3 er identiske med restriskjon (19) til (21) i Basismodellen.

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \lambda_{gm} + \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^O(t)} V_{igmt'} \lambda_{gm} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (48)$$

5.4.4 Apriori Kolonnegenereringsmodell 4 (AKM4)

I kolonnene i AKM4 er kirurgen som skal utføre inngrepene fastsatt, i tillegg til statti- den for operasjonene. Forskjellen fra AKM3 ligger hovedsakelig i at variabelen for kirurgokkupasjon, w_{ist} utgår i AKM4. Beslutningene som tas tilsvarer beslutningene i AKM3 foruten allokering av kirurger til pasientene. Den totale modellformuleringen av modell AKM4 er gitt i vedlegg C.4.

Målfunksjonen i AKM4 er lik som i AKM3, der kostnaden av et mønster inklude-

rer kostanden av å åpne et rom samt kostnaden av overtid. Begrensningen av antall mønster er gitt av likning (40). Pasientenes tilknytning til kirurg er gitt av parameteren Q_{isgmt} . Parameteren har verdi 1 dersom inngrepet på pasient i utføres av kirurg s og starter i tidsperiode t i plan (g,m) , og er 0 ellers. Parameteren vil herved refereres til som parameteren for inngrepsstarttid. Restriksjonen som sikrer relasjonen mellom starttidsparameteren og utsettelse av pasienter inngår på samme måte som i AKM3. Dette tilsvare restriksjon (46). En liknende restriksjon, (49), innføres for relasjonen mellom parameteren for inngrepsstarttid og utsettelse av pasienter. Restriksjonen tilsier at enhver pasient enten må tildeles en inngrepsstarttid i et valgt mønster, eller utsettes.

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} Q_{isgmt} \lambda_{gm} + e_i = 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (49)$$

For å knytte variabelen for kirurger på jobb, y_s^S , til mønster som inkluderer kirurg s innføres restriksjon (50). Restriksjonen krever at en kirurg s som inngår i et valgt mønster (g,m) må være på jobb. En alternativ formulering av AKM4 er å substituere variabelen for kirurger på jobb med uttrykket for hvorvidt kirurgen inngår i et valgt mønster. Ettersom antall variable for kirurger på jobb, y_s^S antas å være relativt lite, samt at inklusjonen av variabelen y_s^S gjør modellen mer lettelleselig, er formuleringen som inkluderer variabelen for kirurger på jobb valgt.

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} Q_{isgmt} \lambda_{gm} - y_s^S = 0 \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (50)$$

BII-restriksjonen for opptatte rom er lik som restriksjon (48) i AKM3. I restriksjonen for opptatte kirurger, gitt av restriksjon (17) i Basismodellen, innføres den pasient og tidsspesifikk mengden $\mathcal{T}_i^K(t)$, på samme måte som $\mathcal{T}_i^O(t)$ i AKM3. Mengden $\mathcal{T}_i^K(t)$ omfatter tidsperiodene pasient i må starte innen dersom pasienten okkuperer en kirurg i tidsperiode t . Den matematiske formuleringen av mengden $\mathcal{T}_i^K(t)$ er som følger:

$$\mathcal{T}_i^K(t) = [t - \mathcal{T}_i^{IN} + 1, t - 1] \quad (51)$$

I BII-restriksjonen for opptatte kirurger i Basismodellen, gitt av restriksjon (17), substitueres de siste to leddene med uttrykket for om en kirurg s er opptatt i en tidsperiode t ved bruk av mengden $\mathcal{T}_i^K(t)$, på samme måte som i BII-restriksjonen for opptatte rom. BII-restriksjonen for opptatte kirurger i AKM4 er gitt i likning (52). De resterende BII-restriksjonene er, som i AKM2, like som i Basismodellen.

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \lambda_{gm} + \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^K(t)} Q_{isgmt'} \lambda_{gm} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (52)$$

Ettersom antall kolonner i modell AKM4 fort vil bli svært høyt, inkluderes ikke AKM4-modellen i testing og analyse av AKM-modellene. Av de gjenværende modellene (AKM1, AKM2 og AKM3) er det valgt å gå videre med AKM1 og AKM3 for testing og analyse. Årsaken til dette er at AKM1 og AKM3 ansees som mest interessante ettersom de representerer ytterpunktene blant de tre modellene (AKM1, AKM2 og AKM3) når det gjelder grad av informasjon i kolonnene.

5.5 Alternativ målfunksjonsformulering

Et alternativ til målfunksjonsformulering for AKM-modellene er å knytte utsettelseskostnaden for pasienter til kostnaden av mønstrene. Målfunksjonene kan da formuleres som minimeringsfunksjoner der utsettelseskostnaden for pasientene som inngår i et mønster m trekkes da fra i kostnaden av mønsteret. Et tredje alternativ er å formulere målfunksjonene som maksimeringsfunksjoner der utsettelseskostnaden for alle skje-malagte pasienter i et mønster legges til som fortjenesten av mønsteret. For analysen i denne oppgaven er de alternative minimeringsfunksjoner mest interessante ettersom disse kan sammenlignes med formuleringene i de opprinnelig AKM-modellene presentert i dette delkapittelet. De alternative formuleringene av målfunksjonene i AKM1 og AKM3 er presentert i restriksjon (53) og (54).

$$\begin{aligned} \min \alpha = & \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^{PP} + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} C_{gm}^M \lambda_{gm} + C^A x^A + C^B x^B + \\ & \sum_{n \in \mathcal{N}} C_n^N x_n^N + \sum_{s \in \mathcal{S}} C^S y_s^S + \sum_{r \in \mathcal{R}} C^{OT} t_r^{OT} + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g^{BII} \hat{f}_{gt} \end{aligned} \quad (53)$$

$$\begin{aligned} \min \omega = & \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^{PP} + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} C_{gm}^M \lambda_{gm} + C^A x^A + \\ & C^B x^B + \sum_{n \in \mathcal{N}} C_n^N x_n^N + \sum_{s \in \mathcal{S}} C^S y_s^S + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g^{BII} \hat{f}_{gt} \end{aligned} \quad (54)$$

De to alternative formuleringene vil inkluderes i tester og analyser av AKM1 og AKM3. Modeller med alternativ formulering vil da markeres med bokstaven R i modellnavnet, mens de opprinnelige modellene refereres til kun som AKM1 og AKM4. For AKM1 har en dermed to modellformuleringer; AKM1 og AKM1R. For AKM3 har en på samme måte de to modellformuleringene; AKM2 og AKM3R.

5.6 Innføringen av Fler-Rekke Ulikheter

«Fler-Rekke Ulikheter» (engelsk: Subset Row Inequalities) er tilleggsrestriksjoner som innføres for å styrke LP-løsningen (løsningen av det lineære problemet) i et problem. Formålet er å utnytte informasjon som gjelder for kombinasjoner av variable. I dette tilfellet utnyttes informasjon om inkluderingen av pasienter.

Fler-Rekke Ulikheten som innføres i AKM-modellene tilsier at summen av valgte mønstre som inneholder minst to av tre pasienter innen en gitt kombinasjon av tre pasienter, må være mindre eller lik 0. Den matematiske formuleringen av Fler-Rekke Ulikheten er presentert i restriksjon (55). Mengden \mathcal{F}_G^3 omfatter alle kombinasjoner av tre pasienter innen en spesialisering g , der alle kombinasjoner av tre pasienter er gitt av indeks f . Mengden av mønstre innen spesialisering g som inneholder minst to

av de tre pasientene i kombinasjon f er gitt av \mathcal{M}_{gf}^3 .

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_{gf}^3} \lambda_{gm} \leq 1 \quad \forall g \in \mathcal{G}, f \in \mathcal{F}_g^3 \quad (55)$$

Anta et eksempel med der kombinasjon f ($f = 1$) innen en spesialisme g ($g = 1$) består av de tre pasientene: Pasient 1, Pasient 2 og Pasient 3. Det finnes i dette tilfellet fire kombinasjoner med minst to av de tre pasientene. Anta at hver av de fire kombinasjonene inngår i nøyaktig et mønster hver. Mengden av mønstre innen spesialisme 1 med minst to av de tre pasientene i kombinasjon 1, gitt som \mathcal{M}_{11}^3 , inkluderer altså 4 mønstre. Eksempelet er illustrert i tabell 24, der verdien 1 tilsier at en pasient inngår i et mønster, mens verdien 0 innebærer at en pasient ikke inngår i et mønster.

Mønster	Pasient 1	Pasient 2	Pasient 3
1	1	1	1
2	1	0	1
3	0	1	1
4	1	1	0

Tabell 24: Kombinasjoner av 3 pasienter.

Fler-Rekke Ulikheten sier i dette eksempelet at maksimalt et av de fire mønstrene kan velges. Dermed ekskluderes alle LP-løsninger der summen av de fire variablene er større enn 1. Den matematiske formuleringen for Fler-Rekke Ulikheten i dette tilfellet er som følger:

$$\lambda_{11} + \lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} \leq 1 \quad (56)$$

Inkluderingen av Fler-Rekke Ulikheter i AKM-modellene er test for de to utvalgte AKM-modellene; AKM1 og AKM3. For modellformuleringer med Fler-Rekke Ulikheter inkluderes bokstaven S i modellnavnet. Formuleringer uten inkludering av Fler-Rekke Ulikheten er angitt som normalt. For AKM1 har en altså de fire modellformuleringene: AKM1, AKM1R, AKM1S og AKM1RS. AKM1S tilsvarende altså den opprinnelige AKM1 modellen med inkludering av Fler-Rekke Ulikheten, mens AKM1RS tilsvarende den alternative AKM1 modellen med inkludering av Fler-Rekke Ulikheten. På samme måte er de fire AKM3-modellformuleringene gitt som: AKM3, AKM3R, AKM3S og AKM3RS.

5.7 Modeller for generering av kolonner

I dette kapittelet presenteres modellene for generering av kolonner til AKM1 og AKM3. Generering av kolonner kan enten gjøres eksakt eller heuristisk. Ved eksakt generering genereres alle mulige kolonner. Med eksakt genererte kolonner blir altså alle mulige løsninger vurdert i masterproblemet, og den optimale løsningen som finnes i masterproblemet tilsvarer den optimale løsningen av problemet. På grunn av modelleringsforenklinger og usikkerhet vet en i midlertid ikke om løsningen i realiteten er optimal. Med heuristisk generering av kolonner, fjernes en mengde av kolonnene ved innføringen av såkalte heuristiske regler. De heuristiske reglene er tilleggskrav for kolonnene som genereres. Ettersom kun en delmengde av alle kolonner genereres evalueres ikke alle mulige løsninger av problemet, og det kan ikke garanteres at den optimale løsningen som finnes i det reduserte masterproblemet er den optimale løsningen av problemet. Hvorvidt løsningen i masterproblemet er optimal avhenger av om mønstrene som inngår i den optimale løsningen av problemet er representert i mengden heuristisk genererte kolonner. Hvorvidt løsningen i det reduserte masterproblemet er en god løsning avhenger på samme måte av om mønstrene som inngår i gode løsninger er representert. Et viktig aspekt ved heuristisk generering av kolonner er derfor å forsøke å implementere heuristiske regler som fjerner kolonner som med liten sannsynlighet inngår i gode løsninger. På den måten kan heuristisk generering redusere problemet og det genereres gode løsninger, til tross for at det ikke kan garanteres at løsningene er optimale.

Modellene for generering av kolonner til AKM1 refereres til som G-AKM1, mens modellene for genereringen av kolonner til AKM3 refereres til som G-AKM3. I dette avsnittet er det valgt å presentere G-AKM3-modellene først. Årsaken til dette er at G-AKM3 modellene mer omfattende enn G-AKM1-modellene. Det er derfor hensiktsmessig å beskrive G-AKM3-modellene først, og deretter forklare G-AKM1-modellene baret på dette. For AKM3 presenteres tre genereringsmodeller; G-AKM3, G-AKM3-M og G-AKM3-O. I modell G-AKM3 genereres kolonnene eksakt, mens modellene G-AKM3-M og G-AKM3-MO er heuristiske genereringsmodeller for kolonner til AKM3. De karakteristiske bokstavene M og O i modellnavnene tilsvarer ulike heuristiske regler. For AKM1 presenteres to modeller; G-AKM1 og G-AKM1-O. Årsaken til at det kun presenteres to genereringsmodeller for AKM1 er at det ene heuristiske kravet som innføres for AKM3 (representert ved bokstaven M) ikke er gjennomførbart for genereringen av kolonner til AKM1.

5.7.1 Eksakt generering av kolonner til AKM3 (G-AKM3)

I alle G-AKM3-modellene lagres spesialismen mønsteret er generert for, pasientene som inngår i mønsteret, starttiden for de inngående pasientenes operasjoner, og siste tidsperiode som anvendes i mønsteret, for hvert mønster. Først genereres et *null-mønster* for hver spesialisme. Et null-mønster er et mønster der et rom åpnes men ingen pasienter timeplanlegges. Kostnaden av null-mønstrene tilsvarer kostnaden av å åpne et rom innen den gitte spesialismen, ingen pasienter inngår i mønsteret, og ingen tidsperioder anvendes. Ut ifra null-mønstrene genereres deretter mønstre med en eller flere pasienter.

Et mønster angis av mønsterindeksen m , på samme måte som når mønstrene tas inn i AKM-modellene. Mønsterindeksen m inngår i genereringsmodellene som en global variabel som oppdateres hver gang et nytt mønster genereres. Det vil si at verdien av m etter at alle null-mønstre er generert er startverdien for m i genereringen av mønster med en pasienter. Tre mengder introduseres; \mathcal{H}_g^G , og $\mathcal{I}_{g,h}^H$ og \mathcal{I}_{ghm}^{HM} . Mengden \mathcal{H}_g^G omfatter alle romtider for pasienter innen en spesialisme g . Mengden pasienter innen spesialisme g med romtid lik h lagres i mengden $\mathcal{I}_{g,h}^H$. Den spesialismespesifikke mengden \mathcal{I}_{ghm}^{HM} tilsvarer mengden av pasienter innen spesialisme g med romtid lik h som ikke er skjematag i mønster m .

Spesialismen mønsteret er generert for er gitt ved $\text{Spesialisme}(m)$. Mengden pasienter som inngår i mønster m er gitt av $\text{Pasienter}(m)$, mens $\text{Sistetid}(m)$ angir siste anvendte tidsperiode i mønsteret. Kostnaden av mønsteret er gitt av $\text{Kostnad}(m)$, og starttiden for pasientenes operasjoner er gitt ved mengden $\text{Starttider}(m)$. En oversikt over etikettene som inngår i ethvert mønster m er gitt i tabell 25.

Etikett	Forklaring
$\text{Spesialisme}(m)$	Spesialismen mønster m er generert for
$\text{Pasienter}(m)$	Mengden pasienter som inngår i mønster m
$\text{Sistetid}(m)$	Siste anvendte tidsperiode i mønster m
$\text{Starttider}(m)$	Mengden starttider for pasientene som inngår i mønster m
$\text{Kostnad}(m)$	Kostnaden av mønster m
\mathcal{I}_{ghm}^{HM}	Mengden av pasienter innen spesialisme g med romtid lik h som ikke er skjematag i mønster m

Tabell 25: Etikettene som inngår i et mønster

Genereringen av null-mønstre i G-AKM3-modellene er beskrevet i algoritme 1. På linje 1 setter mønsterindeksen m lik 0. På linje 3 oppdateres mønsterindeksen til $m + 1$. Linje 4 registrerer at mønster m er generert for spesialisme g . På linje 5 registrerer mengden av pasienter som er skjematlagt i mønsteret. For samtlige null-mønstre er dette en tom mengde ettersom ingen pasienter skjemalegges. På linje 6 registreres siste anvendte tidsperiode, som er lik 0 alle null-mønstrene. På linje 7 registreres mengden av og starttider som inngår i mønsteret som en tomme mengde, på samme måte som for mengden av pasienter, mens linje 8 registrerer kostnaden av mønster m , som tilsvarer kostnaden av å åpne et rom. På linje 10 knyttes alle romtidsesifikke mengder av pasienter til mønster m .

Algorithm 1 Generering av null-mønstre i G-AKM3-modellene

```

1:  $m = 0$ 
2: for all  $g \in \mathcal{G}$  do
3:    $m = m + 1$ 
4:   Spesialisme( $m$ ) =  $g$ 
5:   Pasienter( $m$ ) = []
6:   Sistetid( $m$ ) = 0
7:   Starttider( $m$ ) = []
8:   Kostnad( $m$ ) =  $\mathcal{C}_g^R$ 
9:   for all  $h \in \mathcal{H}_g^G$  do
10:     $\mathcal{I}_{gh}^H = \mathcal{I}_{ghm}^{HM}$ 

```

Etter null-mønstrene genereres mønstre med en eller flere pasienter. Mønstrene genereres ved å gjennomgå alle genererte mønstre og teste om det er mulig å legge til en ny pasient. For hvert genererte mønster forsøker en å legge til alle tillatte pasienter som ikke inngår i mønsteret fra før av, på alle tillatte plasser. Hver gang en lykkes med å legge til en ny pasient er et nytt mønster generert. Dermed gjentas prosedyren for neste mønster. Dette fortsetter til alle mønstre er gjennomgått og det ikke er mulig å legge til flere pasienter i noen av mønstrene. Pasienter forsøkes å legges til i et mønster av gangen. En teller, Pcnt, introduseres for å registrere hvilket mønster som er utgangspunktet for genereringen av nye mønstre. Dette mønsteret vil herved refereres til som det *foregående mønsteret*. Etter at alle pasienter som ikke inngår i det foregående mønster er forsøkt skjematlagt i alle mulige tidsperioder, oppdateres Pcnt med 1. Når alle genererte mønstre er gjennomgått og det ikke er mulig å legge til flere pasienter i noen av mønstrene er verdien av Pcnt lik antall genererte mønstre.

I genereringen av mønstre med pasienter i genereringsmodellen G-AKM3 legges alle

pasienter som inngår i den samme spesialismen som det foregående mønsteret er generert for i det foregående mønsteret. For å legge til pasienter kreves det at det er tilstrekkelig med tid til å fullføre pasientens operasjon innen stengetiden for operasjonsrommene og på PACU.

Den eksakte genereringsmodellen er beskrevet i algoritme 5. På linje 1 settes Pcnt lik 1. Det vil si at genereringen av mønstre starter på det første genererte mønsteret. Med andre ord, det første null-mønsteret. På linje 2 kreves det at indeksen for foregående mønster Pcnt er mindre eller lik antall genererte mønstre. Linje 3 krever at pasientene som legges til må tilhøre samme spesialisme som foregående mønster. Det vil si at g må være lik Spesialisme(Pcnt). Linje 4 gjennomgår alle romtidene innen spesialisme g , mens linje 6 gjennomgår alle pasienter som inngår i mengden av pasienter innen spesialisme g med romtid lik h som ikke er inkludert i foregående mønster. Linje 7 spesifiserer enhver tidsperiode etter siste anvendte tidsperiode i foregående mønster (Pcnt), der det er tilstrekkelig med tid til å fullføre operasjonen av pasient i dersom pasienten starter operasjon i tidsperiode t . På linje 8 oppdateres mønsterindeksen. Det vil si at et nytt mønster registreres. På linje 9 oppdateres alle etiketter for det nye mønsteret i henhold til prosedyren *Oppdater AKM3-mønster*. Prosedyren er beskrevet i algoritme 6. På linje 10 oppdateres verdien av Pcnt, før en går tilbake til linje 2.

Algorithm 2 Generering av mønstre med pasienter G-AKM3

```

1: Pcnt = 1
2: while Pcnt ≤ m do
3:   for all  $g = \text{Spesialisme}(\text{Pcnt})$  do
4:     for all  $h \in \mathcal{H}_g^G$  do
5:       if  $|\mathcal{I}_{ghPcnt}^{HM}| > 0$  then
6:         for all  $i \in \mathcal{I}_{ghPcnt}^{HM}$  do
7:           for all  $t \in \mathcal{T} \mid t \geq \text{LastTime}(\text{Pcnt}), t + \mathcal{T}_i^{OT} - 1 \leq \mathcal{T}^{TOT}$  do
8:             m = m + 1
9:             Oppdater AKM3-mønster
10:  Pcnt = Pcnt + 1

```

Algoritme 6 beskriver prosedyren *Oppdater AKM3-mønster*. Linje 1 registrerer spesialismen m er generert for lik spesialismen i foregående mønster, Spesialisme(Pcnt). På linje 2 oppdateres mengden av pasienter som inngår i mønster m , mens linje 3 oppdaterer siste anvendte tidsperiode. Siste anvendte tidsperiode settes lik tidsperioden da operasjonen av pasient i vil være ferdig om pasient i starter operasjon i tidsperiode t . På linje 4 legges t til som et nytt element i mengden start-

tider i mønster m , mens linje 5 registrerer kostnad av mønsteret lik kostnaden av å åpne et rom pluss eventuell overtidskostnad i mønster m . Linje 5 knytter alle romtid og mønsterspesifikke mengder av pasienter til mønster m , på liknende måte som i genereringen av null-mønstre i algoritme 1. Forskjellen er at de mønsterspesifikke mengdene i algoritme 1 tar utgangspunkt i de inngående mengdene for pasienter innen spesialisme g med romtid lik h , \mathcal{I}_{gh}^H , mens mengdene i algoritme 5 tar utgangspunkt i de mønsterspesifikke mengdene i foregående mønster, $\mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM}$. På linje 8 oppdateres mengden \mathcal{I}_{ghm}^{HM} ved å trekke fra den skjemalagte pasienten i fra mengden $\mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM}$.

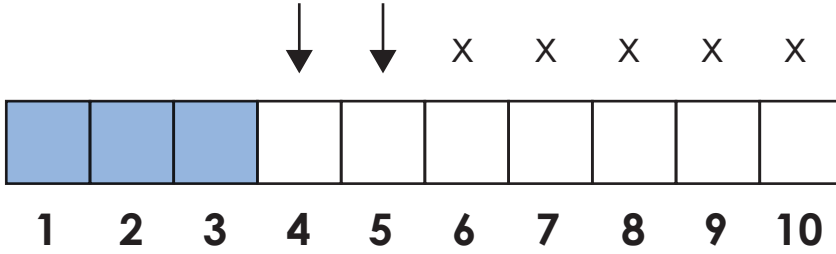
Algorithm 3 Oppdater AKM3-mønster

- 1: $\text{Spesialisme}(m) = \text{Spesialisme}(\text{Pcnt})$
 - 2: $\text{Pasienter}(m) = \text{Pasienter}(\text{Pcnt}) + \{i\}$
 - 3: $\text{Sistetid}(m) = t + \mathcal{T}_i^{OR} - 1$
 - 4: $\text{Starttider}(m) = \text{Starttider}(\text{Pcnt}) + \{t\}$
 - 5: $\text{Kostnad}(m) = \mathcal{C}_g^R + \max(0, \text{LastTime}(m) - T^{RT}) * \mathcal{C}^{OT}$
 - 6: **for all** $l \in \mathcal{H}_g^G$ **do**
 - 7: $\mathcal{I}_{glm}^{HM} = \mathcal{I}_{glPcnt}^{HM}$
 - 8: $\mathcal{I}_{ghm}^{HM} = \mathcal{I}_{ghm}^{HM} - \{i\}$
-

I modell AKM3R-modellene trekkes utsettelseskostnadene for pasientene som inngår i et mønster m fra kostnaden av mønsteret. Et alternativ er å generere egne mønstre til disse to modellene der kostnaden av mønster er formulert i genereringsmodellen. Ettersom dette kreves at det genereres egne kolonner til AKM3R-modellene er knyttes fortjenesten av skjemalagte pasienter til kostanden av mønstre i AKM3R-modelle fremfor i genereringsmodellene.

5.7.2 Heuristisk modell (1) for generering av kolonner til AKM3 (G-AKM3-M)

I modellen G-AKM3-M genereres mønstre heuristisk. Modellen tilsvarende G-AKM3 men har tilleggskrav om at det maksimalt kan være en tidsperiode mellom skjemalagte operasjoner. Hvis en pasient j eksempelvis skal skjemalegges etter en pasient i kan det maksimalt være en tidsperiode mellom sluttiden for operasjonen av pasient i og starttiden for operasjonen av pasient j . Figur 18 illustrerer hvor pasient j i dette tilfellet kan skjemalegges og ikke. I figuren er en skjemalegt pasient markert i blått. Pilene illustrerer tidsperiodene der det er tillatt til å skjemalegge neste pasient, mens kryss indikerer tidsperioder der det ikke er tillatt å skjemalegge neste pasient.



Figur 18: Genereringen av kolonner i G-AKM3-M

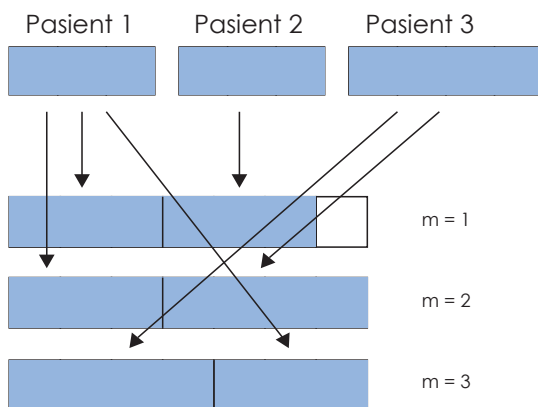
Kravet om maksimalt en tidsperiode mellom skjemalagte operasjoner inntreffer kun for mønstre med minst to pasienter. Derfor er genereringen av mønstre i G-AKM3-M delt opp i tre deler. Først genereres alle null-mønstre. Genereringen av null-mønstrene er lik som i G-AKM3. Deretter genereres mønstre med en pasient. Genereringen av en-pasient mønstrene likner på genereringen av mønstre med flere pasienter i G-AKM3 (beskrevet i algoritme 5). Det eneste som skiller de to genereringsprosedyrene er kriteriet for når en skal slutte å generere nye mønstre. Mens genereringen av mønstre med flere pasienter i G-AKM3 gjennomgår alle genererte mønstre og forsøker å legge til en ny pasient på alle mulige plasser, stopper genereringen av mønstre med en pasient i G-AKM3-M når alle null-mønstrene er gjennomgått. Genereringen av en-pasient mønstre i G-AKM3-M fortsetter altså så lenge telleren $Pcnt$ er mindre eller lik antall null-mønstre, som tilsvarer antall spesialiserer.

I steg tre genereres mønstre med flere pasienter. Etersom mønstre med en pasient allerede generert i G-AKM3-M, må $Pcnt$ i dette tilfellet starte på verdien lik antall spesialiserer pluss en. Det tilsvarer det første en-pasient mønsteret. Nye mønstre genereres frem til det ikke er mulig å legge til noen flere pasienter i noen mønstre. Kravet for hvor lenge prosedyren av å generere nye mønstre fortsetter er altså det samme som i genereringen av mønstre med flere pasienter i G-AKM3 (i algoritme 5); til $Pcnt$ er lik antall genererte mønstre. I tillegg inkluderes kravet om maksimalt en tidsperiode mellom operasjoner i et mønster. Kravet for når en ny pasient kan skjemalegges (på linje 7 i algoritme 5) er altså som følger i genereringen av mønstre med flere pasienter i G-AKM3-M:

$$t \in \mathcal{T} \mid t \geq \text{LastTime}(Pcnt), t + \mathcal{T}_i^{OT} - 1 \leq \mathcal{T}^{TOT}, t < \text{LastTime}(Pcnt) + 3 \quad (57)$$

5.7.3 Heuristisk modell (2) for generering av kolonner til AKM3 (G-AKM3-MO)

I modellen G-AKM3-MO inkluderes et nytt heuristisk krav. I tillegg til krav om maksimalt en tidsperiode mellom operasjoner innføres krav til rekkefølgen av pasienter med lik romtid. Det kreves at pasienter innen en spesialisme g med lik romtid h skjema legges i henhold til pasientenes indekser i mengden $\mathcal{I}_{g,h}^H$ i ethvert mønster. Figur 19 illustrerer et eksempel for det nye heuristiske kravet (som spesifiseres med O i modellnavnet). I eksempelet har Pasient 1 og Pasient 2 samme romtid, der Pasient 1 har lavere indeks enn Pasient 2 i den respektive mengden av pasienter med lik romtid, \mathcal{I}_{ghm}^{HM} . Følgelig skjema legges alltid Pasient 1 før Pasient 2 i dette eksempelet.



Figur 19: Det heuristiske kravet om skjema legging i henhold til romtider i genereringsmodellen G-AKM3-MO

Genereringen av mønster i G-AKM3-MO er tredelt, som i G-AKM3-M. Genereringen av null mønster er lik som i modellene G-AKM3. For å skjema legge pasienter i henhold til pasientenes indeks i mengdene $\mathcal{I}_{g,h}^H$ skjema legges alltid pivotpasientene i mengdene \mathcal{I}_{ghm}^{HM} . Kravet inkluderes i betingelsen for hvilke pasienter som skjema legges, på linje 6 i algoritmen for generering av mønstre med flere pasienter i G-AKM3 (algoritme 5). Når en pasient i skjema legges i et mønster m fjernes pasienten fra den respektive mengden \mathcal{I}_{ghm}^{HM} (i prosedyren oppdater mønster (2) i algoritme 6). På den måten er alltid pivotpasienten i en mengde \mathcal{I}_{ghm}^{HM} en ikke-skjemalagt pasient. Mengdene oppdateres til alle inngående pasienter er skjema lagt, eller det ikke er plass til flere pasienter i noe mønster. Foruten kravet om at pasienter som skjema legges må være en pivotmasient i en mengde \mathcal{I}_{ghm}^{HM} er genereringen av mønstre både med en og

med flere pasienter i G-AKM3-MO er lik som i G-AKM3-M.

Genereringen av mønstre med en eller flere pasienter foregår på samme måte, men bruker telleren Pcnt for å registrere det foregående mønsteret. For å legge til en pasient i kreves det at pasienten inngår i samme spesialisme som i foregående mønster, $\text{Spesialisme}(\text{Pcnt})$. Kravet om maksimalt en tidsperiode mellom operasjoner i et mønster inngår i G-AKM3-MO på samme måte som i G-AKM3-M. Det kreves altså at tidsperioden en pasient skjemalegges i maksimalt er to verdier større enn den siste anvendte tidsperioden i det foregående mønsteret, $\text{LastTime}(\text{Pcnt})$. For-løkken for tidsperioder tilsvarer altså likning (57) fra G-AKM3-M. Mengdene \mathcal{I}_{ghm}^{HM} oppdateres på samme måte som i Algoritme 6.

5.7.4 Generering av kolonner til AKM1 (G-AKM1 og G-AKM1-M)

Mønstrene som genereres til AKM1 modellene gir informasjon om spesialismen mønsteret er generert for, pasientene som inngår i mønsteret og antall tidsperioder som anvendes i mønsteret. Ettersom et mønster ikke gir informasjon om starttiden for operasjoner modelleres ikke tid eksplisitt. Tid inngår heller som en knapsack-restrisjjon, der tid til rådighet er lik den totale åpningstiden for operasjonrommene, \mathcal{T}^{TOT} . Tid modelleres ofte på samme måte i *Advance Scheduling* problemer i litteraturen (se kapittel ??).

Ettersom pasientene ikke skjemalegges i mønstrene, må overtid fastsettes i masterproblemet. Kostnaden av overtid knyttes dermed ikke til kostnaden av et mønster. For AKM1-modellene med fortjenesteformulering (AKM1R og AKM1RS) trekkes også utsettelseskostnaden for skjemalegte pasienter fra kostnaden av et mønster i masterproblemet, på samme måte som i de tilsvarende AKM3-modellene (AKM3R og AKM3RS). Kostnaden som knyttes til et mønster i G-AKM1 inkluderer dermed kun kostnaden av å åpne et rom. Ettersom denne er konstant knytts den ikke til mønstre. Kostnad av mønster inngår derfor ikke i G-AKM1.

I modellen G-AKM1 genereres mønstre eksakt. Genereringen er todelt og deles opp i generering av null-mønstre og generering av mønstre med pasienter, på samme måte som i G-AKM3. Genereringen av null-mønstre og oppdateringen av mønstre er lik som i G-AKM3 men inkluderer ikke siste anvendte tidsperiode, $\text{LastTime}(m)$, kostnaden av et mønster, $\text{Kostnad}(m)$ eller starttider for inngående pasienter, $\text{Starttid}(m)$. I stedet for siste anvendte tidsperiode, $\text{LastTime}(m)$, lagres antall anvendte tidsperioder i hvert mønster m . Dette tilsvarer summen av romtiden for alle pasientene

som inngår i mønsteret.

Ettersom pasienter ikke skjemalegges til tidsperioder, men allokeres til rom, inngår ikke krav om hvilke tidsperioder pasienter skal skjemalegges i. Alle for-løkker for tidsperioder utgår altså i G-AKM1. Sett bort ifra oppdateringen av mønsterspesifikke parametere både i nullmønstrene og i mønstrene med en og flere pasienter (tilsvarende prosedyren *oppdater mønster (2)*), samt kravet om tidsperiodene pasienter skal skjemalegges i, er genereringen av alle mønstre i G-AKM1 lik som i G-AKM3.

I modellen G-AKM1-O innføres det samme heuristiske kravet som i G-AKM3-MO; pasienter innen samme spesialisering med lik operasjonsromtid må legges til i henhold til rekkefølgen av pasientene i mengdene $\mathcal{I}_{g,h}^H$. Genereringen av mønstre er tredelt. Sett bort ifra oppdateringen av mønsterspesifikke parametere og kravet om hvilke tidsperioder pasienter skal skjemalegges i er genereringen av mønstre lik som i G-AKM3-MO.

6 Problemet for Sydvestjysk Sygehus

En stor del av denne oppgaven har vært å analysere dagens prosedyre for operasjonsplanleggingen på Sydvestjysk Sygehus (heretter forkortet til SVJS). Grunnlaget for problembeskrivelsen som presenteres i dette kapittelet er intervju med sykehuspersonell samt analyse av historisk data. Den historiske dataen består av reell romtid og inngrepsstid for alle utførte operasjoner på SVJS i 2010, i tillegg til informasjon om PACU-opphold for operasjonene innen hver spesialisme. I dette kapittelet presenteres problemet for SVJS. Sykehuset er hovedkilde for informasjon om prosedyren for operasjonsplanlegging på sykehus, i tillegg til historisk data. På den måten har problemet også vært medvirkende i modellene i kapittel 5. Problemet er implementert og testet i kapittel 7.

SVJS er et regionalt sykehus i Danmark, med 2800 ansatte og rundt 41000 årlige innleggelser og 18000 operasjonstyper (Sydvestjysk, 2014). Sykehuset er fordelt mellom to lokasjoner; Sydvestjysk Sygehus Grindsted og Sydvestjysk Sygehus Esbjerg. Innen de to lokasjonene er operasjoner utført på tre avdelinger; en ortopedisk avdeling på SVJS Grindsted, en dagpasientavdeling på SVJS Esbjerg, og en innpasientavdeling på SVJS Esbjerg. Den ortopediske avdelingen på SVJS Grindsted behandler hovedsakelig elektive pasienter med operasjonstyper innen ortopedi, dagpasientavdelingen på SVJS Esbjerg behandler dagpasienter, mens innpasientavdeling på SVJS Esbjerg behandler innpasienter innen fem spesialismer; gynekologi, ortopedi, perenkymkirurgi, urologi, og øre-nese-hals (engelsk: otorhinolaryngology, forkortet til ØNH). Fokuset i denne oppgaven er innpasientavdeling på SVJS Esbjerg. Avdelingen refereres herved til som *den Sentrale Operasjonsgangen*.

Den Sentrale Operasjonsgangen inkluderer de fem nevnte spesialismene og 12 operasjonsrom (forkortet til rom). Rommene er til en viss grad multifunksjonelle, det vil si at de er utstyrt til å håndtere operasjoner fra flere spesialismer. Dette er imidlertid ikke anvendt i praksis, hvor alle rom er tilegnet en spesifikk spesialisme, med unntak av rom 12. Tabell 26 gir en oversikt over hvilke rom som er tilknyttet hvilke spesialismer. Rom 2 er i dag stengt og brukes som lager for utstyr for operasjoner innen ortopedi. om 12 kun kan behandle enkelte av operasjonstypene innen ØNH.

Hendelsesforløpet for operasjoner er i henhold til beskrivelsen i avsnitt 2.3. SVJS inkluderer ikke et dedikert klargjøringsrom. Klargjøringen av pasientene finner altså sted på rommene. Hele klargjøringstiden inkluderes følgelig i romtiden. Enhver ope-

	OR1	OR2	OR3	OR4	OR5	OR6	OR7	OR8	OR9	OR10	OR11	OR12
<i>Ortopedi</i>		*										
Urologi												
Parenkymkirurgi												
<i>Øre-Nese-Hals</i>												**
Gynekologi												

Tabell 26: Fordelingen av rom på den Sentrale Operasjonsgangen på SVJS. Rom 2 er for øyeblikket stengt, mens rom 12 kun kan behandle enkelte av operasjonstypene innen ØNH. To type operasjonssykepleiere er fordelt mellom de fem spesialismene. Spesialismene som bruker operasjonssykepleiere av type 1 og 2 er markert ved å bruke kursiv og vanlig skrifttype for spesialismene respektivt.

rasjon krever en kirurg og to operasjonssykepleiere. Dette er det mest vanlige tilfellet, men veldig kompliserte operasjoner kan kreve flere kirurger og operasjonssykepleiere. Operasjoner som inkluderer bedøvelse krever i tillegg en anestesilege. Anestesisykepleieren er tilstede under anestesitiden, men trengs i den videre operasjonen, med mindre det oppstår komplikasjoner. I tillegg inngår en mengde portører som frakter pasientene mellom rom, oppvåkingsavdelinger og sengepostene. Rengjøringspersonell trengs for rengjøring av rommene i etterkant av operasjonene.

Kirurger er fordelt til rom på en daglig basis. Det vil si at kirurgene vanligvis ikke behandler pasienter på flere rom i løpet av en arbeidsdag. Ved ankomst av akutt pasienter vil imidlertid kirurger som er egnet til å operere den pasienten bytte rom dersom et annet operasjonsrom er ledig i tidspunktet akutt pasienten ankommer. Kirurgen kan være egnet til å håndtere operasjoner innen en eller flere spesialismer, avhengig av kirurgens karakteristikk. Kirurgene anses i dag som den knappeste ressursen på den Sentrale Operasjonsgangen.

Operasjonssykepleiere er delt i to grupper avhengig hvilke spesialismer de kan allokere til. Spesialismene de to typene operasjonssykepleiere kan fordeles til er vist i figur 26. Spesialismene som bruker de to typene operasjonssykepleiere er markert ved å skille mellom kursiv og vanlig skrifttype for spesialismene. Per dags dato er det mer enn nok operasjonssykepleiere tilgjengelig i forhold til antall pasienter som behandles på den Sentrale Operasjonsgangen. Operasjonssykepleierene anses derfor ikke som en knapp ressurs på SVJS i dag.

Ettersom anestesilegene er tilstede i starten av operasjonene, for operasjonene som inkluderer bedøvelse, er anestesilegene ofte en knapp ressurs om morgenen da det gjerne starter mange operasjoner innen et kort tidsintervall. Ut over dagen reduseres gjerne antallet operasjoner med overlappende anestesitid, ettersom starttiden

for operasjoner gjerne jevnes ut utover dagen. Anestesisykepleiere anses ikke som en knapp resurs på SVJS.

Erfaringer indikerer at varigheten av operasjonsprosedyrene avhenger av operasjonstype, pasientens helsetilstand og kirurgen eller kirurgene som utfører inngrepet. PACU- opphold antas å avhenge av operasjonstype, bedøvelsen som er brukt og pasientens helsetilstand.

Elektive operasjoner finner sted mandag til fredag mellom klokken 08.30 og 15.00. Regulær åpningstid for rommene er altså 7.5 timer. I tillegg er overtid tilgjengelig. Det er ingen fastbestemt grense for maksimal overtid, og hvor sent en operasjon startes, og følgelig avsluttes, avhenger av kirurgen som skal utføre operasjonen.

Akuttpasienter gis prioritet 1, 2 eller 3, der pasienter med prioritet 1 skal opereres innen 15 minutter, pasienter med prioritet 2 skal behandles innen 20 minutter, og pasienter med prioritet 3 skal behandles innen en time. Hastepasienter skal behandles innen 24 timer. Akuttpatientenes prioriteter bestemmes av kirurgene som behandler pasientene. Sykehuset prestasjoner evalueres blant annet på grunnlag av hvor ofte grensen for ventetid for pasientene av de ulike prioritettene overholdes.

Oppvåkningssenger på PACU er ikke ansett som en knapp ressurs innen den Sentrale Operasjonsgangen. Etersom PACU inkluderer personell er det likevell ønskelig å ha en jevne ut strømmen av pasienter som ankommer PACU, slik at behovet for sykepleiere på PACU følgelig jevnes ut over dagen.

Prosedyren for skjemalegging av pasienter på den Sentrale Operasjonsgangen er i dag delvis desentralisert. Skjemaleggingen gjøres manuelt. Skjemaleggingen av pasienter innen ortopedisk spesialisme gjøres separert fra skjemaleggingen av pasienter innen de øvrige spesialismene. Det jobbes i dag for å samle skjemaleggingen av alle pasientene innen den Sentrale Operasjonsgangen. I tillegg ønskes det å frigjøre operasjonsrommenes tilknytning til spesialismer, slik at pasienter fra flere spesialismer kan behandles på samme rom. Sykehuset opplever det som et problem at for mange elektive pasienter utsettes, og nye metoder for operasjonsplanleggingen, inkludert bruken av dataverktøy, er ønsket.

7 Resultater og analyse

I dette kapittelet presenteres resultater fra testing og analyse av modellene i kapittel 5. Formålet med analysen er å teste modellenes prestasjoner i løsningen av DOP. I tillegg presenteres en problemspesifikk analyse der betydningen av ulike problemkarakteristikker er testet. Kapittelet er bygd opp på følgende måte: Først gis en kort beskrivelse av databehandling og implementeringen av testinstansene i avsnitt 7.1. I avsnitt 7.2 presenteres en analyse av genereringsmodellenes prestasjoner for problemer av økende størrelse. I avsnitt 7.3 sammenlignes Basismodellen og de to AKM-modellene AKM1 og AKM3 for å evaluere hvilken modell som presterer best. Til slutt brukes den beste modellen i en problemspesifikk analyse der effekten av ulike problemkarakteristikker er testet. Den problemspesifikke analysen er presentert i avsnittene 7.4, 7.5 og 7.6, der henholdsvis effekten av spesialisering, inkluderingen av ikke-elektive pasienter og bruk av overtid evalueres.

7.1 Data og implementering

Testinstansene er generert basert på tilgjengelig data og informasjon fra SVJS. Den tilgjengelige datamengden består av inngrepsstid, romtid og PACU-tid for operasjoner utført på SVJS i år 2010. Reelle data er brukt så langt det er mulig. Der informasjon ikke er tilgjengelig, er verdiene estimert etter beste evne. Alle verdier er antatt eksakte og kjente. Altså er modellene deterministiske. Inngrepsstid er estimert ved bruk av log-normalfordeling. For å gjøre timeplanene mer robuste, er en slakk inkludert i inngrepsstiden for hver operasjonstype. Slakken avhenger av variansen av inngrepsidene og er satt slik at sannsynligheten for forsinkelse, for enhver operasjon, er 0.3. Etersom PACU-oppholdene i den historiske datamengden ikke spesifiserer operasjonstypene som er tilknyttet de ulike tidene, er PACU-opphold er antatt likt for alle pasienter innen en spesialisering. Pasientenes PACU-oppholdet er estimert som gjennomsnittlig PACU-opphold innen en spesialisering.

Kostnadene satt slik at forholdet mellom dem er fornuftig. Eksempelvis er kostnaden for utsettelse av pasienter satt høyere enn alle andre kostnader, ettersom utsettelse av pasienter er siste alternativ. På samme måte er kostnaden av å åpne et rom satt litt høyere enn maksimal overtidskostnad på et rom for å fremme at all overtid anvendes før et nytt rom åpnes. Kostnadene for utsettelse av pasienter er knyttet til hver pasient. Utsettelseskostnaden er satt som funksjon av pasientens romtid pluss et vilkårlig tillegg. Hensikten er delvis å modellere prioritering av pasienter, delvis å

redusere graden av symmetri i problemet.

Tid er modellert diskret. I testene er det brukt tre tidsdiskretiseringer; 10, 15 og 20 minutter. Det vil si at tidsperiodene er henholdsvis 10, 15 eller 20 minutter lange. Tidsdiskretisering på 20 minutter gir den groveste oppdelingen av tid og reduserer problemet mest, mens 10 minutters tidsdiskretisering gir det største av problemene for en gitt instans. For å understreke at fin tidsdiskretisering i høyest grad tilsvare det reelle problemet og følgelig vil gi best løsninger er tidsintervall alltid avrundet oppover. På den måten vil grov tidsdiskretisering kunne føre til at operasjoner modelleres som lenger enn med fin tidsdiskretisering. Eksempelvis vil en operasjon som i realiteten har estimert romtid lik 70 minutter tilsvare 7, 5 og 4 tidsperioder med henholdsvis 10, 15 og 20 minutters tidsdiskretisering. Med en tidsdiskretisering på 10 minutter modelleres romtiden som 70 minutter, mens tidsdiskretisering på 15 og 20 minutter henholdsvislik gir romtid lik 75 og 80 minutter.

Testingen av DOP-modellene er gjort ved bruk av tilgjengelig kommersiell programvare. Modellene er skrevet i Express Mosel Version 3.6.0 og løst i Xpress Optimizer Version 26.01.04. Modellene er kjørt på Intel @Core™ i7-3770 CPU 3.40GHz, med 16,0 GB RAM. Kjøringene stoppes enten når optimal løsning er funnet, eller når øvre grense for kjøretid er nådd. Den øvre grensen for kjøretid varierer mellom de ulike testene, og vil derfor bli spesifisert for hver test.

7.2 Test av genereringsmodellene med økende instans

Generatormodellene er testet for instanser med en spesialisisme og et økende antall pasienter. Formålet er å evaluere håndterbar problemstørrelse for genereringsmodellene. Antall pasienter er økt stegvis fra 5 til 30. I tillegg testes en instans med 35 pasienter, som tilsvare størrelsen av et tilfeldig trukket problem for SVJS. I det reelle problemet er de 35 pasientene fordelt på fire spesialismer.

Resultatene fra testene er presentert i tabell 27, 28 og 29. Tabellene presenterer antall genererte mønstre og løsnings tid for de økende instansene for hver tidsdiskretisering. Øvre grense for kjøretid er satt til 3 timer (10800 sekunder). Dersom en modell ikke har generert alle mønstre for en instans innen 3 timer, markeres dette med strek den respektive cellen.

Resultatene viser at heuristisk generering av kolonner reduserer problemstørrelsene betydelig. Med en tidsdiskretisering på 10 minutter klarer likevell ingen av genereringsmodellene å generere kolonner for instanser med mer en 12 pasienter innen 3 timer. Dette viser at genereringsmodellene er begrensede for problemstørrelsen som kan løses i AKM-modellene.

For instansene med tidsdiskretisering på 20 minutter er forskjellen mellom problemstørrelsene som håndteres i G-AKM3-M og G-AKM3-MO betydelig større enn forskjellen mellom problemstørrelsen som håndteres i G-AKM3-M og G-AKM3. Dette tilsier at tilleggskravet om å skjemalegge pasienter med lik operasjonsromtid i en spesiell rekkefølge, som legges til i G-AKM3-MO, i dette tilfellet reduserer flere kolonner enn tilleggskravet som innføres i G-AKM3-M. I resultatene fra testen med en tidsdiskretisering på 15 minutter (i Tabell 28) reduseres forskjellen mellom G-AKM3-M og G-AKM3-MO.

Antall mønstre og løsningstid eskalerer ved et visst antall pasienter. Det henger sammen med at antall kombinasjoner i et utvalg akselererer ettersom utvalget øker. I enkelte tilfeller påvirker ikke økning av antallet pasienter antall mønstre eller løsningstid. Dette gjelder kun for modellene der den heuristiske regelen om ordnet skjemalegging av pasienter med lik romtid (markert med O i modellnavnet). For eksempel gir både 17, 18 og 19 pasienter 1140 mønstre for G-AKM3-MO med en tidsdiskretisering på 20 minutter. Dette skyldes trolig at pasientene som legges til inngår i en mengde av pasienter med en gitt romtid der det ikke er plass til å skjemalegge alle pasientene. Ettersom pasientene i disse mengdene alltid skjemalegges i henhold til pasientenes indeks vil inkluderingen av en ny pasient i dette tilfellet kun føre til at en ekstra pasient i mengden ikke skjemalegges i noen mønstre.

Når tidsdiskretiseringen reduseres fra 20 til 15 minutter påvirkes håndterbar problemstørrelse for genereringsmodellene til AKM3 mer enn det kritiske antallet pasienter for genereringsmodellene til AKM1. Dette henger sammen med at antall mønstre for en instans i AKM1 er mindre enn antall mønstrene for samme instansen i AKM3. Det medfører at modellene for genereringen av kolonner til AKM1 generelt sett håndterer større problemstørrelser enn modellene for generering av kolonner til AKM3. Når tidsdiskretiseringen reduseres ytterligere til 10 minutter, blir det kritiske antallet pasienter i AKM1 mest påvirket. Dette henger sammen med at økningen i antall mønstre akselererer ettersom pasienter legges til.

7.2 Test av genereringsmodellene med økende instans

Antall pasienter	G-AKM3	G-AKM3-M	G-AKM3-MO	Generator 4	G-AKM1-O
5	19639 6.13	4429 0.46	1340 0.11	206 0.01	60 0.02
6	50990 42.34	12028 2.51	7195 3.30	517 0.03	69 0.01
7	115085 433.24	27741 11.98	1656 0.21	1100 0.06	70 0.01
8	-	102871 280.36	7194 3.54	4361 0.56	525 0.02
9	-	205864 2094.07	7195 3.27	9130 1.92	253 0.01
10	-	379107 9106.70	7195 3.58	17381 4.77	253 0.01
11	-	-	21743 31.51	[37112] 20.54	[821] 0.11
12	-	-	[21743] 31.93	[62065] 61.45	[821] 0.07
13	-	-	[25544] 55.49	[65438] 76.01	[1082] 0.10
14	-	-	[26092] 57.89	[91061] 195.49	[1139] 0.14
15	-	-	[26092] 56.55	[139012] 769.31	[1139] 0.13
16	-	-	[22303] 32.81	[256577] 3565.72	[1139] 0.14
17	-	-	[26104] 58.67	[263498] 3546.00	[1140] 0.12
18	-	-	[26104] 59.07	[371365] 8219.09	[1140] 0.14
19	-	-	[26104] 60.70	- -	[1140] 0.12
20	-	-	[26104] 60.38	- -	[1140] 0.14
21	-	-	[27254] 64.70	- -	[1222] 0.12
22	-	-	[27254] 65.06	- -	[1222] 0.13
23	-	-	[27254] 65.42	- -	[1222] 0.13
24	-	-	[59446] 306.52	- -	[2281] 0.13
25	-	-	[59446] 323.32	- -	[2281] 0.39
26	-	-	[85865] 693.09	- -	[3219] 0.39
27	-	-	[85865] 670.28	- -	[3219] 0.75
28	-	-	[85865] 743.38	- -	[3219] 0.79
29	-	-	[97061] 901.88	- -	[3630] 0.98
30	-	-	[149577] 3844.86	- -	[4931] 1.87
35	-	-	- -	- -	[8908] 6.91

Tabell 27: Resultater for genereringsmodellene med en tidsdiskretisering på 20 minutter per tidsperiode.

7 Resultater og analyse

Antall pasienter	G-AKM3	G-AKM3-M	G-AKM3-MO	Generator 4	G-AKM1-O
5	[205308] 1922.35	[16084] 4.29	[8398] 4.13	[326] 0.01	[171] 0.02
6	-	[66913] 83.67	[13238] 10.78	[1237] 0.05	[244] 0.02
7	-	[194535] 1880.00	[22019] 29.89	[4340] 0.37	[486] 0.05
8	-	-	[105220] 1093.27	[15281] 3.71	[1759] 0.26
9	-	-	[118696] 1552.69	[38890] 22.45	[2106] 0.46
10	-	-	[120753] 1451.36	[88661] 166.87	[2202] 0.35
11	-	-	-	[231512] 2786.36	[7318] 4.07
12	-	-	-	-	[7809] 4.49
13	-	-	-	-	[9941] 8.71
14	-	-	-	-	[12485] 13.80
15	-	-	-	-	[12552] 13.81
16	-	-	-	-	[12560] 13.91
17	-	-	-	-	[13065] 15.25
18	-	-	-	-	[13078] 15.51
19	-	-	-	-	[13078] 15.15
20	-	-	-	-	[13099] 15.67
21	-	-	-	-	[20471] 38.06
22	-	-	-	-	[20471] 38.64
23	-	-	-	-	[20471] 38.81
24	-	-	-	-	[36444] 120.18
25	-	-	-	-	[36444] 122.94
26	-	-	-	-	[36444] 124.73
27	-	-	-	-	[36444] 120.93
28	-	-	-	-	[36444] 123.39
29	-	-	-	-	[55738] 285.73
30	-	-	-	-	[72307] 496.22
35	-	-	-	-	[119073] 1696.64

Tabell 28: Resultater for genereringsmodellene med en tidsdiskretisering på 15 minutter per tidsperiode.

7.2 Test av genereringsmodellene med økende instans

Antall pasienter	G-AKM3	G-AKM3-M	G-AKM3-MO	Generator 4	G-AKM1-O
5	-	53623 47.63	27442 54.53	326 0.01	171 0.01
6	-	351343 7582.78	62878 302.99	1957 0.10	11794 12.58
7	-	-	-	8660 1.32	1628 0.23
8	-	-	-	64241 67.17	11794 12.28
9	-	-	-	270730 4002.11	27546 67.38
10	-	-	-	-	36237 115.95
11	-	-	-	-	145524 3251.92
12	-	-	-	-	163730 4696.13
13	-	-	-	-	-

Tabell 29: Resultater for genereringsmodellene med en tidsdiskretisering på 10 minutter per tidsperiode.

7.3 Sammenligning av AKM-modellene og Basismodellen

Analysene av AKM-modellene og Basismodellen består av fire deler. Først presenteres resultatene fra testingen av Basismodellen. Deretter presenteres resultater og analyse av AKM3 og AKM1. Til slutt presenteres den felles sammenligningen der den beste av alle modellene skal bestemmes.

Modellene er testet på problemer av liten, medium og stor størrelse, som tilsvarer instanser med henholdsvis 10, 20 og 30 pasienter. For hver problemstørrelse testes modellene for tre ulike tidsdiskretiseringer (20, 15 og 10 minutter) og tre tilfeldige plukkede dager. Dette utgjør tilsammen 27 testinstanser.

Analysene av AKM-modellene består av to analyser. I den første analysen sammenlignes målfunksjonsverdiene fra de ulike AKM-formuleringene i en rekke t-tester. I en t-test utføres en parvis sammenligning av målfunksjonsverdiene for to modeller. I resultatet oppgis gjennomsnittlig målfunksjonsverdi for hver av modellene. I tillegg oppgis sannsynligheten for avviket i gjennomsnittsverdiene, gitt en nullhypotese om at gjennomsnittsverdiene i realiteten er like. Det vil si at t-testen oppgir sannsynligheten for at avviket i gjennomsnittlig målfunksjonsverdi inntreffer ved ren tilfeldighet. For å anta at en modellformulering er bedre enn en annen må denne sannsynligheten være liten. I denne oppgaven fastsettes en grense på 5 prosent sannsynlighet for å kunne anta at en formulering presterer bedre enn en annen. Dersom avviket er mer enn 5 prosent kan en altså ikke si hvilken modell som er best basert på t-testen.

For å få et mest mulig robust resultat inkluderes samtlige instanser som er testet på modellene i utvalget i t-testene. Inkludering av alle tester øker i tillegg sannsynligheten for at t-testen gir grunnlag for å si hvilken av modellformuleringene som presterer best.

I den andre AKM-analysen evalueres løsningene med de ulike genereringsmodellene. Ettersom håndterbar problemstørrelse er forskjellig for de ulike genereringsmodellene, er det vanskelig å sammenligne modellprestasjonene for instanser av ulik størrelse. Genereringsmodellene sammenlignes derfor for hver av de tre instansstørrelse separat. Måler med sammenligningen er da å bestemme hvilken genereringsmodell som gir best resultater for problemer av ulik størrelse.

På grunn av færre testresultater for hver sammenligning, sammenlignes genereringsmodellene i en empirisk analyse. I den empiriske analysen sammelignes løsningene

for en gitt AKM-modell med bruk av de ulike genereringsmodellene, for hver instansstørrelse. Basert på dette fastsettes den beste genereringsmodellen for en AKM-modell og problemstørrelse. Ettersom de ulike generatormodellene i mange tilfeller gir like resultater, må mer enn et prestasjonsmål brukes i sammenligningen av modellene. En liste over prioriterte prestasjonsmål defineres derfor for sammenligningen av genereringsmodellene.

Basert på informasjonen om hvilken genereringsmodell som gir best resultat for en gitt instansstørrelse og AKM-formulering kan generatormodellenes totale prestasjoner sammenlignes basert på hvor ofte hver av modellene gir best resultater. På grunn av ulik håndterbar problemstørrelse skiller det mellom sammenligning av genereringsmodellene når alle instanser inkluderes, og sammenligningen av modellene ut ifra instansene der alle modellene gir løsninger. I den første sammenligningen er verdien av en løsning like stor som verdien av en god løsning, mens den andre sammenligningen kun vurderer hvilken modell som gir beste løsninger.

7.3.1 Prioriterte prestasjonsmål for vurdering av generatormodellene

Den prioriterte rekkefølgen for evaluering av generatormodellene er som følger:

- Målfunksjoneverdi
- LP-verdi
- Løsningstid
- Gap

Prioriteringslisten gir rekkefølgen for prestasjonsmålene som brukes for å bestemme om en generatormodell er bedre enn en annen. Hovedformålet med alle modellene til DOP er å generere så gode operasjonstimeplaner som mulig. Ettersom målfunksjonsverdien indikerer hvor gode løsninger som finnes er målfunksjonsverdiene som finnes første prioritet i evalueringen av generatormodellene. Det vil si at generatormodellen som gir best målfunksjonsverdi for en gitt instans og AKM-formulering ansees som den beste modellen for denne instansen.

Prestasjonsmålet med nest høyest prioritet er LP-verdi. Årsaken er at en god LP-løsning indikerer en stram modellformulering og tilsier at modellen gir et godt utgangspunkt for alternative (heuristiske) løsningsmetoder. Generatormodellen som gir best LP-løsning (det vil si høyest LP-løsning for en min funksjon) vurderes altså som

best i tilfeller der alle generatormodellene gir samme målfunksjonsverdi for en gitt instans og AKM-formulering.

Dersom også LP-løsningene for de ulike generatormodellene er like vurderes generatormodellenes prestasjoner basert på løsnings tiden for AKM-formuleringen med kolonner fra de ulike genereringsmodellene. Grunnen til at LP-løsningen prioriteres fremfor løsnings tid er at løsnings tiden ikke ansees som kritisk for DOP i dette tilfellet. Dette er basert på at operasjonsplanene genereres på en daglig basis samtidig som gresen for kjøretid er satt til en time i denne testen. I tillegg viser analysen av Genereringsmodellene i avsnitt 7.2 at det ikke nødvendigvis er løsnings tiden for AKM-modellene med for genereringen av kolonner i Generator-modellene som eventuelt er begrensende.

Dersom både målfunksjoneverdi, LP-løsning og løsnings tid blir lik med alle genereringsmodellene evalueres modellene ut ifra avviket mellom beste løsning og beste grense (referert til som gap). Gapet gir informasjon om intervallet den optimal løsningen ligger innen. Ettersom gapet avhenger av beste nedre grense, som er ukjent, kan gapet i midlertid ikke brukes for å stadfeste hvor langt unna optimal løsning den beste løsningen er. Gapet gir altså informasjon om hvor langt det maksimalt er mellom beste løsning og optimal løsning. Et lite gap tilsier dermed at beste løsning er nær optimal løsning, men et stort gap tilsier ikke nødvendigvis det motsatte.

7.3.2 Resultater for Basismodellen

Resultatene fra testene av de 27 instansene i Basismodellen er presentert i tabell 30. I flere tilfeller blir resultatene med grov tidsdiskretisering dårligere enn resultatene for samme instans med finere tidsdiskretisering, til tross for at gapet reduseres. Eksempelvis blir målfunksjonsverdiene for den mellomstore instansen dårligere for tidsdiskretisering på 20 minutter enn på 15 minutter for samtlige dager. Samtidig reduseres gapet i alle tre tilfeller. Dette skyldes at tidsintervall alltid rundes opp, som medfører at beste mulige løsning med grovere tidsdiskretisering antakeligvis er dårligere enn beste mulige løsning med finere tidsdiskretisering.

Som angitt i tabellen løser Basismodellen DOP til optimalitet for tre av ni små instanser (Liten), men ingen av de mellomstore (Medium) eller store (Stor) instansene. Gapene tilsier at Basismodellen løser DOP med instanser av Liten og Medium størrelse til et akseptabelt nivå med en tidsdiskretisering på 20 og 15 minutter, mens

større tidsdiskretisering og antall pasienter gir høyt gap for alle eller enkelte av dagene.

Instans	TD	Dag	1	2	3
LITEN	20	Beste løsning	110600	107400	286000
		LP-verdi	61877	56321	226480
		Løsningstid	3600	3600	4.6
		Gap	4.6 %	1.2 %	0 %
	15	Beste løsning	225900	162700	191750
		LP-verdi	55034	50171	54712
		Løsningstid	287	3600	1139
		Gap	0 %	5.2 %	0 %
	10	Beste løsning	344700	207400	257050
LP-verdi		46777	42160	40530	
Løsningstid		3600	3600	3600	
Gap		36.8 %	4.0 %	26.5 %	
MEDIUM	20	Beste løsning	156800	341950	521700
		LP-verdi	127425	279193	460113
		Løsningstid	3600	3600	3600
		Gap	2.6 %	0.3 %	1.5 %
	15	Beste løsning	155000	280700	414100
		LP-verdi	111660	224548	338994
		Løsningstid	3600	3600	3600
		Gap	13.2 %	2.5 %	5.4 %
	10	Beste løsning	162800	287450	353800
LP-verdi		90444	208032	227736	
Løsningstid		3600	3600	3600	
Gap		25.0 %	12.0 %	22.0 %	
STOR	20	Beste løsning	267350	252550	417100
		LP-verdi	191362	178084	298191
		Løsningstid	3600	3600	3600
		Gap	17.0 %	10.2 %	19.7 %
	15	Beste løsning	399300	261750	372650
		LP-verdi	167669	159307	145101
		Løsningstid	3600	3600	3600
		Gap	50.8 %	28.1 %	51.2 %
	10	Beste løsning	564900	236950	215400
LP-verdi		135511	131342	120823	
Løsningstid		3600	3600	3600	
Gap		71.5 %	30.9 %	30.3 %	

Tabell 30: Resultater for test av liten, medium og stor instansstørrelse for Basismodellen.

7.3.3 Analyse av G-AKM3-modellene

I dette avsnittet presenteres den statistiske analysen av de ulike AKM-modellene av type 2 (AKM3-modellene), etterfulgt av den empiriske analysen av G-AKM3-modellene.

Statistisk analyse av AKM3-modellene

Resultatene fra t-testen for de ulike AKM3-modellene er presentert i tabell 31. Ta-

bellen presenterer sannsynligheten for avviket i gjennomsnittlig målfuksjonsverdi for modellene parvis. Som det fremgår av resultatene av t-testen er sannsynligheten for avviket mellom målfuksjonsverdiene høyere en 5 prosent for samtlige tester. Følgelig gir ikke t-testen grunnlag til å si at noen av AKM3-modellene er bedre enn andre.

	AKM3	AKM3R	AKM3S
AKM3R	29.7 %	-	-
AKM3S	20.8 %	16.4 %	-
AKM3RS	32.6 %	32.6 %	94.0 %

Tabell 31: Resultater fra t-test for AKM3-modellene.

Empirisk analyse av genereringsmodellene for AKM3

I den empiriske analysen er hver av testene for instansene av Liten, Medium og Stor størrelse evaluert for å avgjøre hvilke av G-AKM3-modellene som presterer best for de tre instansstørrelsene. Vurderingen av genereringsmodellenes prestasjoner er basert på den prioriterte rekkefølgen av prestasjonsmål, angitt i avsnitt 7.3.1. Øvre grense for kjøretid for genereringsmodellene er satt til 12 timer. Modellene som presterer best for hver enkelt instans er angitt i vedlegg E.

Målfuksjonsverdien for alle testene er presentert i tabell 43. Kjøringer der målfuksjonen ikke er tilgjengelig er markert med strek, uavhengig av om årsaken er at generatormodellen ikke genererer mønster innen grensen for kjøretid for generatormodellene, at det ikke blir funnet noen gyldig løsning, eller at problemet overskrider dataens minnekapasitet.

Resultatene for de små instansene er presentert i tabell 32. I tabellen angis prosentandelen av tilfellene der de ulike genereringsmodellene gir best resultater. På rad 1 er kun tilfellene der alle de tre genereringsmodellene gir resultater inkludert. På rad 2 er også tilfellene der kun G-AKM3-M og G-AKM3-MO gir resultater inkludert, mens rad 3 oppgir prosentandelen av tilfellene de ulike genereringsmodellene gir best resultater blant alle testinstansene. Rad tre inkluderer altså også de tilfellene der kun G-AKM3-MO gir resultater.

Tabell 32 viser at heuristisk generering av kolonner gir like gode eller bedre løsninger som eksakt generering av kolonner i 97.2 prosent av alle tilfellene. I tre av tilfellene er det kun G-AKM3-MO som gir resultat. I tilfellene der eksakt generering av kolon-

ner (G-AKM3) gir resultat presterer heuristisk generering av kolonner bedre i 96.0 prosent av tilfellene. Det vil si at eksakt generering av kolonner kun gir best resultat i ett av de 25 tilfellene der eksakt generering av kolonner gir et resultat. Dette tilsier at heuristisk generering av kolonner fungerer godt for DOP med små instanser. G-AKM3-MO gir best resultat i 86.1 prosent av alle tilfellene. Resultatene viser ikke noe tydelig mønster for tilfellene der G-AKM3-M presterer best (se vedlegg E).

I tabell 43 ser en at målfunksjonsverdien kun er ulik i tre tilfeller, hvorav det ene tilsvarer tilfellet der G-AKM3 gir best resultat. I to tilfeller er sammeligningen basert på LP-verdi, hvorav G-AKM3-M og G-AKM3-MO gir best LP-verdi i et tilfelle hver. Sammenligningen av generatormodellene baseres altså på løsnings- eller gap i alle tilfeller foruten fem. Ettersom eksakt generering av kolonner kun medfører bedre løsning i et av 36 tilfeller indikerer at gode løsninger ikke fjernes ved heuristisk generering av kolonner til AKM3 for små instanser.

	G-AKM3	G-AKM3-M	G-AKM3-MO
Tilfeller der alle modellene gir resultater	4.0%	12.0%	84.0%
Tilfeller der minst to av modellene gir resultater	3.0%	12.1%	84.8%
Alle instanser	2.8%	11.1%	86.1%

Tabell 32: Prosentandel av tilfellene der de ulike G-AKM3-modellene presterer best for 1) testene av de små instansene der alle genereringsmodellene gir resultater, 2) testene av de små instansene der minst G-AKM3-M og G-AKM3-MO gir resultater, og 3) alle små testinstanser.

Tabell 43 viser at antall tilfeller der genereringsmodellene ikke gir noen løsning øker for den mellomstore og den store instansen. Med en tidsdiskretisering på 10 minutter gir ingen av testene resultater hverken de mellomstore eller for de store instansene. Mangelen på resultater skyldes i alle tilfellene at genereringsmodellene ikke klarer å generere alle mønster innen akseptabel tid. Totalt antall tester for de mellomstore og store instansene er altså 24.

For de mellomstore instansene gir alle genereringsmodellene resultater i åtte tilfeller, mens kun de to heuristiske genereringsmodellene (G-AKM3-M og G-AKM3-MO) gir resultater i fire tilfeller. Av de åtte tilfellene der alle de tre modellene er sammenlignbare gir G-AKM3-M best resultat i syv tilfeller, mens G-AKM3 gir best resultat i ett tilfelle. Dette tilsvarer henholdsvis 87.5 og 12.5 prosent av tilfellene. Tabell 43 viser

at sammenligningene i alle de åtte tilfellene er basert på målfunksjonsverdi. Til tross for at genereringen av mønstre i G-AKM3-MO gir høyere målfunksjonsverdi en når mønstrene genereres i de andre to genereringsmodellene gir generering av mønstre med G-AKM3-MO optimal løsning for samtlige av de åtte tilfellene (se tabell for resultatene for disse åtte tilfellene i vedlegg F). Dette indikerer at ett eller flere av mønstrene som inngår i den optimale løsningen for det opprinnelige problemet ikke er representert i mengden av mønstre som genereres i G-AKM3-MO. I de fire tilfellene der kun de heuristiske genereringsmodellene gir resultater gir G-AKM3-MO best resultat i tre av fire tilfeller.

Prosentandel av tilfellene der de ulike G-AKM3-modellene presterer best for de mellomstore instansene er gitt i tabell 33. Også for de mellomstore instansene tilsier resultatene av testene at heuristisk generering av kolonner fungerer godt for å løse DOP. For de mellomstore instansene er i midlertid genereringsmodellen G-AKM3-M best i de fleste av tilfellene der mønster fra genereringsmodellen er tilgjengelig. Dette kan trolig skyldes at genereringsmodellen G-AKM3-MO fjerner mønstre som inngår i den optimale løsningen av det opprinnelige problemet. Dette indikerer at G-AKM3-M kan være å foretrekke i for de mellomstore instansene i tilfellene der G-AKM3-M genererer mønster innen akseptabel tid. I tilfellene der mønster fra G-AKM3-M ikke er tilgjengelig må G-AKM3-MO anvendes.

	G-AKM3	G-AKM3-M	G-AKM3-MO
Tilfeller der alle modellene gir resultater	12.5%	87.5%	0.0%
Tilfeller der minst to av modellene gir resultater	8.3%	66.7%	25.0%
Alle instanser	4.2%	33.3%	62.5%

Tabell 33: Prosentandel av tilfellene der de ulike G-AKM3-modellene presterer best for 1) testene av de mellomstore instansene der alle genereringsmodellene gir resultater, 2) testene av de mellomstore instansene der minst G-AKM3-M og G-AKM3-MO gir resultater, og 3) alle mellomstore testinstanser.

For de store instansene er de tre genereringsmodellene kun sammenlignbare i fire tester. I tillegg gir begge de heuristiske genereringsmodellene resultater i fire ytterligere tilfeller, mens kun G-AKM3-MO gir resultater i 16 tilfeller. Dette vil si at G-AKM3 kun har generert mønster for en stor instans, mens G-AKM3-M har generert mønster for to av de totalt ni store instansene. Prosentandelen av gangene de tre

genereringsmodellene presterer best for de store instansene er angitt i tabell 34. Av tilfellene der minst to av modellene gir resultater presterer de to heuristiske modellene best i alle tilfeller. Modellene presterer da best i like mange tilfeller. I tilfellene der G-AKM3-M gir bedre løsning enn G-AKM3-MO skyldes dette trolig at mønstre som inngår i den optimale løsningen ikke er representert blant mønstrene i G-AKM3-MO ettersom gapet også i dette tilfellet er betydelig mindre for G-AKM3-MO. G-AKM3 gir ikke best resultat i noen tilfeller for de store instansene, og genererer kun mønstre innen akseptabel kjøretid for en av de ni store instansene.

	G-AKM3	G-AKM3-M	G-AKM3-MO
Tilfeller der alle modellene gir resultater	0.0%	100.0%	0.0%
Tilfeller der minst to av modellene gir resultater	0.0%	50.0%	50.0%
Alle instanser	0.0%	16.7%	83.3%

Tabell 34: Prosentandel av tilfellene der de ulike G-AKM3-modellene presterer best for 1) testene av de store instansene der alle genereringsmodellene gir resultater, 2) testene av de store instansene der minst G-AKM3-M og G-AKM3-MO gir resultater, og 3) alle store testinstanser.

Tabell 35 gir en oversikt over genereringsmodellen som presterer best flest antall ganger for små, medium og store instanser. For hver av problemstørrelsene presenteres modellen som presterer best blant tilfellene der alle genereringsmodellene gir resultater, tilfellene de minst to av genereringsmodellene gir resultater, samt blant alle tilfellene. Det siste inkluderer altså også tilfellene der kun G-AKM3-MO gir en løsning. I denne sammenligningen verdsettes altså det å gi en løsning framfor hvorvidt løsningene som genereres er gode. Dersom G-AKM3 presterer best i flest tilfeller markeres dette med 2, mens tilfellene der G-AKM3-MO og G-AKM3-MO presterer best markeres med henholdsvis M og MO.

Analysene tilsier at heuristisk generering av kolonner er en god løsningsmetode for løsningen av DOP med AKM3. Testene viser i midlertid at genereringsmodellene er begrensede for problemstørrelsene det er mulig å løse med DOP. I 6 av de 27 instansene genererer ingen av modellene kolonner innen tidsgrensen på 12 timer. Dette tilsvarer 22.2 prosent av tilfellene, som på det meste inkluderer 30 pasienter i problemet. Dette tilsier at genereringsmodellene er en begrensende faktor for løsningen av DOP med AKM3.

	G-AKM3	G-AKM3-M	G-AKM3-MO
Tilfeller der alle modellene gir resultater	MO	M	M
Tilfeller der minst to av modellene gir resultater	MO	M	M/MO
Alle intanser	MO	MO	MO

Tabell 35: Oppsummering av beste G-AKM3 modeller

7.3.4 Analyse av AKM1-modellene

På samme måte som analysen av AKM3-modellene i forrige avsnitt presenteres analysen av AKM1-modellene i følgende avsnitt. Først presenteres den statistiske analysen av AKM1-modellene, før den empiriske analysen av modellene for generering av kolonner til AKM1 (G-AKM1-modellene) presenteres.

Statistisk analyse av AKM1-modellene

Resultatene fra t-testene for AKM1-modellene er presentert i tabell 36 og 37. I tabell 36 presenteres sannsynligheten for avviket mellom gjennomsnittlig målfunksjonsverdi for modellene parvis, på tilsvarende måte som i tabell 31. I motsetning til t-testene for AKM3-modellene gir resultatene fra t-testene for AKM1-modellene grunnlag til å si noe om hvilke modeller som presterer best. I tre av testene er sannsynligheten for avviket mellom gjennomsnittlig målfunksjonsverdi mindre enn 5 prosent. I tillegg er sannsynligheten i et av tilfellene 5.8 prosent. Sannsynligheten er i dette tilfellet akkurat for høy til at resultatene fra den respektive t-testen ikke gir grunnlag til å si om den ene modellen er bedre, men er likevell lav nok til at det er rimelig å anta at dette likevell er tilfellet. For tilfellene der det er mulig å anta at avviket i gjennomsnittlig målfunksjonsverdi er reell er modellene som presterer best presentert i tabell 37. For gjøre tabellen mest mulig lettlest er modellene representert med bokstavene R, S og 4. AKM1 angis i som 4, AKM1R er gitt ved R, mens AKM1S og AKM1RS er angitt henholdsvis som S og RS. Modellen som presterer best i flest tilfeller er AKM1S (S). Følgelig antas modell AKM1S å være bedste AKM1-modellen.

	AKM1	AKM1R	AKM1S
AKM1R	5.81%	-	-
AKM1S	81.86%	3.94%	-
AKM1RS	0.68%	2.17%	0.74%

Tabell 36: Sannsynligheten for avviket mellom gjennomsnittlig målfunksjonsverdi for AKM1-modellene, gitt av t-testene for AKM1-modellene.

	AKM1	AKM1R	AKM1S
AKM1R	-	-	-
AKM1S	-	S	-
AKM1RS	4	R	S

Tabell 37: AKM1-modellene som presterer best i de parvise t-testene der sannsynligheten for avviket i gjennomsnittlig målfunksjonsverdi er mindre en den angitte grensen på fem prosent.

Empirisk analyse av genereringsmodellene for AKM1

I tabell 38, 39 og 40 er prestasjonene for de to G-AKM1-modellene presentert for henholdsvis små, mellomstore og store instanser. Målfunksjonsverdiene fra samtlige tester er presentert i tabell 44.

Tabellen for de små instansene, tabell 38, viser at den heuristiske genereringsmodellen presterer best i flest tilfeller for de små instansene. I tabellen skilles det ikke mellom tilfeller der kun G-AKM1-O og tilfeller der begge modellene genererer kolonner, slik som i resultattabellene for G-AKM3-modellene. Årsaken er at begge G-AKM1-modellene genererer mønster for alle de små instansene.

Tabell 44 viser at modellprestasjonene kun er basert på ulik målfunksjonsverdi i tre tilfeller, hvorav G-AKM1 gir bedre målfunksjonsverdi i ett tilfelle, mens G-AKM1-O gir best målfunksjonsverdi i to tilfeller. I tillegg skilles modellenes prestasjoner basert på LP-verdi i et tilfelle, der G-AKM1-O gir best LP-verdi. I syv tilfeller presterer modellene helt likt i helhold til de fire prestasjonsmålene. I de resterende 25 av de 36 testene skilles altså genereringsmodellenes prestasjoner basert på løsnings- eller gap. Dette tilsier at modellene presterer temmelig jevnt for de små instansene.

	G-AKM1	G-AKM1-O
Alle instanser	44.8%	55.2%

Tabell 38: Prosentandel av tilfellene der de to ulike G-AKM1-modellene presterer best blant alle AKM1-testene med små instanser.

Tabell 44 viser at det i seks av 36 tilfeller ikke er funnet noen løsning for de mellomstore DOP-instansene. I fire av tilfellene skyldes dette at den eksakte genereringsmodellen (A-AKM1) ikke har generert alle mønster innen akseptabel kjøretid for genereringsmodellene. I de to resterende tilfellene overskrider problemet minne-

kapasiteten på datamaskinen.

Resultatene fra testingen av de mellomstore instansene, presentert i tabell 39, viser at eksakt generering av kolonner gir best prestasjoner både blant tilfellene der begge genereringsmodellene gir resultater, og blant de 35 tilfellene totalt. Tabell 44 viser at modellprestasjonene er basert på målfunksjonsverdi i alle tilfeller foruten ett. For testene med tidsdiskretisering på 15 og 20 minutter gir eksakt generering av kolonner best målfunksjonsverdi i 18 av 23 tilfeller, mens heuristisk generering av kolonner gir best målfunksjonsverdi i seks av de åtte tilfellene med tidsdiskretisering på 10 minutter der begge genereringsmodellene gir resultater. Dersom en skiller mellom mellomstore instanser med ulik tidsdiskretisering tilsier testene at eksakt generering av kolonner er å foretrekke for mellomstore instanser med tidsdiskretisering på 15 og 20 minutter, mens heuristisk generering av kolonner er å foretrekke for mellomstore instanser med tidsdiskretisering på 10 minutter. Dersom en ser på de mellomstore instansene totalt sett indikerer testresultatene at eksakt generering av kolonner er å foretrekke for mellomstore instanser dersom en av genereringsmodellene skal velges.

	G-AKM1	G-AKM1-O
Tilfeller der begge modellene gir resultater	64.5%	35.3%
Alle instanser	57.1%	42.9%

Tabell 39: Prosentandel av tilfellene der de ulike G-AKM1-modellene presterer best for 1) mellomstore instanser der begge genereringsmodellene gir resultater, 2) alle mellomstore testinstanser.

For de store instansene øker antall tilfeller der kolonner må genereres heuristisk. Av tabell 44 kommer det frem at den eksakte modellen ikke genererer kolonner for 12 av de totalt 36 testene innen grensen for akseptabel løsnings tid for genereringsmodellene. Det vil si for tre av de totalt ni store instansene. Av de 24 tilfellene der begge genereringsmodellene gir resultater gir den ene eksakte genereringsmodellen best resultat i 62.5 prosent av tilfellene.

Tabell 44 viser at de to genereringsmodellene gir ulike målfunksjonsverdier for alle testene av store instanser. Sammenligningen av modellenes prestasjoner baseres altså på best målfunksjonsverdi i alle testene. Som for de mellomstore instansene gir den eksakte genereringsmodellen best målfunksjonsverdi for instansene med grov tidsdiskretisering. Med en tidsdiskretisering på 20 minutter gir G-AKM1 best målfunksjonsverdi i alle tilfeller. Når tidsdiskretiseringen økes til 15 minutter, som følgelig øker problemstørrelsen, gir heuristisk generering av kolonner best målfunksjonsverdi i syv av

de åtte tilfellene der modellene er sammenlignbare. Når tidsdiskretiseringen reduseres ytterligere til 10 presterer modellene derimot best i like mange tilfeller. Dette kan henge sammen med at problemstørrelsen både med eksakt og heuristisk genererte kolonner blir så stor at det blir vilkårlig hvilken av modellene som finner best løsning.

	G-AKM1	G-AKM1-O
Tilfeller der begge modellene gir resultater	62.5%	37.5%
Alle instanser	41.7%	58.3%

Tabell 40: Prosentandel av tilfellene der de ulike G-AKM1-modellene presterer best for 1) store instanser der begge genereringsmodellene gir resultater, 2) alle store testinstanser.

Tabell 35 presenterer en oversikt over genereringsmodellene som presterer best for de ulike problemstørrelsene blant tilfellene der begge modeller gir resultater (på rad 1) og blant alle tilfeller (på rad 2). Tabell 44 viser at G-AKM1-modellene, i motsetning til G-AKM3-modellene, håndterer de fleste instansene innen hver av de tre instansstørrelsene Liten, Medium og Stor. I kun tre av de totalt 27 instansene klarer ingen av G-AKM1-modellene å generere mønstrene for instansen. I tillegg gir to tester ikke noe resultat. I disse tilfellene skyldes mangelen på resultater i midlertid ikke genereringsmodellene, men at problemet overskrider av den anvendte datamaskinens minekapasitet.

	LITEN	MEDIUM	STOR
Begge representert	O	4	4
Alle instanser	O	4	O

Tabell 41: Oppsummering av beste G-AKM1-modeller

Analysen av de to hovedtypene av AKM-modeller (analyse av AKM3 og analyse av AKM1) viser altså at ingen av AKM3-modellene utpeker seg som bedre enn andre basert på testene. Blandt AKM1-modellene derimot ansees AKMS som den beste av modellene basert på t-testene. Resultatene fra analysen av genereringsmodellene viser at eksakt og heuristisk generering av kolonner både for AKM3 og AKM1 gir tilnærmet like gode resultater for små instanser, men at heuristisk generering av kolonner gir kortere løsnings tid og mindre gap. Heuristisk generering av kolonner ansees dermed som best for små instanser i sammenligningen av genereringsmodellene. Når problemstørrelsen øker gir eksakt generering av kolonner best resultater ettersom mønstre som inngår i gode løsninger ikke er representert blant de heuristisk genererte mønstrene. Når problemstørrelsen øker ytterligere gir igjen heuristisk generering

av kolonner best resultat ettersom problemet med eksakt generering av kolonner blir for stort til at AKM-modellene klarer å finne de gode løsningene. Analysen viser i tillegg at genereringsmodellene er en begrensende faktor for løsningen av DOP med AKM-modellene. Dette er spesielt aktuelt for AKM3.

7.3.5 Sammenligning av alle modellene

I sammeligningen av alle modellene sammenlignes AKM3S, AKM1S og Basismodellen. Ettersom ingen av AKM3-modellene kan antas å være best basert på den statistiske analysen av AKM3-modellene velges simpelthen en av AKM3-modellene. AKM3S velges i dette tilfellet da dette tilsvarer den beste AKM1-formuleringen.

I utvalget som inngår i t-testen brukes genereringsmodellen som generelt sett gir best resultat for genereringen av kolonner for hver de to AKM-modellene. Det vil si at alle instansene som inngår i utvalget for AKM3-modellen er generert med G-AKM3-modellen som generelt sett presterer best for AKM3. På samme måte anvendes instansene fra G-AKM1 modellen som generelt sett presterer best i utvalget for AKM1-modellen. Dersom formålet med analysen kun var å bestemme modellen som gir best resultater ville det være fornuftig å teste modellene med sine beste innstillinger. Det vil si å bruke genereringsmodellen som gir best resultat for hver instans. Formålet med denne analysen er i midlertid å bestemme hvilken modell som fungerer best for å løse DOP for sykehus. Dermed velges kun genereringsmodellen som generelt sett gir best resultater for hver av AKM-modellene i sammenligningen, slik at sykehuset ikke behøver å løse DOP med de ulike genereringsmodellene for å se hvilken genereringsmodell som gir best resultater og som følgelig skal anvendes for en gitt instans.

For å bestemme hvilken genereringsmodell som generelt sett er best er to spørsmål relevante. Det første er spørsmålet om verdien av en løsning. Det omhandler hvorvidt modellenes prestasjoner i tilfellene der alle modellene, eller minst to modeller gir resultater skal verdsettes fremfor modellenes prestasjoner for alle testene totalt sett (med andre ord, hvorvidt resultatene på rad 1, 2 og 3 i tabell 32, 33, og 34, og resultatene på rad 1 og 2 i tabell 33 og 34 skal verdsettes ulikt i avgjørelsen om hvilken genereringsmodell som presterer best). Det andre spørsmålet er hvorvidt tilfellene der modellenes prestasjoner er basert på målfunksjoneverdi skal verdsettes høyere enn tilfellene der prestasjonene bedømmes basert på øvrige prestasjonsmål.

Det er rimelig å anta at antall pasienter som skal skjemalegges på et sykehus er opp til eller større enn 30. Det ansees dermed som verdifullt for sykehus at modellene genererer operasjonstimeplaner for problemer av mellomstor og stor størrelse. På grunnlag av dette inkluderes resultatene fra tilfellene der alle instanse er inkludert i sammenligningen (som inkluderer tilfellene der kun en av genereringsmodellene genererer kolonner for problemet) når beste genereringsmodell skal avgjøres. For å inkludere verdien av å finne gode løsninger inkluderes også resultatene i tilfellene der alle og minst to av modellene gir resultater. G-AKM3-modellen som ansees som best er derfor G-AKM3-MO ettersom den inngår i flest tilfeller i tabell 35. For G-AKM1-modellene inngår G-AKM1 og G-AKM1-O i like mange tilfeller i tabell 41. Ettersom den beste G-AKM1-modellen er basert på løsningstid eller gap i de fleste små testene, mens modellprestasjonene i alle de mellomstore og store testene foruten en test er basert på målfunksjonsverdi ansees G-AKM1 som den beste G-AKM1-modellen. I t-testene av alle modellene sammelignes altså resultatene fra testene av AKM3R med mønstre fra G-AKM3-MO, AKM1R med mønstre fra G-AKM1, og Basismodellen.

Resultatene fra t-testen er presentert i tabell 42. Tabellen viser at sannsynligheten for avviket i den gjennomsnittlige målfunksjonsverdien er større eller lik 38 prosent for alle kombinasjoner av modellene. Dette er langt over grensen på 5 prosent. T-testen tilsier altså at testene ikke gir noe grunnlag for å si om noen av modellene er bedre enn andre.

	Basis	AKM3
AKM3	42.92 %	-
AKM1	71.79 %	59.67 %

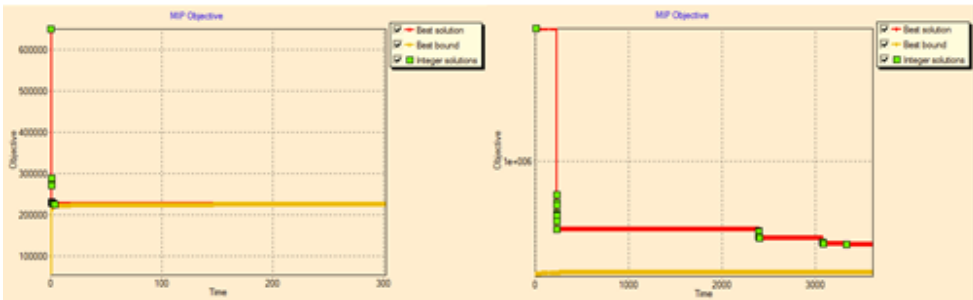
Tabell 42: Resultater fra t-test for alle modellene.

7.3.6 Videre testing

Ettersom analysen ikke gir grunnlag til å si hvilken modell som er best vil Basismodellen bli brukt i videre analyse på grunnlag av at den ikke er avhengig av genereringsmodellene. Dette er en fordel av to årsaker. For det første øker genereringsmodellene den reelle kjøretiden. I testene av AKM-modellene og Basismodellen presentert i denne analysen er ikke kjøretiden for genereringsmodellene inkludert i grensen for kjøretid, som er satt til en time. Ettersom enkelte av genereringsmodellene har kjøretid på

opp til 12 timer har AKM-modellene som bruker kolonnene generert fra de respektive generatormodellene i realiteten en kjøretid på opp mot 13 timer. Basismodellen derimot har i samtlige tester en reell kjøretid på mindre eller lik en time. For det andre begrenses ikke Basismodell av generatormodellene. AKM-modellene derimot er avhengig av at minst en av generatormodell genererer kolonner for en instans for å løse DOP for den gitte instansen.

Testene av Basismodellen viser at målfunksjonen er flat. Dette skyldes stort mulighetsområde kombinert med mange relativt like løsninger. Etter en viss kjøretid endres derfor målfunksjonsverdien lite. Figur 20 viser utviklingen av beste løsning og beste grense for liten og stor instans for Dag 1 med tidsdiskretisering på 15 minutter. Kjøretiden er satt til en time (3600 sekunder). For den lille instansen løses problemet til optimalitet etter litt over 300 sekunder. Grafene viser at de største endringene skjer i løpet av de første 300 sekundene. Basert på at målfunksjonen er flat og at løsningene ser ut til å endres lite etter de første 300 sekundene reduseres løsningstiden til 900 sekunder.



Figur 20: Utvikling av løsningssøk i Basismodellen.

7.3.7 Oppsummering for analyse av Basismodellen og AKM-modellene

Analysen av AKM3 viser at heuristisk generering av kolonner til AKM3 gir gode resultater. Genereringsmodellene er begrensende for løsningen av DOP i AKM3 for flere av de mellomstore og store instansene. Årsaken er at ingen av modellene genererer kolonner for instansene innen tidsgrensen for genereringsmodellene, som er satt til 12 timer.

Analysen av genereringsmodellene for AKM1 tilsier at deterministisk generering av

mønster er foretrukket for medium og store instanser, dersom deterministisk genererte mønstre er tilgjengelig. For små instanser presterer heuristisk generering av kolonner best. Dette er i midlertid basert på kjøretid eller gap i alle tilfeller foruten et. Analysen sier dermed ikke at heuristisk generering av kolonner gir bedre målfunksjonsverdi enn deterministisk generering av kolonner for små instanser, men at det gir like gode resultater samtidig som løsningsstid og gap reduseres.

Basert på T-testen i analysen av AKM3 kan en ikke si noe om hvilke av AKM3-formuleringene som er best. T-testen for AKM1-formuleringene tilsier at modell AKM1 \overline{RS} gir best resultater for DOP. Testen indikerer at AKM1-modellene med opprinnelig formulering (R) presterer bedre enn AKM1-modellene med alternativ formulering(\overline{R}).

I analysen av alle modellene sammenlignes den beste AKM3-formuleringen, den beste AKM1-formuleringen og Basismodellen i en T-test. Ettersom analysen ikke gir grunnlag til å anta at noen av AKM3-formulering er bedre enn andre velges simpelthen en av AKM3-formuleringene. AKM3RS velges basert på at har lavest gjennomsnittlig målfunksjonsverdi. I T-testen sammenlignes altså AKM3RS, AKM1 \overline{RS} og Basismodellen. T-testen gir imidlertid ikke grunnlag for å si at noen av modellene er bedre enn andre.

Ettersom det ikke kan avgjøres hvilke av modellene som gir best resultater velges en av modellene ut, som vil bli brukt til videre tester og analyse. Basismodellen velges da på grunnlag av at den ikke er avhengig av generatormodellene. Dette er en fordel både fordi generatormodellene kan være tidkrevende og begrensende for problemstørrelsene som kan løses med AKM-modellene.

7.4 Effekten av spesialismer

I testen av effekten av spesialismespesifikke kirurger og rom er fire ulike tilfeller testet på totalt 27 instanser av liten, mellomstor og stor størrelse, på samme måte som i testen av de ulike modellene i den tekniske analysen i avsnitt 7. Forskjellen mellom de fire tilfellene i denne testen er graden av frihet tilknyttet allokeringen av pasienter til kirurger og rom. I det første tilfellet er rommene tilknyttet spesialismene og kirurger låst til rom (LK). Det vil si at en pasient innen en spesialisme kun kan opereres på rommene som er tildelt samme spesialisme. Pasientene vil videre opereres av kirurgen

Tabell 43: Målfunksjonsverdi for test av AKM3-modeller

Instans	TD	GM	Dag 1				Dag 2				Dag 3			
			modell	2	2R	SRI	23	2	2R	2SRI	23	2	2R	2SRI
instans	20	2	110600	110600	110600	110600	107400	107400	107400	107400	107400	198350	198350	198350
		21	110600	110600	110600	110600	107400	107400	107400	107400	107400	198350	198350	198350
		22	110600	110600	110600	110600	107400	107400	107400	107400	107400	198350	198350	198350
LITEN	15	21	225900	225900	225900	225900	162700	162700	162700	162700	162700	655800	-	452950
		22	225900	225900	225900	225900	164700	162700	162700	164700	164700	198050	199250	198050
	10	2	-	-	-	-	-	528250	528250	528250	528250	-	-	-
		21	342700	342700	342700	342700	208200	208200	208200	208200	208200	-	628650	-
MEDIUM	15	22	342700	342700	342700	342700	208200	208200	208200	208200	208200	257050	257050	257050
		2	157600	167050	170450	160600	343750	349350	346250	365700	344650	-	-	-
	20	21	156800	164900	156800	170300	342850	343750	341950	344650	-	-	-	-
		22	211950	211950	211950	211950	346650	346650	346650	346650	346650	547750	547750	547750
	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		21	171100	541100	325500	134300	-	-	-	-	-	-	-	-
STOR	15	22	160900	160450	165550	147650	314700	315000	156900	156900	156900	427650	427650	427650
		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	2	681950	548500	622450	598950	-	-	-	-	-	-	-	-
		21	257850	259900	265500	264000	730800	688250	1420000	-	-	-	-	-
15	22	482050	481150	483150	484700	277100	277100	277100	277100	277100	484450	484450	484450	
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	22	249100	250750	248350	248000	232350	244900	529200	248000	248000	381450	388950	385550	
10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabell 44: Målfunksjonsverdi for test av AKMI-modeller

Instans	TD	GM	Dag 1			Dag 2			Dag 3					
			4RS	4RS	4RS	4RS	4RS	4RS	4RS	4RS	4RS			
LITEN	20	4	110600	110600	110600	110600	107400	107400	107400	107400	287800	287800	287800	287800
		41	110600	110600	110600	110600	107400	107400	107400	107400	287800	287800	287800	287800
	15	4	225900	225900	225900	225900	162700	162700	162700	162700	288250	288250	288250	288250
		41	225900	225900	225900	225900	162700	162700	162700	162700	288250	288250	288250	288250
	10	4	342700	342700	342700	342700	207400	207400	207400	208200	346250	344450	346250	344450
MEDIUM	20	4	342700	342700	342700	342700	208200	207400	208200	208200	346250	344450	346250	344450
		41	342700	342700	342700	342700	208200	207400	208200	208200	346250	344450	346250	344450
	15	4	154400	154400	154400	154400	341950	342650	342650	341950	521700	523500	521700	531000
		41	154400	154400	154400	154400	341950	342650	342650	341950	521700	523500	521700	531000
	10	4	200700	200700	200700	200700	345750	345750	345750	345750	547750	547750	547750	547750
STOR	20	4	155000	158350	153800	165200	280700	280700	280700	320500	473350	421250	-	429000
		41	155000	158350	153800	165200	280700	280700	280700	320500	473350	421250	-	429000
	15	4	155000	154700	155000	158200	314700	316200	316200	316200	431000	427650	-	437400
		41	155000	154700	155000	158200	314700	316200	316200	316200	431000	427650	-	437400
	10	4	161100	165200	161900	339400	287450	283850	285650	298250	-	-	-	-
LITEN	20	4	159300	160350	156750	162800	286250	285050	287450	285050	362700	461600	362700	444750
		41	159300	160350	156750	162800	286250	285050	287450	285050	362700	461600	362700	444750
	15	4	318850	267450	312750	409350	262900	276900	250850	337750	419200	431100	419300	445500
		41	318850	267450	312750	409350	262900	276900	250850	337750	419200	431100	419300	445500
	10	4	465950	471500	472700	485150	279500	315700	317200	373000	483950	492100	484750	492500
MEDIUM	20	4	256650	1134600	248450	1966100	337100	243000	301950	533850	-	-	-	-
		41	256650	1134600	248450	1966100	337100	243000	301950	533850	-	-	-	-
	15	4	244000	413450	249550	891450	243250	242500	242050	507800	384000	373150	385600	506250
		41	244000	413450	249550	891450	243250	242500	242050	507800	384000	373150	385600	506250
	10	4	565800	854400	331450	1963100	-	-	-	1507300	324200	848050	326300	703400
41	565800	854400	331450	1963100	-	-	-	1507300	324200	848050	326300	703400		

som er allokert til rommet de skjemalegges til. I det neste tilfellet er ikke kirurgene låst til rom, men til spesialisering, på samme måte som rommene (V). En pasient kan altså opereres på ethvert rom kombinert med enhver kirurg innen sin spesialisering. Dette tilsvarer tilfellet på SVJS og testene utført i den tekniske analysen. I det tredje tilfellet er kun kirurgene låst til spesialisering, mens rommene ikke er tilknyttet spesialiseringene som medfører at hvilken som helst pasient kan opereres på et hvilket som helst rom (FR). I det siste tilfellet er hverken kirurger eller rom knyttet til spesialisering, og enhver pasient kan opereres på ethvert rom av enhver kirurg.

Små instanser

Resultatene for de små instansene er presentert i tabell 45. Resultatene viser at målfunksjonsverdien blir bedre desto mer frihet det er i modellen. Gapet kan riktignok i mange tilfeller indikere at mer frihet gjør problemene vanskeligere å løse. Dette er logisk ettersom mer frihet fører til at flere avgjørelser må tas i modellen.

Tabellen viser at antall åpne rom og antall utsatte pasienter blir mindre med frie rom (FR) og frie rom og kirurger (FRK). Dette er logisk ettersom alle pasienter kan opereres på alle rom i FK og FRK, i motsetning til i V og LK der rom og kirurger er låst til spesialisering. Dermed er friheten i kombinasjoner av pasienter større med FK og FRK. Dermed er det mulig å operere pasienter med bruk av færre rom i FK og FRK.

Antall tidsperioder som medfører BII-kostnad (BII) er generelt sett større med spesialiseringsspesifikke rom og kirurger (LK og V) enn med frie rom (FR) og frie rom og kirurger (FRK). Dette er logisk ettersom kirurgspesifikke rom og kirurger krever et ledig rom og en ledig kirurg innen hver spesialisering for å unngå BII-kostnad, mens tilfellene der alle pasienter kan behandles på alle rom og av alle kirurger derimot kun krever et ledig rom og en ledig kirurg blant alle rom og kirurger for å unngå BII-kostnad. For alle de små instansene er det i tillegg kun et rom og en kirurg per spesialisering. Det medfører at enhver pasient med inngrepsstid lenger enn en vil medføre BII-kostnad i alle tidsperioder etter inngrepsstarttiden i tilfellene med LK og V.

For dag tre med spesialiseringsspesifikke rom og låste kirurger (LK), spesialiseringsspesifikke rom og kirurger (V) og frie rom (FR) ser en at målfunksjonsverdien øker ettersom tidsdiskretisering øker fra 15 til 20 minutter. Dette er annerledes enn for alle de andre tilfellene, der målfunksjonsverdien reduseres som et resultat av at

problemet blir mindre og dermed enklere å løse ettersom tidsdiskretiseringen øker. Gapet tilsier at også problemet for dag 3 blir enklere å løse når tidsdiskretiseringen øker. Med frie rom (FR) finnes til og med optimal løsning for 20 minutters tidsperioder, mens gapet i tilfellet med tidsdiskretisering på 15 minutter er på over 28 prosent. Likevell blir målfunksjoneverdien større med 20 minutters tidsperioder. Årsaken til dette er trolig at avrundinger i estimeringen av alle tidsintervallene i operasjonsprosedyren er rundet oppover, slik at en operasjon alltid vil ta like lang tid eller lengre med en grovere tidsdiskretisering. Antakeligvis har avrundingen medført at en eller flere operasjoner tar lengre tid med tidsdiskretisering på 20 minutter enn de gjør med en tidsdiskretisering på 15 minutter og medført at flere av pasientene må utsettes i tilfellet med tidsdiskretisering på 20 minutter. Dette forklarer også økningen i antall utsatte pasienter, som øker fra 1 til 3.

Mellomstore instanser

Resultatene for de mellomstore instansene er presentert i tabell 45. Resultantene viser, som for de små instansene, at problemene blir enklere å løse desto mindre frihet det er i modellene. Dette kommer enda tydeligere frem i resultatene for de mellomstore de instansene enn for de små instansene. I alle tilfeller gir spesialismespesifikke rom og kirurger som er låst til rommene (LK) mindre gap en alle de resterende tilfellene. Tilfellet med spesialismespesifikke kirurger og rom (V) gir nest minst gap i alle tilfellene.

Løsningene som finnes er gjengående bedre i tilfellene med frie rom og kirurger (FRK). I alle tilfeller foruten et er målfunksjoneverdien med FRK bedre eller lik målfunksjonsverdien i de andre tre tilfellene, og antall pasienter mindre eller lik med FRK. For de tre andre tilfellene gir imidlertid tilfellene med minst frihet (LK og V) bedre resultater enn tilfellet med frie rom (FR), i motsetning til resultatene fra de små instansene. Dette kommer av at problemstørrelsen øker i tråd med graden av frihet i problemet. For de små instansene klarer modellen å finne de gode løsningene i tilfellet med frie rom (FR), som er bedre enn løsningene i tilfellene med låste kirurger (LK) og tilfellet med spesialismespesifikke kirurger og rom (V). For de mellomstore instansene blir imidlertid problemet med frie rom (FR) såpass stort at modellen ikke klarer å finne de gode løsningene innen grensen for kjøretid. Dette henger også sammen med antall tidsperioder, og også øker størrelsen på problemet. Ettersom antall tidsperioder øker for de mellomstore instansene gir tilfellene med mindre frihet stadig bedre resultater relativt sett. Eksempelvis gir tilfellet med minst frihet (LK) best resultater for samtlige mellomstore instanser med tidsdiskretisering på 10 minutter.

Som for de små instansene inntreffer tilfeller der økning av tidsdiskretiseringen medfører økt målfunksjonsverdi og samtidig redusert gap. I flere av disse tilfellene er det i midlertid ikke antall utsatte pasienter, men hvilke pasienter som utsettes eller andre kostnader som BII- og overtidskostnad som øker målfunksjonsverdien. Rasjonalet for økt målfunksjonsverdi og samtidig redusert gap er det samme som beskrevet for de små instansene over; at de estimerte tidsintervallene alltid rundes oppover.

Store instanser

Resultatene fra testen av de store instansene er presentert i tabell 47. Resultatene viser at det i mange tilfeller ikke blir funnet noen god løsning for tilfellene med frie rom (FR) og frie rom og kirurger (FRK). Dette er fordi problemstørrelsen blir alt for stor. I fire av tilfellene med frie rom og kirurger (FRK) utsettes alle 30 pasientene i løsningen, mens mer en 20 av pasientene utsettes i 4 av løsningene for tilfellene med frie rom og spesialismespesifikke kirurger (FR). I tilfellene der modellen gir en fornuftig løsning for problemet med frie rom og kirurger er denne løsningen i de fleste tilfellene best. Ellers gir tilfellet med minst frihet (LK) best løsning for de fleste av de store instansene.

Resultatene fra testene viser altså tydelig at mer frihet i problemet gir bedre løsninger så samt modellen klarer å håndtere økningen det medfører i problemets størrelse. Med bedre løsningsmetoder kunne sykehus med fler en 20 pasienter altså tjent på å øke graden av frihet i sitt problem ved å gjøre rom og kirurger og eventuelt andre ressurser mest mulig anvendelige.

TD	Dag	1						2						3					
		LK	V	FR	FRK	LK	V	FR	FRK	LK	V	FR	FRK	LK	V	FR	FRK		
20	Beste løsning	111	111	101	64	107	107	98	62	286	286	282	46						
	Gap	0.5 %	5.7 %	0.0 %	18.2 %	1.2 %	2.0 %	0.0 %	3.6 %	0.3 %	0.2 %	0.0 %	5.0 %						
	# utsatte pas.	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	0						
	# åpne rom	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2						
	BII	13	13	2	0	13	13	2	0	5	5	0	4						
OT	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0							
15	Beste løsning	226	226	103	64	163	163	98	62	191	192	161	52						
	Gap	0.4 %	0.0 %	11.6 %	26.9 %	5.5 %	5.5 %	8.6 %	26.1 %	0.4 %	0.5 %	28.2 %	12.4 %						
	# utsatte pas.	2	2	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0						
	# åpne rom	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	2						
	BII	9	9	6	0	13	13	3	0	5	8	3	8						
OT	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1							
10	Beste løsning	343	346	216	57	208	207	148	57	207	257	186	66						
	Gap	69.9 %	40.7 %	6.0 %	23.2 %	4.3 %	4.0 %	1.8 %	26.1 %	11.6 %	27.4 %	41.9 %	43.6 %						
	# utsatte pas.	4	4	2	0	2	2	1	0	1	2	1	0						
	# åpne rom	3	3	2	2	3	3	3	2	4	4	4	2						
	BII	5	6	6	0	13	13	5	0	24	10	3	10						
OT	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0							

Tabell 45: Resultatene for test av spesialismespesifikke kirurger og rom for små instanser.

TD	Dag	1					2					3					
		LK	V	FR	FRK	LK	V	FR	FRK	LK	V	FR	FRK	LK	V	FR	FRK
20	Beste løsning	185	162	179	160	352	342	334	178	522	522	522	115	522	522	522	115
	Gap	1.2 %	6.5 %	36.3 %	39.6 %	0.0 %	1.2 %	23.8 %	52.6 %	0.7 %	2.4 %	30.5 %	26.8 %	0.7 %	2.4 %	30.5 %	26.8 %
	# utsatte pas.	0	0	0	0	3	3	3	0	6	6	6	0	6	6	6	0
	# åpne rom	6	7	7	7	6	6	5	7	5	5	4	6	5	4	4	6
	BII	0	6	8	2	2	3	2	9	4	4	0	0	4	4	0	0
OT	3	1	3	1	2	2	2	3	2	2	1	1	2	2	1	1	
15	Beste løsning	181	162	255	113	316	281	334	174	410	417	424	103	410	417	424	103
	Gap	13.2 %	17.7 %	59.6 %	28.1 %	2.4 %	4.9 %	31.2 %	53.5 %	1.5 %	6.1 %	40.6 %	28.3 %	1.5 %	6.1 %	40.6 %	28.3 %
	# utsatte pas.	0	0	0	0	3	2	3	0	4	4	4	0	4	4	4	0
	# åpne rom	6	6	7	7	6	6	5	7	5	6	5	6	5	6	5	6
	BII	5	21	14	0	2	5	3	0	7	5	0	0	7	5	0	0
OT	1	2	4	2	2	3	4	3	2	4	1	0	2	4	1	0	
10	Beste løsning	182	186	192	196	287	302	316	166	314	366	516	176	314	366	516	176
	Gap	32.7 %	36.8 %	53.8 %	63.7 %	7.4 %	18.5 %	33.4 %	55.9 %	9.3 %	25.5 %	55.0 %	61.1 %	9.3 %	25.5 %	55.0 %	61.1 %
	# utsatte pas.	0	0	0	0	2	2	3	0	2	3	6	0	2	3	6	0
	# åpne rom	6	7	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6	6	5	6
	BII	6	4	3	35	0	4	0	0	6	6	0	8	6	6	0	8
OT	2	1	2	3	3	3	3	1	2	2	0	3	2	2	0	3	

Tabell 46: Resultatene for test av spesialisemespesifikke kirurger og rom for mellomstore instanser.

TTD	Dag	1						2						3					
		LK	V	FR	FRK	LK	V	FR	FRK	LK	V	FR	FRK	LK	V	FR	FRK		
20	Beste løsning	290	287	1219	263	264	257	362	1452	411	475	931	1927						
	Gap	7.1 %	23.7 %	86.2 %	0.0 %	1.6 %	14.5 %	52.2 %	91.1 %	9.3 %	29.9 %	81.8 %	68.5 %						
	# utsatte pas.	0	0	16	0	1	1	3	30	3	4	12	30						
	# åpne rom	10	10	6	10	8	8	8	1	8	8	6	1						
	BII	0	14	0	6	1	5	0	0	2	13	0	0						
OT	3	3	3	9	5	3	3	0	4	3	2	0							
15	Beste løsning	293	510	1443	1908	253	262	560	264	253	381	570	1915						
	Gap	19.8 %	62.1 %	89.8 %	93.8 %	13.4 %	28.5 %	73.3 %	57.5 %	13.4 %	52.6 %	74.6 %	94.8 %						
	# utsatte pas.	0	3	21	30	1	1	6	0	1	2	5	30						
	# åpne rom	10	9	6	1	8	9	9	10	8	9	9	1						
	BII	1	0	0	0	2	3	0	8	1	0	0	0						
OT	3	4	1	0	7	4	2	18	4	3	4	0							
10	Beste løsning	260	565	1858	292	235	237	1486	226	281	215	1821	174						
	Gap	28.0 %	71.6 %	93.3 %	66.4 %	21.0 %	31.2 %	91.5 %	56.3 %	40.3 %	30.3 %	93.6 %	49.6 %						
	# utsatte pas.	0	5	28	0	1	1	30	0	1	0	30	0						
	# åpne rom	10	10	2	10	8	8	1	10	8	8	2	7						
	BII	0	0	0	0	2	0	0	13	0	0	0	0						
OT	0	5	2	29	1	4	0	6	4	3	0	9							

Tabell 47: Resultatene for test av spesialismespesifikke kirurger og rom for store instanser.

7.5 Effekt av ikke-elektive pasienter

Effekten av ikke-elektive pasienter er testet ved å regulere kostnaden av BII. To scenarier er testet. I det første scenariet er kosten av BII mindre enn kostnaden av overtid (vanlig BII-kostnad). Kostnaden av overtid er igjen mindre enn kostnaden av å åpne et rom. Dermed vil en heller øke BII enn å anvende overtid, samt anvende overtid før et nytt rom åpnes. I det andre scenariet er kostnaden av BII satt litt høyere enn utsettelseskostnaden for den dyreste pasienten (høy BII-kostnad). Dette medfører at en heller vil utsette pasienter enn å få BII i en tidsperiode. Ettersom utsettelseskostnadene for pasienter i utgangspunktet er satt høyere enn alle andre kostnader vil alle alternativer foretrekkes fremfor å få BII i en tidsperiode i scenario 2. I begge scenariene er akseptabel BII er satt lik antall tidsperioder i den lengste operasjonen innen hver spesialisme og er dermed ikke begrensende for BII. Tilstrekkelig BII er satt lik null slik at enhver BII medfører BII-kostnad.

Basismodellen testes for hvert scenario med instanser fra hver av de tre tilfeldige dagene. Instanser med mindre enn 15 pasienter er ikke testet ettersom det i disse instansstørrelsene har et rom per spesialisme. Med høy BII-kostnad vil i disse tilfellene alle pasienter utsettes. Antall pasienter er derfor satt fra og med 15 opp til den reelle instansstørrelsen for hver av de tre dagene. Den reelle instansstørrelsen tilsvarer 35 pasienter for dag 1, 31 pasienter for dag 2, og 36 pasienter for dag 3. Effekten av BII er kun testet for tidsdiskretisering på 20 minutter. Årsaken til dette er at det interessante i denne testen er å se hvordan løsningene endrer seg. Dermed er det hensiktsmessig at løsningene er så gode som mulig. I tabell 48 er økningen i målfunksjonsverdi, gapet for hvert scenario, samt økning i antall utsatte pasienter, åpnete rom, tidsperioder med BII og overtidsperioder som et resultat av innføringen av høye BII-kostnader presentert.

Resultatene viser at målfunksjoneverdien (MFV) øker mye for instansene med 15 pasienter. Dette skyldes at problemet med 15 pasienter inkluderer en spesialisme rom kun har et rom til rådighet. Dermed utsettes alle pasientene i denne spesialismen når høye BII-kostnader innføres. Årsaken til at antall utsatte pasienter ikke øker for instansen med 15 pasienter basert på dag 3 er at løsningen som finnes for problemet med vanlige BII-kostnader ikke er en god løsning og inkluderer utsettelse av fire pasienter fremfor å åpne et tilgjengelig uåpnet rom.

Utviklingen av endringen av målfunksjonsverdi indikerer at innføringen av høy BII-kostnad har størst effekt på små problemer. Dette er logisk ettersom antall pasienter

og rom per spesialisme er mindre for små instanser, som medfører at muligheten for å jevne ut avslutningstidspunktene for operasjonene innen spesialismene er mindre for de små problemene. I tilfeller der økning av antall pasienter medfører at forskjellen i antall utsatte pasienter øker mye kan dette skyldes at en pasientene inngår i en ny spesialisme eller at løsningene som legges til er lange.

I en test der verdiene for hver kostnad i målfunksjonen skrives ut henholdsvis for beste LP-løsning og beste MIP-løsning viser at avviket mellom kostnaden av BII i mange tilfeller er mye større enn de andre kostnadene i målfunksjonen. Dette indikerer at modelleringen av BII-restriksjonene er svak.

Dag	Pasienter	15	20	25	30	reell
1	% økt MFV	139 %	27 %	71 %	-2 %	36 %
	Gap vanlig	6 %	16 %	10 %	45 %	43 %
	Gap høy	0 %	1 %	0 %	17 %	37 %
	# pas.	4	1	4	1	4
	# åpne rom	0	0	0	0	0
	BII	-27	-26	0	-8	-19
	OT	-1	-2	-3	0	-3
2	% økt MFV	134 %	58 %	47 %	0 %	41 %
	Gap vanlig	4 %	11 %	15 %	54 %	22 %
	Gap høy	0 %	0 %	4 %	21 %	8 %
	# utsatte pas.	8	3	2	1	3
	# åpne rom	0	1	1	0	0
	BII	-28	-26	-27	-8	-19
	OT	-1	-3	0	-1	-2
3	% økt MFV	137 %	42 %	56 %	44 %	29 %
	Gap vanlig	5 %	12 %	25 %	23 %	38 %
	Gap høy	0 %	0 %	0 %	2 %	33 %
	# utsatte pas.	0	2	3	3	2
	# åpne rom	1	1	0	0	1
	BII	-28	-23	-22	-19	-13
	OT	-1	-4	-4	-3	-2

Tabell 48: Økning av målfunksjonsverdi, antall utsatte pasienter, åpne rom, BII og overtid som et resultat av økte BII-kostnader fra vanlig BII-kostnad (kostnad av BII er mindre enn kostnaden av å utsette pasienter, kostnaden av å åpne rom og kostnaden av overtid) til høy BII-kostnad (kostnaden av BII er høyere en utsettelseskostnaden for enhver pasient), i tillegg til gapet for hvert av de to tilfellene.

7.6 Effekt av overtid

For å analysere effekten av overtid sammenlignes problemer hvor overtid ikke er tillatt med de tilsvarende problemene der tillatt overtid på hvert rom er 3 timer. Ettersom det i dette tilfellet er interessant å sammenligne løsningene som genereres testes kun instanser med 20 minutters tidsperioder, som antas å gi løsninger som ligger nærmest optimal løsning i forhold til tidsdiskretisering på 15 eller 10 minutter. Instansene er basert på de tre tilfeldig plukkede dagene. Antall pasienter varierer fra 10 til reell instansstørrelse for hver av de tre dagene (henholdsvis 25, 31 og 36 pasienter). De reelle instansstørrelsene gir i midlertid svært dårlige resultater for tilfellene med 3 timer overtid. I to av tre tilfeller er den beste løsningen som finnes for tilfellene med 3 timer overtid å utsette alle pasienter. Resultatene fra disse testene er derfor ikke sammenlignbare.

Resultatene fra analysen av overtid er presentert i tabell 49. Tabellen presenterer redusert målfunksjonsverdi (% red MFV), gap for problemet uten overtid og problemet med tre timer tillatt overtid (henholdsvis Gap 0 og Gap 3), redusert antall utsatte pasienter, åpne rom og overtid (henholdsvis # utsatte pas., # åpne rom og BII), samt anvendt overtid og antall åpne rom i løsningen av problemet med tre timer tillatt overtid (Anv.OT og Anv.rom(3OT)).

Resultatene fra testen viser at effekten av overtid er stor. Basert på forholdet mellom anvendt overtid og antall åpne ser en at andelen av den tilgjengelige overtiden som anvendes er moderat. Det maksimale antallet anvendte overtidsenheter i forhold til antall anvendte rom er 3.3 av 9 tilgjengelige overtidsenheter per rom (dag 1, 20 pasienter). I dette tilfellet viser i midlertid gapet og verdien for redusert målfunksjonsverdi (% red MFV) at løsningen som finnes for problemet med tre timer overtid ikke nødvendigvis er en god løsning. I alle tilfeller foruten dette skjemalegges minst to pasienter mer når overtid tillates. På det meste skjemalegges åtte pasienter mer (dag 2, 30 pasienter). I dette tilfellet anvendes 16 tidsenheter overtid fordelt på 9 rom. Det vil si litt under 2 tidsenheter (40 minutter) overtid på hvert rom.

Dag	Pasienter	10	15	20	25	30
1	% red MFV	48 %	47 %	-8 %	58 %	54 %
	Gap 0	0 %	0 %	8 %	4 %	8 %
	Gap 3	10 %	21 %	45 %	22 %	28 %
	# utsatte pas.	2	2	0	6	7
	# åpne rom	0	0	-1	0	0
	BII	-23	-5	-6	0	-2
	Anv.OT	1	6	23	13	19
	Anv. rom (3OT)	3	5	7	8	10
2	% red MFV	33 %	28 %	34 %	37 %	51 %
	Gap 0	0 %	0 %	2 %	4 %	4 %
	Gap 3	17 %	8 %	30 %	26 %	25 %
	# utsatte pas.	2	2	4	4	8
	# åpne rom	0	0	0	1	0
	BII	-5	-6	-7	-9	-2
	Anv.OT	0	8	8	15	16
	Anv. rom (3OT)	3	5	6	7	9
3	% red MFV	35 %	22 %	36 %	43 %	36 %
	Gap 0	0 %	0 %	4 %	8 %	7 %
	Gap 3	2 %	5 %	14 %	50 %	44 %
	# utsatte pas.	2	2	4	5	5
	# åpne rom	0	0	-1	1	-1
	BII	-4	-4	-1	3	7
	Anv.OT	4	4	12	14	18
	Anv. rom (3OT)	4	4	7	8	10

Tabell 49: Effekten av overtid. Redusert målfunksjonsverdi, antall utsatte pasienter, åpne rom, BII og overtid som et resultat av å tillate tre timer overtid i forhold til ingen overtid, samt gapet for de to tilfellene.

8 Konklusjon

Denne oppgaven viser:

- Analysen gir ikke grunnlag av til å si at en av AKM-modellene eller Basismodellen presterer best i løsningen av DOP.
- Modellene for generering av kolonner gir økt løsningstid og er begrensende for problemstørrelsen som kan løses med AKM-modellene. Det gjelder spesielt G-AKM3-modellene.
- Basismodellen ansees dermed som den beste modellen for generering av operasjonstimeplaner.
- Tester av Basismodellen viser at modellen løser problemer med 20 minutters tidsdiskretisering og 10 pasienter til optimalitet. Gode løsninger genereres for instanser med opp til 20 pasienter.
- Målfunksjonen viser seg å være flat. Det indikerer et stort løsningsområde og mange jevn gode løsninger.
- Problemspesifikke analyser viser at spesialismespesifikke ressurser har stor innvirkning på problemet, men øker problemstørrelsen.
- Analysene viser at inkluderingen av ikke-elektive pasienter har stor effekt på løsningen av små DOP-problem. Innvirkningen reduseres ettersom antall pasienter og rom innen spesialismene øker.
- Tillatelse av overtid påvirker løsningene i stor grad. En liten økning i overtid kan føre til store besparelser i målfunksjonen.
- Ettersom reell problemstørrelse inkluderer mer enn 20 pasienter, kreves forbedrende tiltak for løsningsmetodene presentert i denne oppgaven. Alternativt bør andre løsningsmetoder vurderes.

9 Videre Arbeid

Analysen i kapittel 5 viser at MIP-modellene presentert i denne oppgaven ikke er tilstrekkelige for løsningen av problemer med mer enn 20 pasienter og tidsdiskretisering på 20 minutter per tidsperiode. Forbedring av modellene eller løsningsmetoden er derfor ønskelig.

For å forbedre modellene kan innføringen av gyldige ulikheter testes for å stramme modellformuleringen. Formålet med innføringen av gyldige ulikheter er å redusere løsningsområdet. I tillegg er det ønskelig å finne en sterkere formulering av BII-restriksjonene som viser seg å være svakt formulert. Et alternativ er å inkludere ikke-elektive pasienter på en annen måte enn å jevne ut avslutningstiden for elektive pasientenes operasjoner ved å knytte kostnader til BII, som det er gjort i denne oppgaven. I dette tilfellet er en mulighet å utvikle stokastiske modeller som tester ulike scenarier.

Utviklingen av gode modellbaserte heuristikker (engelsk: math heuristics) for genereringen av kolonner til AKM-modellene kan testes videre. I dette tilfellet er det interessant å finne heuristiske regler som eliminerer en tilstrekkelig mengde kolonner samtidig som kolonnene som inngår i gode løsninger er representert. Et annet alternativ er å teste dynamisk generering av kolonner. Løsningen av DOP med bruk av rene heuristiske modeller kan også testes.

Videre er det ønskelig å anskaffe mer relevant data. Med tilstrekkelig data er det ønskelig å inkludere prioriterte pasienter. I tillegg ønskes mer informasjon om de ulike kirurgenes egenskaper ettersom kirurgene i realiteten er knyttet til unike ferdsigheter. Dette vil i realiteten påvirke både behandlingen av pasienter og lengden av operasjonene. Med statistisk data over ankomsten av akuttpasienter kunne svingninger i etterspørselen etter akuttoperasjoner i løpet av dagen vært analysert. Dersom etterspørselen viser seg at etterspørselen er ulik for ulike deler av dagen kan BII-kostnadene justeres i henhold til den forventede ankomsten av akuttpasienter. Mer informasjon til problemet vil kunne bidra til å redusere graden av symmetri i problemet.

Referanser

- Agdestein, S. D. (2012). “Operating Room Scheduling Problem: Considering the uncertain arrivals of the emergency patients and the capacity limits of the pre-op and post-op facilities”. I: (se s. 2).
- Agnetis, A., Coppi, A., Corsini, M., Dellino, G., Meloni, C. og Pranzo, M. (2014). “A decomposition approach for the combined master surgical schedule and surgical case assignment problems”. I: *Health care management science* 17(1), s. 49–59 (se s. 14–19, 21–25).
- Aringhieri, R., Landa, P., Soriano, P., Tànfani, E. og Testi, A. (2015). “A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem”. I: *Computers & Operations Research* 54, s. 21–34 (se s. 6, 7, 14–17, 19, 21–23).
- Baricelli, P., Mitra, G. og Nygreen, B. (1998). “Modelling of augmented makespan assignment problems (AMAPs): Computational experience of applying integer presolve at the modelling stage”. I: *Annals of Operations Research* 82, s. 269–288 (se s. 47).
- Cardoen, B., Demeulemeester, E. og Beliën, J. (2009). “Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem”. I: *International Journal of Production Economics* 119(2), s. 354–366 (se s. 14–19, 21, 22).
- Cardoen, B., Demeulemeester, E. og Beliën, J. (2010). “Operating room planning and scheduling: A literature review”. I: *European Journal of Operational Research* 201(3), s. 921–932 (se s. 11–13, 19, 20, 22).
- Doulabi, S. H. H., Rousseau, L.-M. og Pesant, G. (2014). “A Constraint Programming-Based Column Generation Approach for Operating Room Planning and Scheduling”. I: *Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming*. Springer, s. 455–463 (se s. 14–19, 21–25).
- Essen, J. van, Hans, E., Hurink, J. og Oversberg, A. (2012). “Minimizing the waiting time for emergency surgery”. I: *Operations Research for Health Care* 1(2), s. 34–44 (se s. 2, 10, 14, 16–23, 25, 37).
- Fügener, A., Hans, E. W., Kolisch, R., Kortbeek, N. og Vanberkel, P. T. (2014). “Master surgery scheduling with consideration of multiple downstream units”. I: *European journal of operational research* 239(1), s. 227–236 (se s. 14–18, 21, 23, 25).
- Guerriero, F. og Guido, R. (2011). “Operational research in the management of the operating theatre: a survey”. I: *Health care management science* 14(1), s. 89–114 (se s. 12, 13).

- Hans, E. W., Van Houdenhoven, M. og Hulshof, P. J. (2012). “A framework for healthcare planning and control”. I: *Handbook of healthcare system scheduling*. Springer, s. 303–320 (se s. 4).
- Hans, E., Wullink, G., Van Houdenhoven, M. og Kazemier, G. (2008). “Robust surgery loading”. I: *European Journal of Operational Research* 185 (3), s. 1038–1050 (se s. 14–18, 20–25).
- Iversen Olav H. og Braut, G. S. (2009). *Sykehus. I Store norske leksikon*. URL: <https://snl.no/sykehus> (sjekket 16. juni 2015) (se s. 4).
- Jebali, A., Hadj Alouane, A. B. og Ladet, P. (2006). “Operating rooms scheduling”. I: *International Journal of Production Economics* 99 (1), s. 52–62 (se s. 14, 15, 17–19, 21–25).
- Marcon, E. og Dexter, F. (2006). “Impact of surgical sequencing on post anesthesia care unit staffing”. I: *Health Care Management Science* 9 (1), s. 87–98 (se s. 14, 15, 18–25).
- OECD (2014). *OECD Health Statistics 2014*. URL: <http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=SHA> (sjekket 30. september 2014) (se s. 2).
- Range, T. M. (2015). “Forelesning Industriell Optimering”. I: Forelesning innen faget Industriell Optimering på NTNU (se s. 6).
- Range, T. M., Lusby, R. M. og Larsen, J. (2014). “A column generation approach for solving the patient admission scheduling problem”. I: *European Journal of Operational Research* 235 (1), s. 252–264 (se s. 7).
- Sydvestjysk, S. (2014). *Økonomiske nøgletal 2013*. URL: <http://www.sydvestjysksygehus.dk/wm457517> (sjekket 30. 16 2014) (se s. 71).
- Tànfani, E. og Testi, A. (2010). “A pre-assignment heuristic algorithm for the Master Surgical Schedule Problem (MSSP)”. I: *Annals of Operations Research* 178 (1), s. 105–119 (se s. 14–19, 21–25).
- Teixeira, A. og De Oliveira, M. (2015). “Operations Research on Hospital Admission Systems: a first overview of the 2005-2014 decade”. I: *Journal of Physics: Conference Series*. Bd. 616. 1. IOP Publishing, s. 012009 (se s. 2).
- Wullink, G., Van Houdenhoven, M., Hans, E. W., Oostrum, J. M. van, Lans, M. van der og Kazemier, G. (2007). “Closing emergency operating rooms improves efficiency”. I: *Journal of Medical Systems* 31 (6), s. 543–546 (se s. 20).

Vedlegg

A Modellnotasjon for Basismodellen og AKM-modellene

Indekser

g	Spesialisme
i, j	Pasient
r	Rom
s	Kirurg
t	Tidsenhet
n	Type operasjonssykepleier
m	Mønster

Mengder

\mathcal{G}	Alle spesialismer
\mathcal{I}	Alle pasienter
\mathcal{R}	Alle rom
\mathcal{S}	Alle kirurger
\mathcal{T}	Alle tidsperioder
\mathcal{N}	Alle typer operasjonssykepleiere
\mathcal{M}^G	Mengden mønster innen spesialisme g
\mathcal{I}_g^G	Alle pasienter innen spesialisme g
\mathcal{I}_n^N	Alle pasienter som bruker operasjonssykepleiere av type n
\mathcal{R}_g^G	Alle rom innen spesialisme g
\mathcal{S}_g^G	Alle kirurger innen spesialisme g

Tidsparametere

T^K	Klargjøringstid
T_i^{IN}	Inngrepstid for pasient i
T_i^{FI}	Forbredelsestid for inngrepet på pasient i
T_i^{OP}	Akkumulert operasjonstid for pasient i
T_i^{OR}	Akkumulert romtid for pasient i
T_i^{OT}	Akkumulert operasjonsteatertid for pasient i
T^{RT}	Regulær åpningstid på rommene

- $\mathcal{T}_i^R(t)$ Pasient og tidspesifikk mengde av tidsperioder der pasient i okkuperer et rom dersom pasient i har operasjonsstarttid i tidsperiode t .
- $\mathcal{T}_i^A(t)$ Pasient og tidspesifikk mengde av tidsperioder der pasient i bruker en anestesilege dersom pasient i har operasjonsstarttid i tidsperiode t .
- $\mathcal{T}_i^B(t)$ Pasient og tidspesifikk mengde av tidsperioder der pasient i bruker en oppvåkningsseng på PACU dersom pasient i har operasjonsstarttid i tidsperiode t .
- $\mathcal{T}_i^N(t)$ Pasient og tidspesifikk mengde av tidsperioder der pasient i bruker operasjonssykepleiere dersom pasient i starter operasjon i tidsperiode t .
- $\mathcal{T}_i^O(t)$ Mengden av tidsperioder som pasient i må starte operasjon i dersom pasient i skal okkupere et rom i tidsperiode t .
- $\mathcal{T}_i^K(t)$ Mengden av tidsperioder som pasient i må starte operasjon i dersom pasient i skal okkupere en kirurg i tidsperiode t .

Kostnadsparametere

- C^A Kostnaden av en anestesilege per dag.
- C^B Kostnaden av en PACU-oppvåkningsseng per dag.
- C_n^N Kostnaden av en operasjonssykepleier av type n per dag.
- C^R Kostnaden av å åpne et rom i løpet av planleggingsdagen.
- C_s^S Kostnaden av å ha kirurg s på jobb i løpet av planleggingsdagen.
- C^{OT} Kostnaden av å anvende et rom på overtid, per tidsenhet.
- C_i^{PP} Kostnaden av å utsette pasient i .
- C_g^{BII} Kostnaden per tidsenhet en ikke kan starte en ny operasjon innen spesialime g .
- C_{gm}^M Kostnaden av mønster (g,m)

Øvrige parametere

- A_i^N Antall operasjonssykepleiere som trengs under operasjonen til pasient i .
- \bar{B}_g^A Øvre grense for akseptert antall etterfølgende tidsperioder der en ikke kan starte en ny operasjon innen spesialime g
- \bar{B}_g^S Øvre grense for antall etterfølgende tidsperioder som gir god nok beredskap innen spesialime g
- V_{igmt} Parameter for starttid i for pasient i i mønster (g,m) . Er lik 1 dersom pasient i starter i tidsperiode t i mønster (g,m) , 0 ellers
- D_{igmt} Parameter for inklusjon av pasient i i mønster (g,m) . Er lik 1 dersom pasient i inngår i mønster (g,m) , 0 ellers
- I_{ijgm} Rekkefølgeparameter. Er lik 1 dersom pasient i opereres før pasient j i mønster (g,m) , 0 ellers

Variable

- v_{irt} Operasjonsstartvariabel. Er lik 1 dersom pasient i starter operasjon på rom r i tidsperiode t , 0 ellers.
- u_{irt} Romokkupasjonsvariabel. Er lik 1 dersom pasient i okkuperer rom r i tidsperiode t , 0 ellers.
- w_{ist} Kirurgokkupasjonsvariabel. Er lik 1 dersom pasient i okkuperer kirurg s i tidsperiode t , 0 ellers.
- e_i Utsettelsesvariabel. Er lik 1 dersom pasient i utsettes, 0 hvis ikke.
- z_{gt} Beredskapsvariabel. Er lik 1 dersom spesialisme g ikke kan starte en ny operasjon i tidsperiode t , 0 hvis ikke.
- f_{gt} BII-variabel. Teller antall etterfølgende tidsperioder der z_{gt} er lik 1, frem til tidsperiode t .
- \hat{f}_{gt} Registrerer toppunktverdier av BII. Er lik verdien av f_{gt} dersom $f_{g(t+1)}$ er lik 0, 0 ellers.
- t_r^{OT} Overtidsvariabel. Oppgir antall overtidstimer som er nødvendig på rom r for å gjennomføre operasjonstimeplanen.
- y_r^R Variabel for åpent rom. Er lik 1 dersom rom r åpnes i løpet av planleggingsdagen, 0 ellers.
- y_s^S Variabel for kirurg på jobb. Er lik 1 dersom kirurg s er på jobb i løpet av planleggingsdagen, 0 ellers.
- x^A Antall anestesileger som er nødvendig for å gjennomføre operasjonstimeplanen.
- x^B Antall oppvåkningssenger på PACU som er nødvendig for å gjennomføre operasjonstimeplanen.
- x_n^N Antall sykepleiere av type n som er nødvendig for å gjennomføre operasjonstimeplanen.
- λ_{gm} Variabel for valg av mønster. Er lik 1 dersom mønster (gm) velges, og 0 ellers.

B Basismodellen

$$\begin{aligned} \min \omega = & C^A x^A + C^B x^B + \sum_{n \in \mathcal{N}} C_n^N x_n^N + \sum_{r \in \mathcal{R}} C^R y_r^R + \sum_{s \in \mathcal{S}} C^S y_s^S + \\ & \sum_{r \in \mathcal{R}} C^{OT} t_r^{OT} + \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^{PP} e_i + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g^{BII} \hat{f}_{gt} \end{aligned} \quad (58)$$

$$\sum_{r \in \mathcal{R}_g} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} + e_i = 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (59)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} u_{irt} - y_r^R \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (60)$$

$$\sum_{t' \in \mathcal{T}_i^R(t)} u_{irt'} - T_i^{OR} v_{irt} \geq 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (61)$$

$$\sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} u_{irt} - T_i^{OR} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (62)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} w_{ist} - y_s^S \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (63)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} w_{ist} + e_i \leq 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (64)$$

$$w_{ist} - w_{is(t-1)} - \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} v_{ir(t-T_i^{FI})} \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G, i \in \mathcal{I}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (65)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} w_{ist} - T_i^{IN} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (66)$$

$$x^A \geq \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^A(t)} v_{irt'} \quad t \in \mathcal{T} \quad (67)$$

$$x_n^N \geq \sum_{i \in \mathcal{I}_n^N} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^N(t)} A_i^N \cdot v_{irt'} \quad n \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (68)$$

$$x^B \geq - \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^B(t)} v_{irt'} \quad t \in \mathcal{T} \quad (69)$$

$$t_r^{OT} \geq t \cdot u_{irt} - T^{RT} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (70)$$

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{s \in \mathcal{S}_g^S} y_s^S + \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{s \in \mathcal{S}_g^S} w_{ist} - \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} v_{ir(t-T_i^{FI})} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (71)$$

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{r \in \mathcal{R}_g^R} y_r^R + \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} u_{irt} - \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t' \in [t-T_i^{FI}, t]} v_{irt'} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (72)$$

$$f_{gt} \geq f_{g(t-1)} + z_{gt} - \bar{B}_g^A (1 - z_{gt}) \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (73)$$

$$f_{gt} \leq \bar{B}_g^A \cdot z_{gt} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (74)$$

$$\hat{f}_{gt} \geq f_{gt} - f_{g(t+1)} - \bar{B}_g^S \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (75)$$

B Basismodellen

$$v_{irt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (76)$$

$$u_{irt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (77)$$

$$w_{ist} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, s \in \mathcal{S}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (78)$$

$$e_i \in \{0, 1\} \quad i \in \mathcal{I} \quad (79)$$

$$z_{gt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (80)$$

$$y_r^R \in \{0, 1\} \quad r \in \mathcal{R} \quad (81)$$

$$y_s^S \in \{0, 1\} \quad s \in \mathcal{S} \quad (82)$$

$$t_r^{OT} \geq 0, \text{ integer} \quad r \in \mathcal{R} \quad (83)$$

$$f_{gt}, \hat{f}_{gt} \geq 0, \text{ integer} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (84)$$

$$x^A, x^B \geq 0, \text{ integer} \quad (85)$$

$$x_n^N \geq 0, \text{ integer} \quad n \in \mathcal{N} \quad (86)$$

C Apriori kolonnegereringsmodell

C.1 Apriori kolonnegereringsmodell 1 (AKM1)

$$\begin{aligned} \min \alpha = & C^A x^A + C^B x^B + \sum_{n \in \mathcal{N}} C_n^N x_n^N + \sum_{s \in \mathcal{S}} C^S y_s^S + \sum_{r \in \mathcal{R}} C^{OT} t_r^{OT} \\ & + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} C_{gm}^M \lambda_{gm} + \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^{PP} e_i + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g^{BII} \hat{f}_{gt} \end{aligned} \quad (87)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \lambda_{gm} \leq |\mathcal{R}_g^G| \quad g \in \mathcal{G} \quad (88)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} D_{igm} \lambda_{gm} + e_i = 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (89)$$

$$\sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} D_{igm} \lambda_{gm} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (90)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} u_{irt} - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} D_{igm} \lambda_{gm} \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (91)$$

$$\sum_{t' \in \mathcal{T}_i^{R}(t)} u_{irt'} - T_i^{OR} v_{irt} \geq 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (92)$$

$$\sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} u_{irt} - T_i^{OR} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (93)$$

C Apriori kolonnegenereringsmodell

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} w_{ist} - y_s^S \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (94)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} w_{ist} + e_i \leq 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (95)$$

$$w_{ist} - w_{is(t-1)} - \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} v_{ir(t-T_i^{FI})} \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, t \quad (96)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} w_{ist} - T_i^{IN} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (97)$$

$$x^A \geq \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^A(t)} v_{irt'} \quad t \in \mathcal{T} \quad (98)$$

$$x_n^N \geq \sum_{i \in \mathcal{I}_n^N} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^N(t)} A_i^N \cdot v_{irt'} \quad n \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (99)$$

$$x^B \geq \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^B(t)} v_{irt'} \quad t \in \mathcal{T} \quad (100)$$

$$t_r^{OT} \geq t \cdot u_{irt} - T^{RT} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (101)$$

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{s \in \mathcal{S}_g^S} y_s^S + \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} w_{ist} - \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} v_{ir(t-T_i^{FI})} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (102)$$

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \lambda_{gm} + \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} u_{irt} - \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t' \in [t-T_i^{FI}, t]} v_{irt'} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (103)$$

$$f_{gt} \geq f_{g(t-1)} + z_{gt} - \bar{B}_g^A (1 - z_{gt}) \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (104)$$

$$f_{gt} \leq \bar{B}_g^A \cdot z_{gt} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (105)$$

$$\hat{f}_{gt} \geq f_{gt} - f_{g(t+1)} - \bar{B}_g^S \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (106)$$

$$v_{irt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (107)$$

$$u_{irt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (108)$$

$$w_{ist} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, s \in \mathcal{S}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (109)$$

$$e_i \in \{0, 1\} \quad i \in \mathcal{I} \quad (110)$$

$$z_{gt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (111)$$

$$y_s^S \in \{0, 1\} \quad s \in \mathcal{S} \quad (112)$$

$$t_r^{OT} \geq 0, \text{ integer} \quad r \in \mathcal{R} \quad (113)$$

$$f_{gt}, \hat{f}_{gt} \geq 0, \text{ integer} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (114)$$

$$x^A, x^B \geq 0, \text{ integer} \quad (115)$$

$$x_n^N \geq 0, \text{ integer} \quad n \in \mathcal{N} \quad (116)$$

C.2 Apriori kolonnegereringsmodell 2 (AKM2)

$$\begin{aligned} \min \alpha = & C^A x^A + C^B x^B + \sum_{n \in \mathcal{N}} C_n^N x_n^N + \sum_{s \in \mathcal{S}} C^S y_s^S + \sum_{r \in \mathcal{R}} C^{OT} t_r^{OT} \\ & + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} C_{gm}^M \lambda_{gm} + \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^{PP} e_i + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g^{BII} \hat{f}_{gt} \end{aligned} \quad (117)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \lambda_{gm} \leq |\mathcal{R}_g^G| \quad g \in \mathcal{G} \quad (118)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} D_{igm} \lambda_{gm} + e_i = 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (119)$$

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} v_{irt} - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} D_{igm} \lambda_{gm} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (120)$$

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} t v_{jrt} - \sum_{t \in \mathcal{T}} t v_{irt} - T_i^{IN} + T^{TOT} (1 - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} I_{ijgm} \lambda_{gm}) \geq 0 \quad g \in \mathcal{G}, r \in \mathcal{R}_g^G, i, j \in \mathcal{I}_g^G \quad (121)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} u_{irt} - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} D_{igm} \lambda_{gm} \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (122)$$

$$\sum_{t' \in \mathcal{T}_i^{OR}(t)} u_{irt'} - T_i^{OR} v_{irt} \geq 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (123)$$

$$\sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} u_{irt} - T_i^{OR} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (124)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} w_{ist} - y_s^S \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (125)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} w_{ist} + e_i \leq 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (126)$$

$$w_{ist} - w_{is(t-1)} - \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} v_{ir(t-T_i^{FI})} \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G, i \in \mathcal{I}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (127)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} w_{ist} - T_i^{IN} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (128)$$

$$x^A \geq \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^A(t)} v_{irt'} \quad t \in \mathcal{T} \quad (129)$$

$$x_n^N \geq \sum_{i \in \mathcal{I}_n^N} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^N(t)} A_i^N \cdot v_{irt'} \quad n \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (130)$$

$$x^B \geq \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^B(t)} v_{irt'} \quad t \in \mathcal{T} \quad (131)$$

$$t_r^{OT} \geq t \cdot u_{irt} - T^{RT} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (132)$$

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} y_s^S + \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} w_{ist} - \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} v_{ir(t-T_i^{FI})} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (133)$$

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \lambda_{gm} + \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} u_{irt} - \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t' \in [t-T_i^{FI}, t]} v_{irt'} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (134)$$

$$f_{gt} \geq f_{g(t-1)} + z_{gt} - \bar{B}_g^A (1 - z_{gt}) \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (135)$$

$$f_{gt} \leq \bar{B}_g^A \cdot z_{gt} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (136)$$

$$\hat{f}_{gt} \geq f_{gt} - f_{g(t+1)} - \bar{B}_g^S \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (137)$$

C Apriori kolonnegenereringsmodell

$$v_{irt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (138)$$

$$u_{irt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, r \in \mathcal{R}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (139)$$

$$w_{ist} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, s \in \mathcal{S}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (140)$$

$$e_i \in \{0, 1\} \quad i \in \mathcal{I} \quad (141)$$

$$z_{gt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (142)$$

$$y_s^S \in \{0, 1\} \quad s \in \mathcal{S} \quad (143)$$

$$t_r^{OT} \geq 0, \text{ integer} \quad r \in \mathcal{R} \quad (144)$$

$$f_{gt}, \hat{f}_{gt} \geq 0, \text{ integer} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (145)$$

$$x^A, x^B \geq 0, \text{ integer} \quad (146)$$

$$x_n^N \geq 0, \text{ integer} \quad n \in \mathcal{N} \quad (147)$$

C.3 Apriori kolonnegenereringsmodell 3 (AKM3)

$$\begin{aligned} \min \omega = & C^A x^A + C^B x^B + \sum_{n \in \mathcal{N}} C_n^N x_n^N + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} C_{gm}^M \lambda_{gm} + \\ & \sum_{s \in \mathcal{S}} C^S y_s^S + \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^{PP} e_i + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g^{BII} \hat{f}_{gt} \end{aligned} \quad (148)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^R} \lambda_{gm} \leq |\mathcal{R}_g^G| \quad g \in \mathcal{G} \quad (149)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} V_{igmt} \lambda_{gm} + e_i = 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (150)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} w_{ist} - y_s^S \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (151)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} w_{ist} - \sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} w_{is(t-1)} - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} V_{igm(t-T_i^{FI})} \lambda_{gm} \leq 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (152)$$

$$\sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} w_{ist} - T_i^{IN} \sum_{r \in \mathcal{R}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} v_{irt} = 0 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (153)$$

$$x^A \geq \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^R} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^A(t)} V_{igmt'} \lambda_{gm} \quad t \in \mathcal{T} \quad (154)$$

$$x_n^N \geq \sum_{i \in \mathcal{I}_n^N} \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^R} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^N(t)} A_i^N \cdot V_{igmt'} \lambda_{gm} \quad n \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (155)$$

$$x^B \geq \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^B(t)} V_{igmt'} \lambda_{gm} \quad t \in \mathcal{T} \quad (156)$$

$$(157)$$

C Apriori kolonnegenereringsmodell

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{s \in \mathcal{S}_g^S} y_s^S + \sum_{s \in \mathcal{S}_g^S} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} w_{ist} - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} V_{igm(t-T_i^{FI})} \lambda_{gm} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (158)$$

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \lambda_{gm} + \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^O(t)} V_{igmat'} \lambda_{gm} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (159)$$

$$f_{gt} \geq f_{g(t-1)} + z_{gt} - \overline{B}_g^A (1 - z_{gt}) \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (160)$$

$$f_{gt} \leq \overline{B}_g^A \cdot z_{gt} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (161)$$

$$\hat{f}_{gt} \geq f_{gt} - f_{g(t+1)} - \overline{B}_g^S \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (162)$$

$$\lambda_{gm} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, m \in \mathcal{M}_g^G \quad (163)$$

$$w_{ist} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G, s \in \mathcal{S}_g^G, t \in \mathcal{T} \quad (164)$$

$$e_i \in \{0, 1\} \quad i \in \mathcal{I} \quad (165)$$

$$z_{gt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (166)$$

$$y_s^S \in \{0, 1\} \quad s \in \mathcal{S} \quad (167)$$

$$f_{gt}, \hat{f}_{gt} \geq 0, \text{ integer} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (168)$$

$$x^A, x^B \geq 0, \text{ integer} \quad (169)$$

$$x_n^N \geq 0, \text{ integer} \quad n \in \mathcal{N} \quad (170)$$

C.4 Apriori kolonnegenereringsmodell 4 (AKM4)

$$\begin{aligned} \min \omega = & C^A x^A + C^B x^B + \sum_{n \in \mathcal{N}} C_n^N x_n^N + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} C_{gm}^M \lambda_{gm} + \\ & \sum_{s \in \mathcal{S}} C^S y_s^S + \sum_{i \in \mathcal{I}} C_i^{PP} e_i + \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g^{BII} \hat{f}_{gt} \end{aligned} \quad (171)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \lambda_{gm} \leq |\mathcal{R}_g^G| \quad g \in \mathcal{G} \quad (172)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} V_{igmt} \lambda_{gm} + e_i = 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (173)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} Q_{isgmt} \lambda_{gm} + e_i = 1 \quad g \in \mathcal{G}, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (174)$$

$$\sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{t \in \mathcal{T}} Q_{isgmt} \lambda_{gm} - y_s^S = 0 \quad g \in \mathcal{G}, s \in \mathcal{S}_g^G, i \in \mathcal{I}_g^G \quad (175)$$

$$\bar{x}^A \geq \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^R} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^A(t)} V_{igmt'} \lambda_{gm} \quad t \in \mathcal{T} \quad (176)$$

$$\bar{x}_n^N \geq \sum_{i \in \mathcal{I}_n^N} \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^N(t)} A_i^N \cdot V_{igmt'} \lambda_{gm} \quad n \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \quad (177)$$

$$\bar{x}^B \geq \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^B(t)} V_{igmt'} \lambda_{gm} \quad t \in \mathcal{T} \quad (178)$$

$$(179)$$

C Apriori kolonnegenereringsmodell

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \lambda_{gm} + \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{s \in \mathcal{S}_g^G} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^K(t)} Q_{isgmt'} \lambda_{gm} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (180)$$

$$z_{gt} \geq 1 - \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \lambda_{gm} + \sum_{m \in \mathcal{M}_g^G} \sum_{i \in \mathcal{I}_g^G} \sum_{t' \in \mathcal{T}_i^O(t)} V_{igmt'} \lambda_{gm} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (181)$$

$$f_{gt} \geq f_{g(t-1)} + z_{gt} - \bar{B}_g^A (1 - z_{gt}) \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (182)$$

$$f_{gt} \leq \bar{B}_g^A \cdot z_{gt} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (183)$$

$$\hat{f}_{gt} \geq f_{gt} - f_{g(t+1)} - \bar{B}_g^S \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (184)$$

$$\lambda_{gm} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, m \in \mathcal{M}_g^G \quad (185)$$

$$e_i \in \{0, 1\} \quad i \in \mathcal{I} \quad (186)$$

$$z_{gt} \in \{0, 1\} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (187)$$

$$y_s^S \in \{0, 1\} \quad s \in \mathcal{S} \quad (188)$$

$$f_{gt}, \hat{f}_{gt} \geq 0, \text{ integer} \quad g \in \mathcal{G}, t \in \mathcal{T} \quad (189)$$

$$x^A, x^B \geq 0, \text{ integer} \quad (190)$$

$$x_n^N \geq 0, \text{ integer} \quad n \in \mathcal{N} \quad (191)$$

D Genereringsmodellene

D.1 G-AKM3

Algorithm 4 Generering av null-mønstre i G-AKM3-modellene

```
1:  $m = 0$ 
2: for all  $g \in \mathcal{G}$  do
3:    $m = m + 1$ 
4:   Spesialisme( $m$ ) =  $g$ 
5:   Pasienter( $m$ ) = [ ]
6:   Sistetid( $m$ ) = 0
7:   Starttider( $m$ ) = [ ]
8:   Kostnad( $m$ ) =  $\mathcal{C}_g^R$ 
9:   for all  $h \in \mathcal{H}_g^G$  do
10:     $\mathcal{I}_{gh}^H = \mathcal{I}_{ghm}^{HM}$ 
```

Algorithm 5 Generering av mønstre med pasienter G-AKM3

```
1: Pcnt = 1
2: while Pcnt  $\leq m$  do
3:   for all  $g = \text{Spesialisme}(\text{Pcnt})$  do
4:     for all  $h \in \mathcal{H}_g^G$  do
5:       if  $|\mathcal{I}_{gh\text{Pcnt}}^{HM}| > 0$  then
6:         for all  $i \in \mathcal{I}_{gh\text{Pcnt}}^{HM}$  do
7:           for all  $t \in \mathcal{T} \mid t \geq \text{LastTime}(\text{Pcnt}), t + \mathcal{T}_i^{OT} - 1 \leq \mathcal{T}^{TOT}$  do
8:              $m = m + 1$ 
9:             Oppdater AKM3-mønster
10:   Pcnt = Pcnt + 1
```

Algorithm 6 Oppdater AKM3-mønster

```

1: Spesialisme( $m$ ) = Spesialisme(Pcnt)
2: Pasienter( $m$ ) = Pasienter(Pcnt) +  $\{i\}$ 
3: Sistetid( $m$ ) =  $t + \mathcal{T}_i^{OR} - 1$ 
4: Starttider( $m$ ) = Starttider(Pcnt) +  $\{t\}$ 
5: Kostnad( $m$ ) =  $\mathcal{C}_g^R + \max(0, \text{LastTime}(m) - T^{RT}) * \mathcal{C}^{OT}$ 
6: for all  $l \in \mathcal{H}_g^G$  do
7:    $\mathcal{I}_{glm}^{HM} = \mathcal{I}_{glPcnt}^{HM}$ 
8:  $\mathcal{I}_{ghm}^{HM} = \mathcal{I}_{ghm}^{HM} - \{i\}$ 

```

D.2 G-AKM1-M

Algorithm 7 Generering av mønstre med en pasient i G-AKM3-M

```

1: Pcnt = 1
2: while Pcnt  $\leq |\mathcal{G}|$  do
3:   for all  $g = \text{Spesialisme}(\text{Pcnt})$  do
4:     for all  $h \in \mathcal{H}_g^G$  do
5:       if  $|\mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM}| > 0$  then
6:         for all  $i \in \mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM}$  do
7:           for all  $t \in \mathcal{T} \mid t \geq \text{LastTime}(\text{Pcnt}), t + \mathcal{T}_i^{OT} - 1 \leq \mathcal{T}^{TOT}$  do
8:              $m = m + 1$ 
9:             Oppdater AKM3-mønster
10:    Pcnt = Pcnt + 1

```

Algorithm 8 Generering av mønstre med mer enn en pasient i G-AKM3-M

```

1: Pcnt =  $|\mathcal{G}| + 1$ 
2: while Pcnt  $\leq m$  do
3:   for all  $g = \text{Spesialisme}(\text{Pcnt})$  do
4:     for all  $h \in \mathcal{H}_g^G$  do
5:       if  $|\mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM}| > 0$  then
6:         for all  $i \in \mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM}$  do
7:           for all  $t \in \mathcal{T} \mid t \geq \text{LastTime}(\text{Pcnt}), t + \mathcal{T}_i^{OT} - 1 \leq \mathcal{T}^{TOT},$ 
              $t \leq \text{LastTime}(\text{Pcnt}) + 2$  do
8:              $m = m + 1$ 
9:             Oppdater AKM3-mønster
10:    Pcnt = Pcnt + 1

```

D.3 G-AKM3-MO

Algorithm 9 Generering av mønstre med en pasient er i G-AKM3-MO

```

1: Pcnt = 1
2: while Pcnt ≤ |G| do
3:   for all g i G do
4:     for all h i HgG do
5:       if |Ig,h,PcntHM| > 0 then
6:         for all i ∈ Ig,h,PcntHM | i = Ig,h,PcntHM(1) do
7:           for all t i T | t + TiOT - 1 ≤ TTOT do
8:             m = m + 1
9:             Oppdater AKM3-mønster
10:    Pcnt = Pcnt + 1

```

Algorithm 10 Generering av mønstre med mer enn en pasient i G-AKM3-MO

```

1: Pcnt = |G| + 1
2: while Pcnt ≤ m do
3:   for all g = Spesialisme(Pcnt) do
4:     for all h ∈ HgG do
5:       if |Ig,h,PcntHM| > 0 then
6:         for all i ∈ Ig,h,PcntHM | i = Ig,h,PcntHM(1) do
7:           for all t ∈ T | t ≥ LastTime(Pcnt), t + TiOT - 1 ≤ TTOT,
             t ≤ LastTime(Pcnt) + 2 do
8:             m = m + 1
9:             Oppdater AKM3-mønster
10:    Pcnt = Pcnt + 1

```

D.4 G-AKM1

Algorithm 11 Generering av null-mønstre i G-AKM1-modellene

```

1:  $m = 0$ 
2: for all  $g \in \mathcal{G}$  do
3:    $m = m + 1$ 
4:   Spesialisme( $m$ ) =  $g$ 
5:   UsedTime( $m$ ) = 0
6:   Pasienter( $m$ ) = []
7:    $\mathcal{I}_{gl}^H = \mathcal{I}_{gl}^H$ 

```

Algorithm 12 Generering av mønstre med pasienter i G-AKM1

```

1: Pcnt = 1
2: while Pcnt  $\leq m$  do
3:   for all  $g = \text{Spesialisme}(\text{Pcnt})$  do
4:     for all  $h \in \mathcal{H}_g^G$  do
5:       if  $|\mathcal{I}_{g,h,\text{Pcnt}}^{HM}| > 0$  then
6:         for all  $i \in \mathcal{I}_{g,h,\text{Pcnt}}^{HM}$  do
7:            $m = m + 1$ 
8:           Oppdater AKM1-mønster
9:   Pcnt = Pcnt + 1

```

Algorithm 13 Oppdater AKM1-mønster

```

1: Spesialisme( $m$ ) = Spesialisme(Pcnt)
2: Pasienter( $m$ ) = Pasienter(Pcnt) +  $\{i\}$ 
3: Sistetid( $m$ ) = Sistetid(Pcnt) +  $\mathcal{T}_i^{OT}$ 
4: for all  $l \in \mathcal{H}_g^G$  do
5:    $\mathcal{I}_{glm}^{HM} = \mathcal{I}_{gl\text{Pcnt}}^{HM}$ 
6:  $\mathcal{I}_{ghm}^{HM} = \mathcal{I}_{ghm}^{HM} - \{i\}$ 

```

D.5 G-AKM1-O

Algorithm 14 Generering av mønstre med en pasient er i G-AKM1-O

```

1: Pcnt = 1
2: while Pcnt ≤ |  $\mathcal{G}$  | do
3:   for all  $g$  i  $\mathcal{G}$  do
4:     for all  $h$  i  $\mathcal{H}_g^G$  do
5:       if |  $\mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM}$  | > 0 then
6:         for all  $i \in \mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM} \mid i = \mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM}(1)$  do
7:            $m = m + 1$ 
8:           Oppdater AKM1-mønster
9:   Pcnt = Pcnt + 1

```

Algorithm 15 Generering av mønstre med mer enn en pasient i G-AKM1-O

```

1: Pcnt = |  $\mathcal{G}$  | + 1
2: while Pcnt ≤  $m$  do
3:   for all  $g = \text{Spesialisme}(\text{Pcnt})$  do
4:     for all  $h \in \mathcal{H}_g^G$  do
5:       if |  $\mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM}$  | > 0 then
6:         for all  $i \in \mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM} \mid i = \mathcal{I}_{g,h,Pcnt}^{HM}(1)$  do
7:            $m = m + 1$ 
8:           Oppdater AKM1-mønster
9:   Pcnt = Pcnt + 1

```

E Resultater fra empiriske analyse av G-AKM3- og G-AKM1-modellene

Beste modell for generering av kolonner til AKM2 for alle små, mellomstore og store instanser

Resultatene for den empiriske analysen av generatormodellene for problemer av liten, mellomstor og stor størrelse er presentert henholdsvis i tabell 50, 51 og 52. I tabellene presenteres generatormodellen som presenterer best for hver instans og hver AKM3-formulering. Tilfeller der G-AKM3 gir best resultater er markert med «3», mens tilfellene der G-AKM3-M og G-AKM3-MO presterer best markeres henholdsvis med «M» og «MO». Tilfeller der ingen genereringsmodeller har generert kolonner for en instans innen grensen for kjøretid markeres med N/A. N/S tilsier at det ikke ble funnet noen mulige løsninger innen grensen for kjøretid for AKM-modellene, mens O/M markerer kjøring som overskrider minnekapasiteten.

Tilfeller der G-AKM3 ikke gir noen løsning markeres med en stjerne bak resultatet i den respektive cellen. I disse tilfellene inngår altså kun de heuristiske genereringsmodellene i sammenligningen. I tilfeller der heller ikke G-AKM2-M gir noen løsning er markeres dette med to stjerner. I disse tilfellene er det kun G-AKM3-MO som gir resultater.

TD	Dag	AKM3	AKM3R	AKM3S	AKM3RS
20	1	MO	MO	MO	MO
	2	M	M	MO	MO
	3	MO	MO	MO	MO
15	1	MO	MO	MO	MO
	2	MO	MO	M	3
	3	MO*	MO	MO*	MO
10	1	MO*	M*	MO*	MO*
	2	MO*	MO	MO	MO
	3	MO**	MO**	MO*	MO**

Tabell 50: Beste genereringsmodell for små instanser i AKM3.

TD	Dag	AKM3	AKM3R	AKM3S	AKM3RS
20	1	M	M	M	3
	2	M	M	M	M
	3	MO**	MO**	MO**	MO**
15	1	MO*	MO*	MO*	M*
	2	MO**	MO**	MO**	MO**
	3	MO**	MO**	MO**	MO**
10	1	N/A	N/A	N/A	N/A
	2	N/A	N/A	N/A	N/A
	3	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabell 51: Beste genereringsmodell for mellomstore instanser i AKM3

TD	Dag	AKM3	AKM3R	AKM3S	AKM3RS
20	1	M	M	M	M
	2	MO*	MO*	MO*	MO*
	3	MO**	MO**	MO**	MO**
15	1	MO**	MO**	MO**	MO**
	2	MO**	MO**	MO**	MO**
	3	MO**	MO**	MO**	MO**
10	1	N/A	N/A	N/A	N/A
	2	N/A	N/A	N/A	N/A
	3	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabell 52: Beste genereringsmodell for mellomstore instanser i AKM3.

Beste modell for generering av kolonner til AKM1 for alle små, mellomstore og store instanser

TD	Dag	AKM1	AKM1R	AKM1S	AKM1RS
20	1	1	O	O	O
	2	1	1	O	1
	3	O	1	1	O
15	1	O	O	1	O
	2	1	O	O	O
	3	O	1	1	1/O
10	1	1	O	O	1/O
	2	1	1/O	1	O
	3	1/O	1/O	1/O	1/O

Tabell 53: Beste genereringsmodell for små instanser i AKM1.

TD	Dag	AKM1	AKM1R	AKM1S	AKM1RS
20	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1
	3	1	1	1	1
15	1	O	O	1	O
	2	1	1	1	O
	3	O	1	N/A	1
10	1	O	O	O	O
	2	O	1	1	O
	3	O*	O*	O*	O*

Tabell 54: Beste genereringsmodell for mellomstore instanser i AKM1.

TD	Dag	AKM1	AKM1R	AKM1S	AKM1RS
20	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1
	3	1	1	1	1
15	1	O	O	1	O
	2	O	O	O	O
	3	O*	O*	O*	O*
10	1	O	1	1	O
	2	O*	O*	O*	O*
	3	O*	O*	O*	O*

Tabell 55: Beste genereringsmodell for store instanser i AKM1.

F Resultater fra stor instans, dag 1 og 2 med tidsdiskretisering på 20 minutter

TD 20, dag 1		AKM3	AKM3R	AKM3	AKM3
Generator 2	Beste løsning	158	167	170	161
	LP-verdi	135	135	135	135
	Løsningstid	3600	3600	3600	3600
	Gap	4.4 %	13.8 %	12.1 %	10.3 %
Generator 21	Beste løsning	157	165	157	170
	LP-verdi	135060	135060	135148	143100
	Løsningstid	3600	3600	3600	3600
	Gap	4.1 %	10.9 %	2.5 %	16.0 %
Generator 22	Beste løsning	212	212	212	212
	LP-verdi	192	192	192	192
	Løsningstid	11	17	6	11
	Gap	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %

Tabell 56: Resultater for test av AKM3-modeller med ulike genereringsmodeller for Stor instans, Dag 1 og 20 minutters tidsdiskretisering. I dette tilfellet gir G-AKM-MO optimal løsning med høyere målfunksjonsverdi enn ikke-optimal løsning i for de to andre genereringsmodellene. Dette indikerer at mønstre som inngår i den optimale løsningen av det opprinnelige problemet ikke er representert blant de genererte mønstrene i genereringsmodell G-AKM2-MO.

TD 20, dag 2		AKM3	AKM3R	AKM3S	AKM3
Generator 2	Beste løsning	344	349	346	366
	LP-verdi	300	300	304	304
	Løsningstid	3600	3600	3600	3600
	Gap	4.3 %	8.9 %	5.1 %	13.2 %
Generator 21	Beste løsning	343	344	342	345
	LP-verdi	301	301	304	304
	Løsningstid	3600	3600	3600	3600
	Gap	3.5 %	5.0 %	2.2 %	6.3 %
Generator 22	Beste løsning	347	347	347	347
	LP-verdi	317	317	317	317
	Løsningstid	512	160	114	132
	Gap	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %

Tabell 57: Resultater for test av AKM3-modeller med ulike genereringsmodeller for Stor instans, Dag 2 og 20 minutters tidsdiskretisering. Samme tilfelle som for samme instans for Dag 1 ovenfor; tilfelle der mønstre som inngår i den optimale løsningen av det opprinnelige problemet er ikke representert i mengden av genererte mønstrene i G-AKM2-MO.