



Nete Bjerregaard
Tenna Hovedskou Andersen

ANALYSE AF TIDSPLAN FOR ET PROJEKT - SIMULERING OG RISIKOSTYRING

AALBORG UNIVERSITET - DET TEKNISK-NATURVIDENSKABELIGE FAKULTET
STUDIENÆVNET FOR MATEMATIK, FYSIK OG NANOTEKNOLOGI
KANDIDATAFHANDLING - CAND.SCIENT.OECON. I OPERATIONSANALYSE

Titelblad:

Analyse af tidsplan for et projekt
- Simulering og risikostyring

Semester:

4. semester, kandidatuddannelse

Projektperiode:

Forår 2016

Uddannelsessted:

Aalborg Universitet

Studieretning

Cand.scient.oecon. med speciale i
operationsanalyse

Specialegruppedeltagere:

Tenna Hovedskou Andersen
Nete Bjerregaard

Vejleder:

Peter Nielsen

Bivejleder:

Jesper Kranker Larsen

Virksomhed:

Forsvarsministeriets
Ejendomsstyrelse

Kandidatspeciale: 59 sider

Bilag: 3 stk.

Færdiggjort den 01.06.16

Synopsis

Dette speciale omhandler et simuleringsstudie af en tidsplan for et projekt. Det tager udgangspunkt i en undren over den begrænsede litteratur omhandlende brugen af simulering kombineret med risikostyring. Formålet er at identificere de fænomener, som påvirker en tidsplan for et projekt, og en måde hvorpå disse kan håndteres. Ved undersøgelse af forskellige scenarier, baseret på bl.a. risikofaktorer, testes det for hvordan disse forskellige ændringer påvirker gennemløbstiden for udførelsen af et projekt. Dette baseres på data fra et byggeprojekt hos Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse. Konklusion heraf er, at der skal være øget opmærksomhed på processer, der påvirkes af udefrakommende risikofaktorer, som virksomheden ikke har nogen indflydelse på, samt særlig opmærksomhed på processer der ligger på projektets kritiske veje.



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

FORORD

Denne rapport er udarbejdet af Tenna Hovedskou Andersen og Nete Bjerregaard i forbindelse med 4. semester på kandidatuddannelsen matematik-økonomi med speciale i operationsanalyse ved det Tekniske-Naturvidenskabelige Fakultet ved Aalborg Universitet. Rapporten er udarbejdet i henhold til studieordningen af september 2012 fra Studienævnet for Matematik, Fysik og Nanoteknologi.

Rapporten er udarbejdet med bidrag fra Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse.

Formålet og baggrunden for udarbejdelsen af denne rapport har været at undersøge hvilke risikofaktorer der påvirker udførelsen af et projekt, og hvilke udfordringer dette kan give i forbindelse med planlægning af et projekt. Med data givet fra Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse har det været muligt at opstille et simuleringsværktøj, som gør det muligt at identificere forhold med risiko for overskridelse af en tidsplan. Dette er både lærerigt for specialegruppen og brugbart for virksomheder, der arbejder projektbaseret.

Rapporten er udarbejdet i perioden 01.02.16 til 01.06.16.

Specialegruppen vil gerne rette stor tak til vejleder Peter Nielsen for vejledning i processer omkring rapporten, samt hjælp til metodevalg. Endvidere rettes en tak til bivejleder Jesper Kranker Larsen for vejledning omkring skriveprocessen, samt indblik i de byggetekniske metoder. Sidst en stor tak til Henrik Sørensen fra Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse, for indblik i interne dokumenter og svar på spørgsmål omkring byggeprojekter, dette har haft stor værdi for udarbejdelse af denne rapport.

Aalborg, 01.06.2016



Tenna Hovedskou Andersen



Nete Bjerregaard

ABSTRACT

This master thesis is about scheduling projects and which challenges a company faces when trying to keep a schedule.

The basis for the thesis is the thesis group's wonderment, that risk management combined with simulation is not more widely used for scheduling projects. In the literature these two areas are not as merged as expected. This made the thesis group wanting to connect scheduling and risk management with simulation. The thesis group wanted to study which factors affected the schedule for the project. Some of these factors are the risk factors identified in the article *Factors Affecting Schedule Delay, Cost Overrun and Quality Level in Public Construction Projects* [Larsen et al., 2015a], which affect the time aspect of a project. The thesis is delimited to analyse this aspect, and not the two other corners from the project "iron triangle", budget and quality. In order to make these analyses the thesis group got data from a reconstruction project from Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse. Because of the uniqueness of a project the amount of data is limited, and therefore makes a normal data analysis impossible. On that basis the input to the simulation model is based on expert knowledge and received schedule.

The thesis group chose to use *ARENA*, as the simulation software, where a model were constructed to reflect the reality, as good as possible. From the constructed model the total duration of the project, and each process' duration were calculated and commented. Based on literature, the risk factors, and common sense a series of scenarios have been constructed, in order to discover how these different changes affect the durations.

The conclusion based on these scenarios are that the companies should focus on the processes at the critical path(s) in the project. If the company is able to reduce the variance of processes on this path, it will have a positive impact on the total duration.

LÆSEVEJLEDNING

Denne rapport er et speciale fra matematik-økonomi uddannelsen på Aalborg Universitet, og det antages derfor, at læseren har kendskab til fagbegreber og metoder, der anvendes inden for matematik og økonomi.

Rapportstruktur

Rapporten er inddelt i 9 kapitler, med dertilhørende afsnit og underafsnit. Disse er nummereret således, at kapitler er tildelt et nummer, afsnittene er tildelt yderligere et nummer, og underafsnittene yderligere et nummer. Hvert kapitel har indledningsvist en kort beskrivelse af kapitlet, samt i det omfang det er nødvendigt har afsnittene ligeledes en indledning. Kapitlerne afsluttes med en opsummering af væsentlige punkter, samt overgang til næstkommende kapitel. En oversigt over specialets indhold ses her:

Kapitel 1 Indledning. Præsentation af inspiration.

Kapitel 2 Problembaggrund. Analyse af problem, samt problemformulering og afgrænsning.

Kapitel 3 Metode. Redegørelse for metodevalg og anvendt data.

Kapitel 4 Teori. Gennemgang af relevant teori.

Kapitel 5 Modelopbygning. Opstilling og analyse af simuleringsmodellen.

Kapitel 6 Scenarier. Redegørelse af forskellige scenarier.

Kapitel 7 Resultatbehandling. Behandling af resultater.

Kapitel 8 Diskussion. Diskussion af resultater.

Kapitel 9 Konklusion. Besvarelse af problemformulering og afrunding af rapport.

En illustration af rapportens indhold fremgår af figur 0.1.

Introduktion	Titelblad	Forord	Abstract	Læse- vejledning	Indhold- fortegnelse
1. Indledning	Indledning	Inspiration			
2. Problembaggrund	Problem- analyse	Problem- formulering	Problem- afgrænsning		
3. Metode	Metodevalg				
4. Teori	Risiko- faktorer	Risiko	Risiko- management	Risikostyring i bygge- branchen	
5. Modelopbygning	Logisk model	Input til modellen	<i>ARENA</i> model	Verificering/ validering	Resultat af grundmodel
6. Scenarier	1. Betafordelinger 2. Symmetriske triangulære fordelinger 3. Reduktion af varians 4. Forsinkede processer 5. Fejl i proces				
7. Resultatbehandling	Resultat- behandling				
8. Diskussion	Diskussion				
9. Konklusion	Konklusion				
Vedlagt	Litteratur- liste	Figur- og tabelliste			
Tillæg	Bilag				

Figur 0.1: Projektstruktur.

Henvisninger

Kilder bliver igennem projektet refereret vha. L^AT_EXs interne kildehenvisningssystem BibT_EX. Kildehenvisninger henviser til den alfabetiske litteraturliste bagerst i rapporten. Der henvises vha. Harvardmetoden, hvor trykte samt elektroniske kilder refereres med formen [forfatterens efternavn, år]. Indeholder kilden to eller flere hovedforfattere angives kilden med [efternavn et. al, år]. Citering af litteratur er angivet ved ”*citat*” [efternavn, år].

Figurer og tabeller er angivet med specifikt nummer og forklarende tekst. Det specifikke nummer for en figur og tabel henviser til det tilhørende kapitel, således at den første figur/tabel i kapitel x angives som figur/tabel $x.1$, næste som figur/tabel $x.2$ osv.

Der vil løbende i rapporten være henvisninger til bilag, som er supplement til rapporten.

Herfra vil rapporten blive omtalt som **kandidatspecialet**, og hver gang der refereres til forfatterne omtales de som **specialegruppen**. Yderligere vil Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse omtales som **samarbejdsvirksomheden**.

Specialegruppen ønsker god læselyst.

INDHOLD

Indhold

1	Indledning	1
1.1	Inspiration	1
2	Problembaggrund	3
2.1	Problemanalyse	3
2.2	Problemformulering	4
2.3	Problemafgrænsning	4
3	Metode	7
3.1	Metodevalg	7
3.1.1	Opbygning af et simuleringsstudie	8
4	Teori	15
4.1	Risikofaktorer	15
4.2	Risiko	16
4.3	Risikomanagement	18
4.4	Risikostyring i byggebranchen	20
5	Modelopbygning	23
5.1	Logisk model	23
5.2	Input til modellen	26
5.3	<i>ARENA</i> model	27
5.4	Verificering	30
5.5	Validering	31
5.6	Antal af gennemløb	31
5.7	Resultat af grundmodellen	32
6	Scenarier	35
6.1	Betafordelinger	35

6.2	Symmetriske triangulære fordelinger	36
6.3	Reduktion af varians	36
6.4	Forsinkede processer	37
6.5	Fejl i proces	38
7	Resultatbehandling	39
7.1	Betafordelinger	39
7.2	Symmetriske triangulære fordelinger	40
7.3	Reduktion af varians	41
7.4	Forsinkede processer	43
7.5	Fejl i proces	44
8	Diskussion	47
8.1	Udvidelser	48
9	Konklusion	51
	Litteratur	53
	Figurer	55
	Tabeller	57
A	Fordelinger	i
A.1	Triangulær fordeling	i
A.2	Betafordeling	ii
B	Data	iii
C	Simuleringsmodel	xi

KAPITEL 1

INDLEDNING

Det indledende kapitel vil give et indblik i specialegruppens valg af emne, samt hvor inspirationen til dette er fundet. Udgangspunktet for kandidatspecialet er opstået med baggrund i specialegruppens interesse for optimering og simulering. Specialegruppen har valgt at fokusere på simulering og risikostyring af projekter, og hvordan dette kan være med til at optimere den proces et projekt gennemgår. Der vil være en kort gennemgang af eksisterende litteratur med fokus på simulering og risikostyring.

1.1 Inspiration

Specialegruppens inspiration til dette kandidatspeciale opstod med udgangspunkt i projektstyring, og den mulighed der er for brugen af simulering af projekter, kombineret med risikostyring. I [Nicholas and Steyn, 2012, side 13] defineres et projekt som *"A project has a definable goal or purpose, and well-defined end-items, deliverables, or results, usually specified in terms of cost, schedule, and performance requirements."* Yderligere er projekter defineret som unikke og tidsbegrænsede. Fælles for både IT- og byggeprojekter, er at alle projekter er forskellige, der kan være ligheder mellem projekter, men det er yderst sjældent at to projekter er komplet ens. Af denne årsag er projektstyring i forbindelse med denne type projekter mere tidskrævende, og derfor vil en analyse af disse være yderst relevant.

Specialegruppen har valgt at lægge fokus på byggeprojekter, efter at have gennemlæst og overværet eksamen for kandidatspecialet [Ivarsen and Jensen, 2016]. Dette kandidatspeciale med titlen *Risikohåndtering for praktikere* tager udgangspunkt i to artikler [Larsen et al., 2015a] og [Larsen et al., 2015b] som identificerer 26 risikofaktorer i byggeprojekter med fokus på omkostninger, tid og kvalitet. Grunden til at emnet, simulering kombineret med risikostyring af projekter, er faldet i specialegruppens interesse, bunder i den begrænsede litteratur der er inden for emnet.

Der har været øget fokus på både risikostyring og simulering af projekter, men ikke som en kombineret enhed. Baggrunden for udbredelse af risikostyring i projekter, er den øgede mængde af uforudsete hændelser, som kan have negative konsekvenser for omkostninger, tid og kvalitet. Dette har medført, at den danske byggebranche er begyndt at fokusere på risikostyring, hvor

bl.a. [Dansk Byggeri, 2006b] har introduceret, hvordan risikostyring kan implementeres, samt hvilke fordele det kan medføre.

Brugen af simulering i byggeprojekter er startet allerede i 1990'erne, hvor [Aouad and Price, 1994] undersøgte anvendelse af IT i engelske og amerikanske byggeprojekter, hvor konklusionen var, at størstedelen af entreprenørfirmaerne havde indset, at der kunne drages fordel af nye teknologier. Brugen af simulering har været meget omdiskuteret, bl.a. med fokus på software løsninger, hvor [Campbell et al., 1997] konkluderer, at simulering er et værktøj, som potentielt kan anvendes til at forbedre planlægningen af byggeprojekter. Ligeledes konkluderer [Scherer and Ismail, 2011], at simulering kan være et brugbart værktøj til at udarbejde detaljerede tidsplaner. Simulering er også blevet en større del af den danske byggebranche gennem de senere år, med særlig fokus på Bygnings Informations Modellering (BIM). BIM har fokus på visualisering af et byggeprojekt, med alt fra tegninger til tidsplaner, med henblik på at synliggøre valgmuligheder for bygherren [Olsen and Pape, 2014]. Med brugen af BIM er det muligt at få en flydende byggeproces, hvor der er fokus på alle aspekter af et byggeprojekt.

Litteraturen omkring simulering af byggeprojekter kombineret med risikostyring er som nævnt begrænset, hvilket er af stor interesse for specialegruppen. Det vurderes, at specialegruppens kendskab til simuleringens fordele, gør at simulering med fordel kan anvendes i forbindelse med risikostyring af byggeprojekter, og specialegruppen har valgt at have fokus på tidsplaner for udførelsesfasen af et byggeprojekt. Med dette fokus har specialegruppen med udgangspunkt i interessen og undren valgt, at retningen for kandidatspecialet er

Analyse af tidsplan for et projekt - Simulering og risikostyring

Specialegruppen har i det indledende kapitel redegjort for inspirationen for kandidatspecialets retning. Med dette udgangspunkt vil specialegruppen i det efterfølgende kapitel introducere problembaggrunden, og opstille problemet som specialegruppen ønsker at løse.

KAPITEL 2

PROBLEMBAGGRUND

Dette kapitel har til formål at beskrive den problemstilling, som specialegruppen har fået inspiration til jf. kapitel 1. Der vil først være en analyse af problemet indenfor det overordnede emne byggeprojekter og risikostyring, hvilket vil lede frem til en problemformulering, samt dennes underspørgsmål, som ligger til grundlag for kandidatspecialet. Sidst vil der være en afgrænsning af problemet, hvilket er nødvendigt grundet problemets kompleksitet og de ressourcer specialegruppen har til rådighed.

2.1 Problemanalyse

Byggeprojekter er i langt de fleste tilfælde komplekse, og det kan derfor været svært at forudse, hvilke risici der er i forbindelse med udførelsen af et byggeprojekt. Komplexiteten af et byggeprojekt ligger i de mange processer, der er i opførelsen af en bygning, som både kan være afhængige og uafhængige af hinanden. Processer kan i stor grad påvirke hinanden, hvilket kan medføre flaskehalse, fordi nogle processer skal vente på, at andre bliver færdige, før de nye kan sættes i gang. Der kan derfor opstå en slags dominoeffekt, hvis først en proces bliver forsinket, hvilket kan medføre, at resten af projektet forsinkes, og tidsplanen dermed overskrides. Et andet vigtigt element i forbindelse med et projekts succes er ressource administration. Dette omhandler både hvilke og hvor mange ressourcer der skal bruges, samt hvornår.

[Larsen et al., 2015a] arbejder med en række risikofaktorer, som har indvirkning på omkostninger, tid og kvalitet. Disse faktorer er listet i afsnit 4.1. Faktorer som f.eks. vejrforhold eller fejl i byggearbejdet, kan være med til at forsinke enkelte processer i projektet, og dermed påvirke hele tidsplanen for et projekt.

Hvis et byggeprojekt ikke overholder den fastlagte tidsplan, kan der påløbe dagbøder, hvilket vil give større omkostninger for byggeprojektet end planlagt. Risikostyring er et værktøj, som kan være med til at sikre, at der er mindre sandsynlighed for, at der opstår en situation, som man ikke er forberedt på, ved at tage forskellige risikofaktorer i betragtning. Et byggeprojekt, hvor der er optimal risikostyring, vil have en robust tidsplan, hvor man er opmærksom på, hvilke flaskehalse der kan opstå, hvor giver det størst problemer, hvis der sker en uforudset hændelse, og hvordan kan man i værste fald håndtere dette.

2.2 Problemformulering

Med udgangspunkt i problemanalysen er specialegruppen kommet frem til en problemformulering som ønskes besvares

Hvilke fænomener skal man være opmærksom på i forbindelse med udarbejdelse af en tidsplan for et projekt?

Yderligere vil specialegruppen søge svar på følgende spørgsmål, som støtter op om det primære spørgsmål

- Hvilke fænomener kan påvirke et projekt?
- Hvordan påvirkes et projekts tidsplan, hvis forskellige fænomener optræder?

2.3 Problemafgrensning

Specialegruppen har valgt at fokusere på tiden, set i forhold til et byggeprojekt, derfor er der væsentlige faktorer, der er undladt. Med fokus udelukkende på tid, er der ikke lagt vægt på omkostning og kvalitet, som oftest er de tre faktorer, der omtales sammen. De tre faktorer er tæt forbundne og derfor vil et fokus på tid, også være med til at sikre, at der ikke kommer store budgetoverskridelser pga. forsinkelser, og at der med en robust tidsplan vil være indarbejdet en ordenlig kvalitetssikring. Dette er der blot ikke lagt vægt på gennem dette kandidatspeciale.

Simuleringsstudiet som er beskrevet i afsnit 3.1.1, bygger på det data, der er indhentet hos samarbejdsvirksomheden. I dette data er det ikke muligt at aflæse antallet af ressourcer, der skal udføre de forskellige processer, kun inden for hvilket fag processen udføres. Specialegruppen har derfor valgt ikke at inkludere ressourcebehov i simuleringsmodellen, men at processerne tager den tid, der er angivet i data, uden at tage højde for mængden af ressourcer, der skal bruges til at udfører processen.

I simuleringsstudiet er der yderligere ikke taget højde for overlappende processer, men studiet bygger udelukkende på, at der kan være parallelle processer og efterfølgende processer, hvilket medfører, at hvis en proces har 4 forudgående processer, så skal alle 4 være færdige før den pågældende proces kan udføres. Dette er nødvendigt, da specialegruppen, ud fra data, ikke kan vurdere hvilke processer, der eventuelt vil kunne overlappe. Denne vurdering er yderligere bekræftet af samarbejdsvirksomheden, der udtaler at vurderingen af om forskellige processer kan overlappe kræver kendskab til processernes indbyrdes forhold. Dette gælder både mht. arbejdskraft, men også typen af processen. Disse forhold har specialegruppen ikke haft mulighed for at

få nærmere kendskab til, hvorfor det er valgt, at der ingen overlappende processer er, på trods af at dette sandsynligvis ikke stemmer overens med virkeligheden.

Specialegruppen har for at kunne besvare problemformulering på bedst mulig vis valgt at oprette et simuleringsstudie, som tager udgangspunkt i de problemstillinger, som er identificeret i afsnit 2.1. For at opbygge et simuleringsstudie er det nødvendigt at have data om det pågældende emne, hvilket specialegruppen har modtaget fra Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse. Simuleringsstudiet bruges til at vurdere et eksisterende system, og undersøger hvilke faktorer der har indvirkning på systemets robusthed. Dette vil medføre en analyse af resultaterne, som vil danne basis for at kunne besvare problemformuleringen.

KAPITEL 3

METODE

Dette kapitel er en redegørelse for de metoder, som specialegruppen har brugt i kandidatspecialet. De overvejelser der har været i forbindelse med valget af metoder vil blive begrundet og uddybet, for at give en forståelse af hvorfor netop disse valg er taget.

3.1 Metodevalg

Ud fra problemformuleringen der er opstillet i afsnit 2.2, har specialegruppen valgt at bruge simulering som værktøj til at udføre en analyse af et byggeprojekts tidsplan. Simulering er valgt, fordi det er et effektivt og fleksibelt værktøj, når man ønsker at vurdere et systems reaktion på forskellige ændringer i enten systemets opsætning eller input. Simulering bruges i mange tilfælde til at undersøge en række "hvad-nu-hvis" spørgsmål, på enten et eksisterende eller ikke-eksisterende system.

I forbindelse med byggeprojekter er simulering en oplagt metode til at undersøge, hvordan et projekts tidsplan forløber, hvis forskellige hændelser opstod. I et byggeprojekt er det ikke muligt at gå ind og afprøve forskellige situationer, som f.eks. ved en service virksomhed, der kan øge bemanningen - et byggeprojekt er et komplekst og tidsbegrænset system. Det er muligt at videreføre erfaringer og konkrete elementer fra lignende byggeprojekter, således at risikostyringen ikke starter fra bunden hver gang.

I et simuleringsstudie skal en logisk model opstilles, som både er realistisk og overskuelig. En logisk model er grundmodellen for et system, der grafisk illustrerer grundprincipperne i systemet. En logisk model vil ofte være udarbejdet i samarbejde med en virksomhed, der har ekspertviden indenfor systemet og beskrive de sammenhænge der er mellem inputs og outputs i systemet. Med udgangspunkt i et byggeprojekt vil den logiske model stemme overens med projektets netværksdiagram.

Specialegruppen har valgt at udføre simuleringsdelen i programmet *ARENA Simulation Software*, som er et fleksibelt simuleringsprogram, som specialegruppen har kendskab til og erfaring med at anvende.

Specialegruppen vil teste forskellige scenarier, for at vurdere systemets robusthed overfor forskellige uforudsete hændelser. Disse scenarier vil opstilles ud fra specialegruppens overvejelser

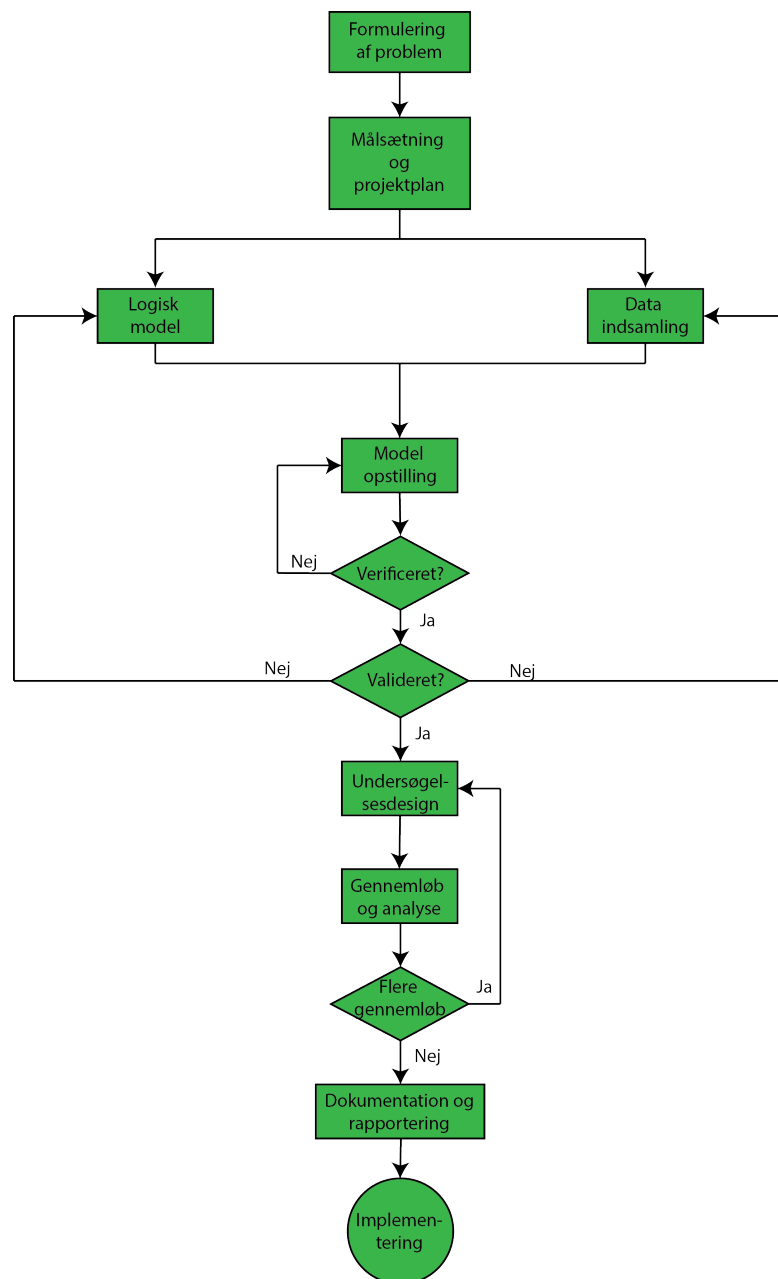
omkring, hvilke hændelser der kan påvirke systemet. Specialegruppen vil blandt andet undersøge, hvorledes et projekts gennemløbstid påvirkes, hvis variansen af denne mindskes. Dette skal baseres på x antal gennemløb af simuleringens modellen og disses forskellige outputs. De forskellige scenarier der undersøges, og en uddybende beskrivelse heraf findes i kapitel 6.

Valget af simulering medfører, at kandidatspecialet vil følge strukturen af et simuleringsstudie, som er opbygget af en række steps fra problemformulering til implementering, som i dette tilfælde vil være en række forslag til, hvordan man opbygger en robust tidsplan for et projekt.

Det næste afsnit vil gennemgå disse steps, samt argumentationen for hvilke valg specialegruppen har gjort gennem hvert enkelt step, mens kapitel 5 vil redegøre for hvorledes specialegruppen specifikt har udført disse steps.

3.1.1 Opbygning af et simuleringsstudie

Et simuleringsstudie er opbygget af en række steps, se figur 3.1.



Figur 3.1: Opbygning af simuleringsstudie. Kilde: [Banks et al., 2005].

Formulering af problem:

Simuleringsstudiets første step er at formulere selve problemet, som specialegruppen har gjort i kapitel 2. Problemet tager udgangspunkt i et byggeprojekts tidsplan, og hvordan man kan opbygge en robust tidsplan, som bliver mindre påvirket af uforudsete hændelser. Problemet er tilpasset de ressourcer specialegruppen har til rådighed, i form af data, denne afgrænsning er

beskrevet i afsnit 2.3.

Målsætning og projektplan:

En definering af hvad studiet skal besvare - formålet med selve simuleringen, dette er selvsagt defineret i problemformuleringen (afsnit 2.2). Simuleringsstudiets formål er at give en analyse af, hvilke faktorer der er vigtige at være særligt opmærksomme på ved udarbejdelse af en tidsplan. For at kunne lokalisere, hvilke faktorer der kan give problemer for en tidsplan, tester specialegruppen forskellige scenarier. Opstilling af et simuleringsstudie der kan anvendes til dette formål kræver forskellige input, blandt andet fordelinger for varigheden af de forskellige processer i projektet. Derfor er næste step indsamling af relevant og brugbart data.

Data indsamling:

Specialegruppen har fået data fra Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse, hvilket er data i form af en tidsplan fra et byggeprojekt fra 2015. Dataformen kan ses i bilag B. Grundet byggeprojekters forskelligheder, er det ikke muligt at få data fra flere projekter, som er ensartet, hvilket vil give udfordringer i forhold til at skulle udføre en reel input analyse, og derfor må modellens input baseres på ekspertviden.

Logisk model og model opstilling:

Det data specialegruppen har til rådighed er tidsplanen for et byggeprojekt bestående af 37 processer. Et system med 37 processer er komplekst, hvilket vil gøre det vanskeligt at teste forskellige scenarier med gode resultater. Det vil være svært at følge effekterne af, f.eks. forsinkelser af en af de første processer, fordi det vil forsvinde i det komplekse system. Derfor har specialegruppen set sig nødsaget til at mindske antallet af processer. Specialegruppen har i samarbejde med bi-vejleder reduceret antallet af processer ved at sammenlægge processer, som er ensartede. Efter denne simplificering er systemet reduceret til 23 processer, hvilket specialegruppen vurderer at være passende til at kunne måle effekterne af tests af forskellige scenarier. Ud fra disse processer vil der blive opstillet et netværksdiagram, som viser processerne og deres sammenhænge. Dette netværksdiagram vil fungere som den logiske model, der skal bruges til at opsætte modellen i *ARENA*.

Opsætning af modellen i *ARENA* kræver at modellen får forskellige input, som er givet med baggrund i det indsamlede data. Når data er sparsomt, er det ikke muligt at lave en traditionel databehandling til identifikation af fordelinger og dertilhørende parametre, derfor baseres valget af fordelinger på erfaring, rationalitet og ekspertvurderinger.

Der vælges i sådan en situation mellem uniform-, triangulær- eller betafordelingen, for fordelingerne af processerne. Den uniforme fordeling giver alle udfald lige stor sandsynlighed og kræver kun definition af *maksimums*- og *minimums*sværdierne. At der er lige stor sandsynlighed for alle udfald i udfaldsrummet er i virkeligheden et særsyn, og derfor vil den triangulære fordeling være

at foretrække fremfor den uniforme, som af nogle kaldes "*distribution of maximum ignorance*" [Banks et al., 2005, side 160]. Udover *maksimums*- og *minimums*værdier kræver den triangulære fordeling en *mest sandsynlig* værdi. Disse parametre er, som ved den uniforme fordeling, baseret på ekspertvurderinger. Den tredje fordeling, betafordelingen, er en ekstrem fleksibel fordeling, det vil sige at den kan tage mange former alt, efter hvordan parametrene defineres. Parametrene skal være positive, men de er ikke så beskrivende og let forståelige som ved den triangulære fordeling. Det skal dog påpeges, at betafordelingen ikke er begrænset opadtil. Disse tre fordelinger anvendes, når et simuleringsprojekt ikke bygger på indsamlet data, men ekspertvurderinger eller udstyrsspecifikationer.

Specialegruppens data er i form af en tidsplan fra et byggeprojekt, og i følge [Fente et al., 2000] er det svært at definere en fordeling for processerne til simulering af et byggeprojekt pga. den uforudsigelige natur i byggeprojekter. Inden for byggeprojekter er det oftest to af fordelingerne der bruges, beta og triangulær. [Tesfaye et al., 2015] og [AbouRizk and Halpin, 1992] har konkluderet, at en betafordeling er passende for tidsestimaterne for en proces i et byggeprojektet. Der lægges stor vægt på at betafordelingen bliver valgt frem for andre fordelinger, fordi den er velkendt. Den triangulære fordeling er begrænset og positiv, og er blevet mere og mere brugt i simulering inden for byggeprojekter. [Wilson et al., 1982] og [Klein and Baris, 1990] har lavet studier, hvor fordelingerne sammenlignes og deres resultater peger på, at der ikke er nogen signifikant forskel på brugen af de to fordelinger inden for byggeprojekter, men lægger vægt på, at den triangulære fordeling er nemmere at definere og dermed nemmere at bruge.

Ud fra disse betragtninger har specialegruppen valgt at basere grundmodellen på triangulære fordelinger, idet virkeligheden ønskes beskrevet så præcist som muligt, og den *mest sandsynlige* værdi fastsættes til den opgivet i data, mens *minimums*- og *maksimums*værdierne fastsættes i samarbejde med samarbejdsvirksomheden.

Verificering og validering:

Verifikations steppet skal sikre, at den implementerede model afspejler den logiske model præcist. Der findes forskellige måder at gribe verifikationen an på [Banks et al., 2005, Side 356-357]. Specialegruppen har valgt tre metoder ud:

1. Vurdering af om outputtet fra modellen er rimeligt i forhold til forventningerne under forskellige forhold.
2. Kontroller, at input ikke ændres under simuleringen. Dette kan blandt andet gøres ved at lave et print af alle input parametrene efter simulationen og holde disse op mod de indtastede input.

3. Dokumentation af modellen. Dette inkluderer alle variable, processer og komponenter. På denne måde er det både nemmere at opdage fejl og mangler, men det gør det også lettere for andre at forstå og anvende modellen.

Verifikationen og valideringen er to forskellige dele af et simuleringssstudie, men de udføres ofte både simultant og iterativt. Det kan blandt andet skyldes, at man lærer mere om systemet undervejs i verifikationen, eller at det viser sig at modellen ikke er præcis nok og derfor skal den logiske model revideres eller databehandlingen forbedres. Dette kan ses illustreret i figur 3.1.

I [Banks et al., 2005] beskrives valideringsprocessen ud fra en tre-trins tilgang:

1. At bygge en model der umiddelbart virker gyldig.
2. Valider de antagelser modellen er bygget på.
3. Sammenlign input/output fra modellen med input/output fra den virkelige system.

Det første punkt kræver samarbejder med eksperter, hvor disse skal vurdere om modellen agerer som de ved/forventer det reelle system burde. Samtidig kan man også spørge eksperter om, hvad de forventer der vil ske under forskellige forhold, og dermed undersøge om modellen lever op til disse forventninger.

Det næste punkt omhandler både validering af antagelser om, hvordan modellen er opbygget, men også hvor sandfærdig den anvendte data er. Igen kan disse vurderinger baseres på ekspertvurderinger. Hvis simuleringen er bygget på input fra en databehandling af rådata, er en del af valideringen at udføre forskellige goodness-of-fit tests.

Sidste punkt kan gennemføres forskelligt alt efter, hvor meget data der er til rådighed. Hvis en stor datamængde er til rådighed, kan man vælge at dele data op i et datasæt, som bruges til at bygge modellen og et validerings datasæt. For at teste om modellen er valid, bruges validerings datasættet til at sammenligne med resultaterne fra modellen. Hvis der ikke er data til rådighed, kan man benytte sig af ekspertviden. Dette kaldes en *Turing Test*, og udføres ved at lave nogle rapporter over udvalgte performance variable fra både det reelle system og fra simulationen, og ud fra disse skal eksperter forsøge at vurdere, hvilke der er hvilke. Hvis de ikke kan identificere simuleringss-rapporterne kan modellen betrages som valid.

Specialegruppen har ikke mulighed for at validere modellen med data fra det virkelige system. Derfor vil specialegruppen, i samarbejde med samarbejdsvirksomheden, vurdere om modellen er valid. Dette gøres ved at undersøge, hvor robust modellen er overfor små ændringer i input. For eksempel undersøges hvorledes gennemløbstiden påvirkes ved forøgelse af *mest sandsynlig* værdien - det forventes at dette øger gennemløbstiden tilsvarende.

Simulering og resultatbehandling:

Grundmodellen for simuleringsstudiet er opstillet og outputtet af denne skal beskrives. I denne fase af simuleringsstudiet bestemmes også antallet af replikationer. Dette gøres ved at køre modellen med forskellige antal replikationer, og ved hver gennemkørsel notere tidsforbruget og half-width for udvalgte output. Ud fra disse bestemmes antal replikationer til både grundmodellen og scenarierne.

Resultaterne fra grundmodellen bruges til at benchmarke mod resultaterne fra de forskellige scenarier. Næste step er derfor at definere og udføre disse tests af scenarierne. Dette indebærer at beskrive hvilke ændringer der skal påføres systemet, samt hvad det forventede output er. Outputtet fra de forskellige scenarier holdes derefter op mod det fra grundmodellen, hvilket giver grundlag for en analyse om systemets robusthed og sensitivitet overfor forskellige ændringer.

På baggrund af tests af scenarierne analyseres resultater og eventuelle løsningsforslag beskrives. Specialegruppen har valgt at anvende *Output Analyzer* til at undersøge om resultaterne fra de enkelte scenarier er statistisk signifikant forskellige fra grundmodellen målt på den totale gennemløbstid. Dette program beregner forskellen i den valgte output-parameter på tværs af replikationer, og resultatet illustreres grafisk i et konfidens interval. Hvis dette interval indeholder 0, konkluderes det, at de to testede scenarier ikke er statistisk forskellige. Det undersøges altså, om forskellen mellem scenarierne er stor nok til ikke blot at være forårsaget af støj [Kelton et al., 2015].

Forløbet omkring opbygningen af modellen, samt analyse skal dokumenteres, for at kunne klarlægge og retfærdiggøre modellen og outputtet.

Implementering:

Implementeringen af løsningen, hvilket kun gør sig gældende i det tilfælde at man har fundet en løsning på problemet, som man mener er værd at implementere. I specialegruppens tilfælde med et projekt, vil der dog ikke være nogen decideret implementering, da simuleringsstudiet udelukkende er baseret på eksplicitte eller uforudsete ændringer, og altså ikke fører til specifikke ændringer der skal indføres i et system, men nærmere en analyse af kritiske processer i projekter og dermed en kilde til forbedring af risikostyringen.

KAPITEL 4

TEORI

I kapitel 3 blev metodevalget for kandidatspecialet beskrevet, og som en væsentlig del af dette er valget af simulering. Teorien omkring simulering er indirekte beskrevet i metoden, og derfor vil der ikke være yderligere beskrivelse af dette. Derimod vil dette teori kapitel indeholde en gennemgang af de 26 risikofaktorer fra [Larsen et al., 2015a], hvorfor det er nødvendigt med en forklaring af begrebet risiko, og dermed også risikomanagement, herunder hvorledes risikostyring er implementeret i den danske byggebranche.

4.1 Risikofaktorer

Artiklen *Factors Affecting Schedule Delay, Cost Overrun and Quality Level in Public Construction Projects* [Larsen et al., 2015a] identificerer 26 risikofaktorer, som kan påvirke et byggeprojekts omkostninger, tid og kvalitet:

Eksterne faktorer:

1. Forsinkelser eller lange behandlingstider hos andre instanser
2. Jordbundsforholdene
3. Tilstandene i markedsvilkårene
4. Projektforholdene
5. Vejrforholdene

Kontraktforhold:

6. Udbuds- og tildelingskriterier
7. Fejl eller uoverensstemmelser i projektdokumenterne
8. Mangel på kravspecifikationer i udbudsmaterialet
9. Mangel på projektstruktur eller materiale
10. Uforudsete myndighedskrav eller restriktioner

Projektmanagement

11. Fejlkommunikation mellem projektpartnere
12. Konflikter og tvister mellem projektpartnere
13. Langsomme bruger-beslutninger

14. Partnerudskiftning i projektorganisationen
15. Uerfarne eller nyuddannede byggeledere
16. Uerfarne eller nyuddannede rådgivere

Projektændringer:

17. Fejl eller udeladelser i byggearbejdet
18. Fejl eller udeladelser i rådgivningsmaterialet
19. Mangel på behovsafklaring
20. Mangel på forundersøgelse før design eller udbud
21. Sene brugerændringer, der påvirker projektet eller funktionen heraf

Finansiering og planlægning:

22. Optimistiske forventninger til tid, budget og kvalitet
23. Politisk fokus på at reducere projektets budget og varighed
24. Uafklaret eller mangel på projektf finansiering
25. Uafklaret eller mangel på projektplanlægning
26. Komplexiteten eller størrelsen af projektet

[Larsen et al., 2015a] undersøger disse 26 faktorerers påvirkning på de tre elementer, tid, budget og kvalitet. Med udgangspunkt i de 26 faktorer har specialegruppen valgt at fokusere på faktorer der påvirker tidsplanen for et byggeprojekt. Disse faktorer vil indgå i de scenarier som specialegruppen ønsker at opsætte, for at kunne simulere hvilke faktorer der påvirker et byggeprojekts tidsplan. I artiklen konkluderes det at de fem faktorer der påvirker tidsaspektet mest er nr. 24 *Uafklaret eller mangel på projektf finansiering*, nr. 1 *Forsinkelser eller lange behandlingstider hos andre instanser*, nr. 25 *Uafklaret eller mangel på projektplanlægning*, nr. 17 *Fejl eller udeladelser i byggearbejdet* og nr. 19 *Mangel på behovsafklaring*.

For at kunne håndtere disse risikofaktorer er det nødvendigt at forstå begrebet risiko, samt hvilke værktøjer der kan bruges til at styre risiko.

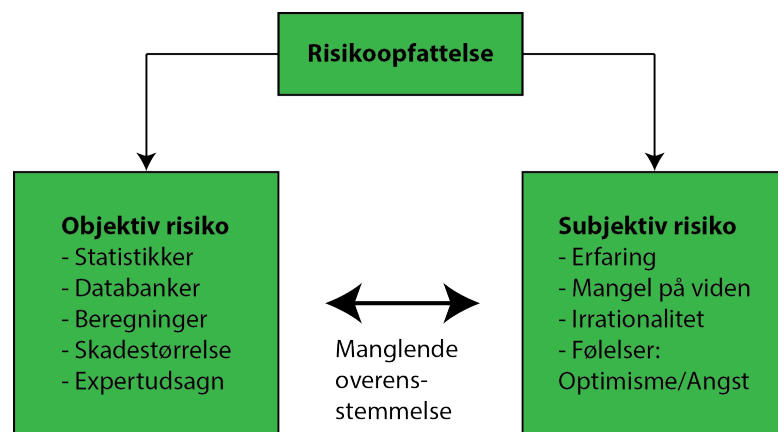
4.2 Risiko

Risiko er et udtryk for sandsynligheden og konsekvenserne af en uforudset hændelse [Gyldendal, 2013], og begrebet bruges om en afvigelse fra det forventede både positivt og/eller negativt [ISO Guide 73, 2009]. Risiko forveksles ofte med begrebet usikkerhed, men risiko kan kun beregnes, når beslutningstageren har en forestilling om sandsynligheden for at udfaldet finder sted, mens usikkerhed er en situation, hvor konsekvenserne ikke på forhånd er kendte [Lynggaard, 2011].

Idet risiko er indeholdt i usikkerhed, kan det være svært at skelne med disse to begreber, men man kan sige at forskellen ligger i beregningsgrundlaget.

Et andet perspektiv på risiko er, om der er tale om objektiv eller subjektiv risiko, hvor man ved et objektivt perspektiv vurderer sandsynligheden for risikoen på baggrund af f.eks. statistikker, mens menneskelige vurderinger kan lægge til grund for det subjektive perspektiv. Et problem der kan opstå som følge af den subjektive risikoopfattelse, baseret på de holdninger, følelser og viden som individet har, er for meget eller for lidt optimisme og/eller pessimisme. Risikovurderingen kan derfor variere, alt efter om den er baseret på objektive eller subjektive vurderinger, dette kan medføre at størrelsen af risikoen ikke stemmer overens i et pågældende tilfælde [Lynggaard, 2011].

Risikoopfattelsens perspektiver kan ses i figur 4.1.



Figur 4.1: Objektiv vs. subjektiv risikoopfattelse. Kilde: [Lynggaard, 2011].

For at tage de mest rationelle beslutninger, ønskes det at forskellen mellem den objektive og den subjektive risikovurdering minimeres, dette kan f.eks. opnås ved at kombinere statistikker og erfaring. Ved en kombination af observeret viden og menneskelig erfaring bliver sikkerheden for et bestemt udfald større, fordi objektiviteten øges. Dette gør mulighederne for at forudsige fremtiden bedre. Dog resulterer det ikke altid i, at den manglende overensstemmelse fjernes, fordi det subjektive oftest vil spille en stor rolle i alle beslutninger, da mennesket ikke altid følger den rationelle tankegang. Det subjektive element vil i langt de fleste tilfælde præge risikoopfattelsen, selvom der foreligger gode statistikker [Lynggaard, 2011].

4.3 Risikomanagement

Formålet med risikomanagement er at *afdække fremtidige risici, der kan have negativ indflydelse på, at virksomheden når sine mål* [Lynggaard, 2011, side 63]. Brug af risikomanagement er en kontinuert proces, som skal sikre at risici bliver opdaget tidligt, og bliver samlet på en overskuelig form. Yderligere vurderes risicienes sandsynlighed og konsekvens, for efterfølgende at blive håndteret og derved reduceret. Til sidst skal risikosituationen overvåges og rapporteres.

Risikomanagement er forudsat, at der foreligger en grundlæggende risikopolitik i en virksomhed, således at den samlede risikoopfattelse stemmer overens med de mål, man sætter for risikomanagement, herunder regler for risikostyring og grænseværdier.

Det vil aldrig blive risikofrit at drive en virksomhed, men risiciene kan mindskes ved at anvende et risikomanagementsystem. Et sådant system kan være medvirkende til at virksomheden kan handle proaktivt på de risici der kan opstå, samt handle i det øjeblik en hændelse indtræffer. For at kunne vurdere en virksomheds risikosituation skal et riskomanagementsystem kunne håndtere at identificere, analysere, vurdere, styre samt overvåge og rapportere alle de risici der kan opstå. En model for et risikomanagementsystem kan ses i figur 4.2.

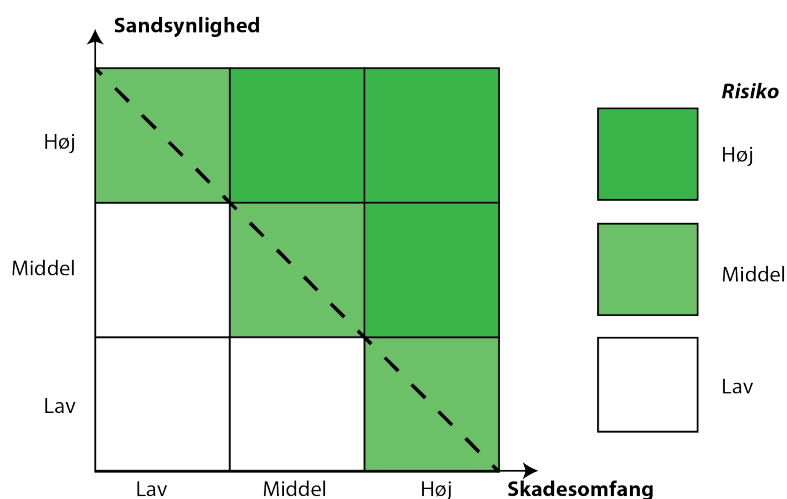


Figur 4.2: Model af faserne i et risikomanagementsystem. Kilde: [Lynggaard, 2011].

Den første fase er risikoidentifikation, som forudsætter risikoerkendelse [Lynggaard, 2011]. I denne fase skal mulige risici kortlægges, hvilke kan være grunden til at et mål ikke opnås. Det skal kortlægges, hvilken form for risici der er tale om, hvilket kræver overblik, faglig viden og fantasi. Der kan være forskellige typer af risikoområder, f.eks. finansielle risici, personalerisici eller eksterne risici. Typisk vil man udarbejde en liste med de forskellige risici, for derefter at indsnævre antallet af risici til de mest alvorlige. Denne proces vil ende ud med en prioriteret liste over de typer af risici, som kan opstå.

Den anden fase er risikoanalysen, som har til formål at analysere årsagerne, vurdere skadesomfang og sandsynlighederne af de identificerede risici. Man bruger risikoanalysen som værktøj til at kunne måle risiko, da det er nødvendigt, hvis man skal kunne styre den. Skadesomfanget og de dertil knyttede sandsynligheder kan være bygget på statistikker, således at vurderingen er objektivt, mens der er i andre tilfælde er tale om en subjektiv vurdering.

Tredje fase er risikovurdering, som er en vurdering af, hvor meget indflydelse risikoen vil have på det ønskede mål. Vurdering af risikoens betydning afhænger af to parametre, sandsynligheden for at risikoen opstår, samt det forventede tab, i det tilfælde at risikoen indtræffer [Lynggaard, 2011]. En måde til at vurdere hvilket niveau en risiko ligger på, kan være at opstille et risikokort, også kaldet en risikomatrix. Dette kan ses i figur 4.3.



Figur 4.3: Risikomatrix. Kilde: [Lynggaard, 2011].

For at give en objektiv inddeling er det nødvendigt at have tal på akserne, frem for lav, middel og høj. X-aksen, som er skadesomfanget, vil måles typisk i kroner, mens y-aksen vil have procentintervaller for sandsynligheden. Matricen kan udvides således den inddeles i flere intervaller, hvis dette findes nødvendigt. En risikomatrix bruges som et oplæg til risikostyring, ved at give et overblik over risikosituationen. Sidst i risikovurderingen skal der foretages en relevansvurdering, som er udgangspunkt for behovet af risikostyring.

Den fjerde fase er risikostyring, som er styring af de risici der gennem risikovurderingen er blevet vurderet til at være relevante problemer. Risikostyring bruges til at undgå eller reducere de fundne risici. Der kan i forbindelse med styringen være både aktive og passive styringsvalg, hvor man vælger hvilke risici man vil undgå, hvilke man vil reducere og hvilke man blot vælger at acceptere. En sidste mulighed er at overvælte risici, hvilket vil sige at man gennem kontrakter og aftaler får andre til at påtage sig risikoen [Lynggaard, 2011]. De identificerede risici kan inddeles indenfor disse fire kategorier, hvor der tages stilling til hvordan man vil håndtere dem, og hvilke metoder man vil bruge. Valget af hvilke metoder og instrumenter der skal bruges til styring, er et subjektivt valg, da der ikke er nogen facitliste til hvilke metoder der skal vælges. Sidst er der gruppen af uforudsete risici, som kan være brand, miljøskader, medieskandaler, tyveri m.m.,

hvilket oftest er katastrofale risici. Disse uforudsete risici ligger helt uden for det man havde regnet med, hvilket kan skyldes manglende fantasi, at man altså slet ikke har haft fantasi til at forestille sig at det kunne ske. Disse kan være den største risiko af alle, fordi man ikke havde forudset det kunne ske, og derfor ikke har været proaktive omkring at reducere konsekvenser eller sandsynligheden for udfaldet. En måde at overkomme dette, kan være ved at stimulere fantasien gennem f.eks. workshops med et bredt udvalg af deltagere, hvor der er stor spredning mellem alder, erfaring og uddannelse. Som sidste punkt under risikostyring er det vigtigt at dokumentere, hvilke beslutninger der er truffet gennem processen, således der kan laves en handlings- og tidsplan. Dette gøres for at kunne forankre arbejdet organisatorisk, både for at danne overblik over hvem der er ansvarlig for gennemførelsen, men ligeledes for at arbejdet kan sammenfattes og koordineres for alle risikoaktiviteterne. Denne dokumentation skal være overskuelig, forståelig, aktuel og nøjagtig, for at kunne give virksomheden en samlet risikooversigt [Lynggaard, 2011]. Femte og sidste fase er overvågning og rapportering. Overvågning sker via et overvågningssystem, som omfatter organisatoriske sikringsforholdsregler, interne kontroller og interne revisioner. Systemet har to funktioner, 1) at medvirke til at potentielle risici formindskes eller undgås, og 2) løbende at vurdere systemets egnethed. Rapportering består i at samle virksomhedens risikosituation, for at få et forkromet overblik over nuværende og potentielle risici, kvaliteten af procesforløbet samt oversigt over skader og tab. Rapportering bruges til at skabe overblik, hvilket opnås ved at rapportere rettidigt, præcist og tilstrækkeligt [Lynggaard, 2011].

4.4 Risikostyring i byggebranchen

Risikostyring i byggebranchen eksisterer allerede og er ikke et nyt fænomen, det er blot igennem de senere år blevet mere udbredt. Der er kommet mere fokus på at systematisere og kvantificere, fremfor for at være intuitivt og implicit [Dansk Byggeri, 2006a]. Risikostyring er som beskrevet et værktøj til at systematisere de risici der kan opstå, hvilket kan bruges i en hvilken som helst situation og i ethvert projekt. I byggebranchen er der dog en væsentlig forskel fra f.eks. produktionen i forhold til risikostyring, fordi byggeprojekter er forskellige, derfor er miljøet mere dynamisk [Dansk Byggeri, 2006a]. Det dynamiske miljø, som byggeriet befinder sig i, gør, at risikostyringen ikke kan overføres projekter imellem, men erfaring fra de enkelte projekter kan bruges i indførelsen af risikostyring. Det er derfor nødvendigt med yderligere to faser set i forhold til de fem faser beskrevet i afsnit 4.3. Dette er to faser: ”overordnet sammenhæng” og ”afgrænsning og opdeling af projektet”, som ligger før de fem faser [Dansk Byggeri, 2006b]. Fasen ”overordnet sammenhæng” har til formål at fastlægge det overordnede mål med projektet, herunder kvalitetsbestemmelse, pris og tidsrammer. For at kunne anvende risikostyring, er

det derudover nødvendigt at fastlægge virksomhedens acceptkriterier, grænser for den daglige ledelse, hvornår det er nødvendigt med ledelsesinddragelse, samt bygherrer og virksomhedsinddragelse.

Fasen ”afgrænsning og opdeling af projektet” tager udgangspunkt i tidsplaner, samt tilhørende aktiviteter, hvilket er med til at skabe et overblik over projektet. Til dette suppleres der med informationer som bl.a. byggepladsens indretning, afhængighed af leverandører og maskiner, samt vejrforhold.

De to faser er med til at fastsætte rammerne omkring det enkelte projekt, inden man går videre til de fem faser fra afsnit 4.3. Brug af risikostyring i byggebranchen er derfor baseret på de generelle risikostyringsmetoder, der handles blot i et dynamisk risikomiljø. Det dynamiske risikomiljø er medvirkende til at byggeriets risikodata er mere komplekst, fordi der konstant er ændringer i betingelser, omgivelser og størrelser. Dette betyder, at risikodata ikke kan overføres direkte projekter imellem, derfor er der heller ikke noget formelt overblik over, hvilke risici der opstår og hvornår, hvilket omfang skaderne har og hvad skaderne koster. De konstante ændringer medfører, at risici sjældent bliver dokumenteret, fordi der hele tiden opstår nye udfordringer, som skal håndteres. Derfor vil effektiv risikostyring kunne bruges som et hjælpeværktøj i byggebranchen [Dansk Byggeri, 2006a].

KAPITEL 5

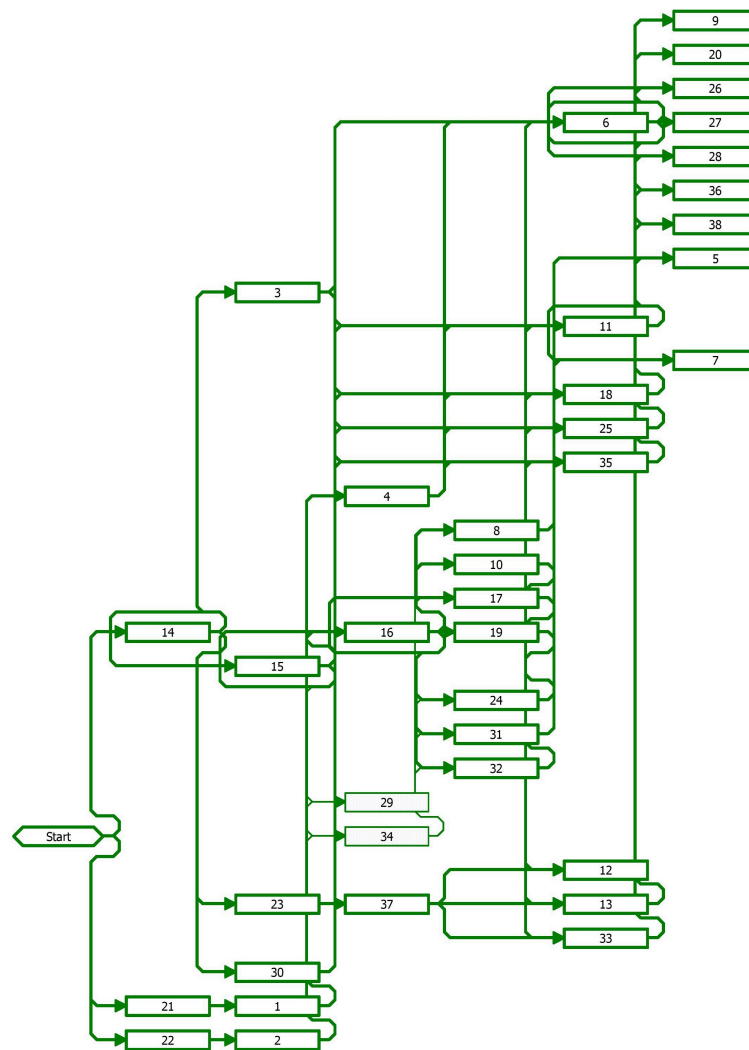
MODELOPBYGNING

Dette kapitel har til formål at beskrive simuleringsmodellen, som vil blive opbygget i simuleringsprogrammet *ARENA*. Dette indebærer de simuleringssteps fra figur 3.1, der endnu ikke er gennemgået.

Formålet med modellen er at måle gennemløbstiden, for at analysere, hvordan tiden bliver påvirket, når forskellige scenarier testes på modellen. Samtidig ønsker specialegruppen at opnå viden om, hvor lang tid de enkelte processer tager.

5.1 Logisk model

Formålet med en logisk model er at skabe et grafisk overblik over processer og deres sammenhænge med hinanden. Data (se bilag B) er i form af en tidsplan med processer, deres sammenhænge og længde, samt hvilket fagområde der skal udføre processen. I et byggeprojekt er der ikke nogle processer der gentages, da den samlede proces er lineær, hvilket gør at den logiske model kan opbygges som netværksdiagrammet. Netværksdiagrammet består af 37 processer, som kan ses i figur 5.1.



Figur 5.1: Netværksdiagram med 37 processer.

I figur 5.1 er den kritiske vej markeret med tykke grønne strege, og som det ses i figuren er der mange kritiske veje. Dette betyder, at man skal være særligt opmærksom på mange af processerne i forbindelse med at overholde tidsplanen. Når en proces ligger på den kritiske vej, betyder en forsinkelse af den enkelte proces, en forsinkelse af hele projektet, medmindre efterfølgende processer afsluttes hurtigere end planlagt. Det skal her pointeres, at den kritiske vej i et projekt hele tiden ændrer sig, idet processer bliver færdige før eller efter tidsplanen. Yderligere er virksomheder nødt til at fokusere på de veje der støder op til de kritiske veje. Det vil sige, de veje der er lidt kortere end den totale varighed, og derfor kan en forsinkelse her ændre denne vej til en kritisk vej. Som det ses i figur 5.1 er der som nævnt mange kritiske veje,

og næsten alle projektets processer er kritiske eller støder op til en kritisk vej, så de kræver stort set alle sammen øget fokus. Dette faktum, samt kompleksiteten beskrevet i afsnit 3.1.1 gør det vanskeligt at overskue, og dermed kompliceret at udføre tests, hvorfra det er muligt at se brugbare resultater. Disse overvejelser medfører, at specialegruppen har valgt at sammenlægge nogle processer i tidsplanen. Processerne er sammenlagt med fokus på, at det er det samme fagområde der udfører processen, således at der stadig skelnes mellem de fagområder, der er angivet i data. Yderligere er processerne sammenlagt, hvis de ligger umiddelbart efter hinanden. Disse sammenlægninger kan ses i tabel 5.1.

	Beskrivelse	Forudgående processer	Tid (dage)	Uge
1	Bærende vægge + Skillerumsvægge		25	28-32
2	Lofter + Montering af indvendige døre	14;10	25	31-35
3	Montering af fodlister osv. + Montering af vinduer og døre + Lysning og gerigter mm. efter vinduer	2	20	36-39
4	Overdækning og kompressorrum	11	15	35-37
5	Montering af taghætter i paptag	9;12;16;21	5	39
6	Udskiftning af beklædning	11	10	35-36
7	Halvtag på betonvægge 2 sektioner	2	10	36-37
8	Rampe i beton	6;23	15	37-39
9	Køkken	6;23	10	37-38
10	Demontering og montering af ny tavle		20	27-30
11	Kabeltræk + Føringsveje	14;10	20	31-34
12	IT-installationer + Montering + Armaturmontage	11	20	35-38
13	Indkøring af installationer	9;12;16;21	5	39
14	Demontering + Installation ydervægge		10	27-28
15	Installation indervægge vand og afløb	14;10	5	31
16	Installationer i loftrum (ventilation) + Synlige installationer	11	20	35-38
17	Teknisk isolering + Montering af sanitet + Indregulering af installationer	9;12;16;21	5	39
18	Teknikrum	1	30	34-39
19	Spartling af vægge samt opsætning af væv/filt + Malerbehandling vægge	14;10	35	31-37
20	Malerbehandling af træværk	4;7;19	10	38-39
21	Ny gulvbehandling - Epoxy	6;23	10	37-38
22	Spartling af betongulv + Ny gulvbelægning + Sandlister og afslutning	11	22	35-39
23	Vådrum- inkl. flise på gulv og vægge	15	25	32-36

Tabel 5.1: Liste over sammenlagte processer.

maksimumsværdierne er fastsat med hjælp fra samarbejdsvirksomheden, som lægger vægt på at der vil være større sandsynlighed for, at en proces overskrider tiden, fremfor at den bliver færdig før tid. På baggrund af dette har specialegruppen valgt at lave en skæv triangular fordeling, hvor *minimumsværdien* er minus 10 % af *mest sandsynlig værdien* og *maksimumsværdien* er plus 25 % af *mest sandsynlig værdien*. Parametrene, samt middelværdi og varians, for de enkelte processer kan ses i tabel 5.2.

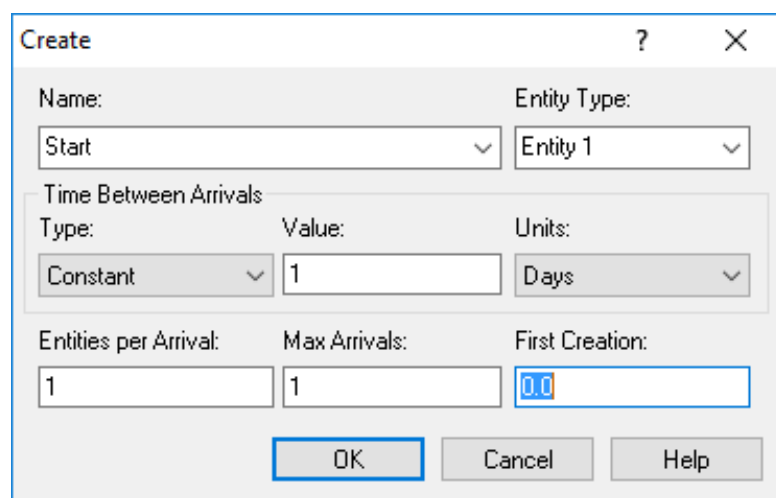
Navn	Minimum	Mest sandsynlig	Maksimum	E[X]	VAR[X]
Proces 1	22,5	25	31,25	26,25	3,3854
Proces 2	22,5	25	31,25	26,25	3,3854
Proces 3	18	20	25	21	2,1667
Proces 4	13,5	15	18,75	15,75	1,2188
Proces 5	4,5	5	6,25	5,25	0,1354
Proces 6	9	10	12,5	10,5	0,5417
Proces 7	9	10	12,5	10,5	0,5417
Proces 8	13,5	15	18,75	15,75	1,2188
Proces 9	9	10	12,5	10,5	0,5417
Proces 10	18	20	25	21	2,1667
Proces 11	18	20	25	21	2,1667
Proces 12	18	20	25	21	2,1667
Proces 13	4,5	5	6,25	5,25	0,1354
Proces 14	9	10	12,5	10,5	0,5417
Proces 15	4,5	5	6,25	5,25	0,1354
Proces 16	18	20	25	21	2,1667
Proces 17	4,5	5	6,25	5,25	0,1354
Proces 18	27	30	37,5	31,5	4,8750
Proces 19	31,5	35	43,75	36,75	6,6354
Proces 20	9	10	12,5	10,5	0,5417
Proces 21	9	10	12,5	10,5	0,5417
Proces 22	19,8	22	27,5	23,1	2,6217
Proces 23	22,5	25	31,25	26,25	3,3854

Tabel 5.2: Værdier til de enkelt processer i modellen.

5.3 *ARENA* model

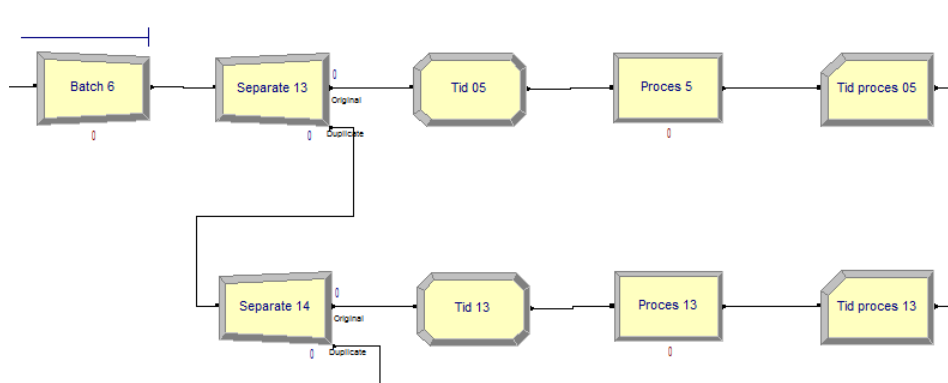
På baggrund af den logiske model (figur 5.2) og fordelingerne fra tabel 5.2 opstilles simuleringsmodellen i *ARENA*. Denne vil blive nærmere beskrevet i det følgende.

Inden for simulering vil hver enhed repræsentere den enhed der løber igennem modellen, hvis det f.eks. er en produktion der simuleres, vil enhederne repræsentere materialer og produkter, mens det i forbindelse med servicevirksomheder kunne være kunderne. I dette simuleringsstudie, derimod, illustrerer en enhed tiden der går. Det vil sige, at der kun sendes en enhed ind i systemet pr. replikation, rent teknisk i *ARENA* udfyldes *Create*-modul som vist i figur 5.3.



Figur 5.3: Udfyldelse af *Create*-modul i *ARENA*.

Modellen er, som nævnt, opstillet ud fra det simplificerede netværksdiagram, figur 5.2, dog er der tilføjet nogle ekstra *ARENA*-moduler for at få det ønskede output, samt for at modellen afspejler den logiske model. For det første gælder det for *Attribute*- (Tid xx) og *Record*-modulerne (Tid proces xx), som ses i udsnittet i figur 5.4.



Figur 5.4: Udklip af ARENA-modellen.

Disse moduler anvendes, da specialegruppen ønsker at kunne afgøre, hvor lang tid hver enkel proces i projektet tager, udover blot den totale gennemløbstid.

Derudover ses det også i figur 5.4, at der er anvendt både **Separate**- og **Batch**-moduler.

Separate anvendes i de tilfælde, hvor en proces har flere efterfølgende processer, mens **Batch** bruges, hvor flere processer ligger før én proces. Disse moduler er altså blot anvendt for at simuleringsmodellen fungerer på samme måde som den logiske model. Det skal her bemærkes, at der kan opstå kø ved de enkelte **Batch**-moduler, idet alle forudgående processer skal være færdige, før enheden kan bevæge sig videre til næste proces i projektet. Dette svarer for eksempel til, at alle bærende vægge skal opsættes før tagkonstruktionen kan påbegyndes.

For hver proces er det som nævnt en triangulær fordeling, der er valgt som input. I figur 5.5 ses, hvorledes dette er indtastet for proces 9.

The screenshot shows a 'Process' dialog box with the following fields and values:

- Name:** Proces 9
- Type:** Standard
- Logic:**
 - Action:** Delay
- Delay Type:** Triangular
- Units:** Days
- Allocation:** Value Added
- Minimum:** 9
- Value (Most Likely):** 10
- Maximum:** 12.5
- ☒ Report Statistics
- Buttons:** OK, Cancel, Help

Figur 5.5: Eksempel på udfyldelse af **Process**-modul.

På samme måde er alle de resterende **Process**-moduler udfyldt med deres respektive parametre for de triangulære fordelinger, specificeret i tabel 5.2.

Da specialegruppen, som nævnt, ønsker at anvende *Output Analyzer* til at vurdere forskellene i den totale gennemløbstid ved de forskellige scenarier udfyldes et **Statistic**-modul. Heri angives, at det er den gennemsnitlige totale gennemløbstid, der skal dokumenteres i en .dat-fil, som navngives i sidste kolonne i modulet.

Dermed er den logiske model blevet omdannet til en simuleringsmodel, som herefter vil blive omtalt som grundmodellen. Denne danner sammenligningsgrundlag for de efterfølgende scenarier.

5.4 Verificering

Verificeringen af modellen sker som beskrevet i afsnit 3.1.1. Først vurderes outputtet fra modellen under forskellige forhold. Derefter kontrolleres det, at inputtet ikke ændres i løbet af simuleringen. Sidste punkt er en dokumentation af selve modellen, dette er gjort i forrige afsnit, hvorfor der her blot henvises til dette.

Alle undersøgelser er kørt med 100 replikationer, og alle resultater opgives i 95 % konfidensintervaller, da dette giver et mere retvisende billede af det stokastiske output.

Grundmodellen køres først for at vurdere, hvor godt gennemløbstiden stemmer overens med data. Ud fra data er projektet planlagt til at tage 65 dage, mens den opstillede simuleringsmodel tager [70,9938;71,9138] dage. I det der bruges fordelinger i *ARENA*, som input for de forskellige processers varighed, vil der ligeledes være variation i outputtet. Dette fænomen ønsker specialegruppen at tjekke ved at ændre alle inputs til konstante værdier. Den værdi der er opgivet i data, og altså den samme som *mest sandsynlig* værdien, der bruges som konstant værdi i grundmodellen. Efter en kørsel af modellen med denne ændring fås en gennemløbstid på 65 dage, svarende til den tid projektet oprindeligt er planlagt til at tage. Det kan det forsvares, at afvigelsen i grundmodellen skyldes de stokastiske tilfældigheder i input/output.

Da det ikke er muligt at overvåge input i *ARENA*, når modellen er opbygget af forskellige processer, kan det undersøges ved ovenstående forsøg, hvor alt tilfældighed tages ud af modellen, og alle processer har en konstant værdi. Fra outputtet af denne kørsel ses det, at alle processer tager den tid det forventes, og det må derfor konkluderes at input ikke ændres undervejs.

Yderligere ønsker specialegruppen at kontrollere om en forskydning af de triangulære fordelinger medfører en tilsvarende forandring i den totale gennemløbstid. Grundmodellen er i første omgang blevet ændret, således at alle *mest sandsynlig* værdierne er øget med 3, og dermed er *minimums*- og *maksimums* værdierne ændret tilsvarende, så de stadig svarer til henholdsvis minus 10 % og plus 25 % af *mest sandsynlig* værdien. Ved en kørsel af denne model fås et tidsforbrug på [85,862;86,9425] dage. En forøgelse i forhold til [70,9938;71,9138] dage inden ændringen. Specialegruppen undersøger længden af de forskellige køer og her ses det, at for grundmodellen er ventetiden ved **Batch 2** [3,6069;4,0269] dage og ved **Batch 4** [5,0377;5,3977] dage (se bilag C). Ved den nye situation er disse henholdsvis [6,4188;6,8988] dage og [4,9991;5,4191] dage. Denne øgede ventetid ved de mest belastede køer har en indvirkning på at projektet i den nye situation tager cirka 15 dage længere. Samtidig skal det her påpeges at variansen for hver enkelt proces er øget, ved at øge *mest sandsynlig* værdien med 3, hvilket også påvirker projektets varighed. Den modsatte situation er også undersøgt. Det vil sige, tilfældet hvor *mest sandsynlig* værdien er reduceret med 3, dette gør at variansen er faldet i forhold til grundmodellen. Resultatet af denne situation er [59,7859;60,7259] dage, hvilket er helt i tråd med forventningerne.

5.5 Validering

Som nævnt er verificering og validering to steps i et simuleringsstudie, der kan være svære at skelne imellem. Dette, samt det faktum, at specialegruppen ikke har data, at holde outputtet fra modellen op imod, er det valgt at få samarbejdsvirksomheden til at vurdere verificeringen og om modellen er valid.

På baggrund af korrespondance med samarbejdsvirksomheden vurderes ovennævnte som valid. Det viser sig, at det pågældende projekt endte med at tage tre uger længere end planlagt. Dette skyldtes forsinkelser i processerne (udfordringer med tørretider), men også ekstra arbejde. Derfor konkluderes det, at de cirka 6,5 dage grundmodellen overstiger den oprindelige tidsplan med, stemmer overens med virkeligheden.

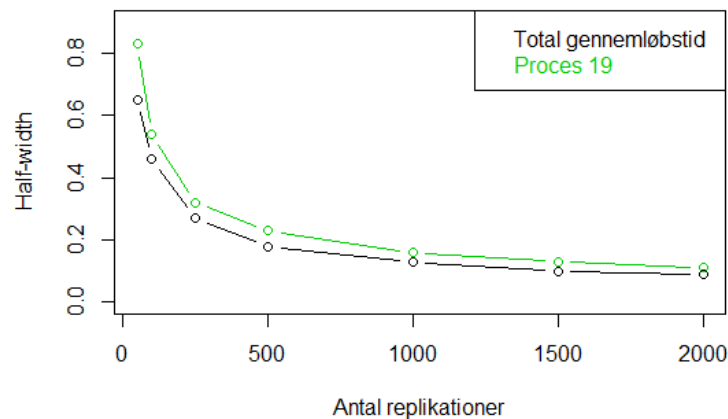
5.6 Antal af gennemløb

For at bestemme antallet af replikationer køres grundmodellen igennem flere gange med forskellige antal replikationer, hvor tidsforbruget og half-width for gennemførelsestiden noteres. Ud fra disse værdier vurderes det, hvor mange replikationer der er nødvendige for at få et præcist resultat i forhold til, hvor lang tid modellen tager at køre. Dette trade-off kræver, at man beslutter sig for, hvor præcise ens resultater skal være, på baggrund af hvor lang tid man har til at køre modellen. Der skal i denne sammenhæng tages højde for antallet af scenarier, der skal køres med det valgte antal replikationer.

Antal replikationer	50	100	250	500	1.000	1.500	2.000
Tid (sek.)	5	10	20	38	74	114	155
HW for total gennemløbstid	0,65	0,46	0,27	0,18	0,13	0,10	0,09
HW for proces 19	0,83	0,54	0,32	0,23	0,16	0,13	0,11

Tabel 5.3: Oversigt over antal replikationer, kontra tid og half-width.

I tabel 5.3 ses det, at tiden for at køre modellen ikke er stor, hvorfor nogle meget præcise resultater kan kræves, dvs. en lille half-width. Tabellen er illustreret i figur 5.6, hvor det, som forventet, ses at ved de første forøgelse af antal replikationer falder half-width markant, mens ved f.eks. 1.500 til 2.000 replikationer kun er reduktion af half-width på henholdsvis 0,01 og 0,02. Af denne årsag er flere replikationer ikke testet, da det ikke forventes at disse forbedrer resultatet væsentligt.



Figur 5.6: Illustration af tabel 5.3.

Denne lave half-width kan kræves idet tidsforbruget for at køre det givne antal replikationer er lille, ved 2.000 replikationer kører grundmodellen i 155 sekunder. Derfor vælger specialegruppen, at det er 2.000 replikationer der fremadrettet skal benyttes, og altså er basis for både resultaterne af grundmodellen i det følgende afsnit, samt resultaterne af de enkelte scenarier i næste kapitel.

5.7 Resultat af grundmodellen

Når grundmodellen køres med de fastsatte 2.000 replikationer, fås en total gennemløbstid på **[71,4384;71,6184]**. Her bemærkes det, at dette er et mindre interval end det fundet under verificering, hvilket skyldes det øgede antal replikationer.

Udover dette ønsker specialegruppen at undersøge, hvordan de enkelte processer forløber, disses varigheder, samt forskellen mellem denne og *mest sandsynlig* værdien, kan ses i tabel 5.4.

Proces	Varighed	Mest sandsynlig	Procentvis ændring
1	26,18	25	4,70
2	26,77	25	5,07
3	21,00	20	5,01
4	15,75	15	4,98
5	5,25	5	4,91
6	10,50	10	4,95
7	10,47	10	4,71
8	15,80	15	5,35
9	10,50	10	5,00
10	21,00	20	5,02
11	21,01	20	5,03
12	21,02	20	5,08
13	5,25	5	5,03
14	10,50	10	5,02
15	5,25	5	5,03
16	21,02	20	5,11
17	5,25	5	5,02
18	31,39	30	4,63
19	36,75	35	5,01
20	10,53	10	5,25
21	10,50	10	5,01
22	23,12	22	5,10
23	26,16	25	4,64

Tabel 5.4: Resultat for de enkelte processer.

I tabellen ses det, at processernes varighed er mellem 4,63 og 5,35 % større i modellen i forhold til *mest sandsynlig* værdien (data). Dette skyldes de skæve triangulære fordelinger, modellen bygger på.

Med resultatet af grundmodellen klarlagt, vil specialegruppen opsætte scenarier som bruges til at teste forskellige fænomener, som vil blive beskrevet i det næste kapitel.

KAPITEL 6

SCENARIER

I dette kapitel beskrives de valgte scenarier. Det beskrives både hvad der undersøges for, hvorfor dette er relevant at analysere, samt forventningerne til hvordan det pågældende scenarie påvirker outputtet. Begrundelsen for de forskellige scenarier vil både blive baseret på logisk tænkning, men også med udgangspunkt i de 26 risikofaktorer, der er introduceret i afsnit 4.1.

6.1 Betafordelinger

I dette scenarie ønsker specialegruppen at undersøge, hvorledes byggeprojektets gennemløbstid påvirkes, hvis alle processerne beskrives ved hjælp af betafordelingen. Det skal her pointeres, at for kun at ændre på et element i forhold til grundmodellen, har de betafordelinger der anvendes i dette scenarie samme middelværdi og varians, som de triangulære fordelinger grundmodellen er baseret på. Dette sikres ved at bruge formlerne for fordelingernes middelværdi og varians, som er beskrevet i bilag A.1 og A.2. Ud fra disse beregnes α og β , som skal bruges som input i *ARENA*-modellen. α og β er beregnet ved at opsætte et ligningsproblem og løse det vha. *Problemløser* i Excel. Da middelværdien for en betafordeling ligger mellem 0 og 1, er det nødvendigt at skalere middelværdien og variansen ned med 100, og efterfølgende gange op med 100. Et eksempel på dette for proces 9:

Løs

$$0,105 = \frac{\alpha}{\alpha + \beta},$$

under bibetingelse af

$$0,005417 = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)}$$

$$\alpha > 0$$

$$\beta > 0.$$

Dette giver en løsning, hvor $\alpha = 19,27$ og $\beta = 164,32$. Dette indsættes i *ARENA* ved at skrive $100 \cdot BETA(19.2778, 164.3186)$ i **Expression** feltet i det respektive **Proces**-modul.

Med baggrund i diskussionen i afsnit 3.1.1, forventes der ikke nogen signifikant forskel fra grundmodellens resultat. I de nævnte artikler pointeres det, at der ikke er nogen signifikant forskel i

resultaterne om der er brugt beta- eller triangulær fordeling. Dette scenarie er derfor en form for kontrol af, om dette system følger litteraturen, og ikke viser den store forskel i outputtet om der simuleres på baggrund af beta- eller triangulære fordelinger for processernes varighed.

6.2 Symmetriske triangulære fordelinger

I dette scenarie ønsker specialegruppen at undersøge, hvorledes en symmetrisk triangulær fordeling med samme middelværdi og varians, samt en med samme *minimum*- og *mest sandsynlig* værdier som grundmodellen, påvirker gennemløbstiden.

Med en symmetrisk triangulær fordeling forventes det, at systemet bliver mere stabilt, da sandsynligheden for at processen tager kortere tid er lig med sandsynligheden for at den tager længere tid. Derudover forventer specialegruppen, at tilfældet med samme *mest sandsynlig* værdi giver den største reduktion i den totale gennemløbstid, da processerne i dette tilfælde har lavere varians. Dette kan bruges som et beslutningsværktøj, dvs., at virksomheden kan vurdere om det kan betale sig at tilføre flere ressourcer til en given proces, for dermed at mindske sandsynligheden for at tidsplanen overskrides.

6.3 Reduktion af varians

Idet mange virksomheder ønsker en robust tidsplan, kan de have et ønske om at minimere variansen af de forskellige processer. Dette skyldes at lavere varians, gør de tidsestimater der planlægges efter mere sikre, og sandsynligheden for at overskride tidsplanen mindskes. Derfor ønsker specialegruppen at undersøge, hvorledes mindre varians i forskellige processer påvirker gennemløbstiden, og dermed afgøre hvilke processer, virksomheden bør fokusere mest på i denne henseende.

Specialegruppen har valgt at mindske variansen på proces 20, 21 og 22, da disse ikke er underlagt udefrakommende påvirkninger, som kan have stor indflydelse på andre processers varighed. Samtidig er de heller ikke ligeså komplekse, som f.eks. processer, hvori vand indgår, f.eks. proces 15 eller 17.

Rent praktisk er *maksimum*værdien ændret til at være 15 % højere end *mest sandsynlig* værdien, i modsætning til grundmodellens 25 %. Dette gør at variansen falder fra 0,5417 til 0,2639 for proces 20 og 21. For proces 22 er det en reduktion i varians fra 2,6217 til 1,2772. Det betyder, at den ændring der udføres i *ARENA* et at ændre parametrene for de tre processer til de værdier der er listet i tabel 6.1.

Proces	Minimum	Mest sandsynlig	Maksimum	E[X]	VAR[X]
20	9	10	11,5	10,1667	0,2639
21	9	10	11,5	10,1667	0,2639
22	19,8	22	25,3	22,3667	1,2772

Tabel 6.1: Nye parametre for de tre processer.

Det forventes at denne ændring mindsker den totale gennemløbstid, idet en mindre varians resulterer i kortere varighed for de valgte processer. Af den grund forventes det også, at varigheden af de tre valgte processer er mindre end de er i grundmodellen.

Individuel kontrol

For at specialegruppen kan vurdere, hvilke processer der påvirker gennemløbstiden mest, og dermed hvilke processer virksomheden skal fokusere på, testes reduktion af variansen for hver enkelt proces hver for sig. Dette medfører derfor 23 forskellige scenarier, hvor hver enkel proces' *maksimum*værdi nedsættes til at være 15 % af *mest sandsynlig* værdien, mens alt andet er uændret.

Det forventes, at de scenarier der indebærer de processer, der oprindeligt har den største varians og samtidig ligger på de kritiske veje, resulterer i de største forbedringer i forhold til grundmodellen. For eksempel forventes det, at ved undersøgelsen af proces 10 vil der være en væsentlig reduktion i den totale gennemløbstid, da denne ligger på alle de kritiske veje.

6.4 Forsinkede processer

På baggrund af risikofaktor 5, vejrforhold, fra afsnit 4.1, kan nogle processer blive forsinkede, eller måske ligefrem midlertidigt stoppe hele projektarbejdet. Dette gælder alle de processer med udendørsforhold, som blandt andet bærende vægge og taglægning, der bliver udsat, hvis vejrforholdene ikke er til at udføre arbejdet ordentlig og sikkert. Derfor ønsker specialegruppen at undersøge, hvad der sker, hvis disse processer bliver udsat med fem dage. Dette gøres rent praktisk i *ARENA* er ved at øge *mest sandsynlig* værdien med 5, og samtidig bibeholde at *minimum*værdien er 10 % mindre og *maksimum*værdien er 25 % højere end *mest sandsynlig* værdien. Denne ændring foretages for proces 1, 2, 4 og 7, som med denne ændring har de følgende parametre:

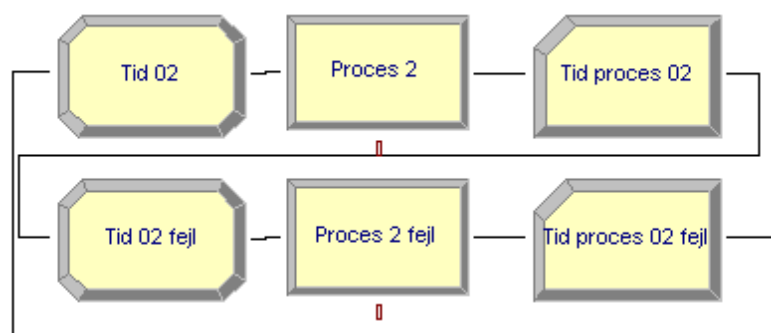
Proces	Minimum	Mest sandsynlig	Maksimum	E[X]	VAR[X]
1	27	30	37,5	31,5	4,8750
2	27	30	37,5	31,5	4,8750
4	18	20	25	21	2,1667
7	13,5	15	18,75	15,75	1,2188

Denne ændring forventes at øge gennemførelsestiden, da flere af de involverede processer er kritiske processer på de kritiske veje. Samtidig forventer specialegruppen også, at det øger de respektive processers varighed.

6.5 Fejl i proces

På baggrund af Byggeriets Ankenævns årsberetning for 2015 [Byggeriets Ankenævn, 2016] ses det, at de fleste klager Ankenævnet modtager omhandler træarbejde og herunder er det tagkonstruktionen, der er hårdest ramt. Derfor ønsker specialegruppen at undersøge, hvorledes hele tidsplanen påvirkes, hvis en proces er mangelfuldt udført, og dermed skal laves om.

Specialegruppen har på baggrund af Ankenævnets årsberetning valgt at gentage proces 2, der omhandler træarbejde, både lofter og døre. Det betyder, at i *ARENA* kopieres hele proces 2, inklusiv de tilhørende **Attribute**- og **Record**-moduler, og indsættes lige efter den eksisterende proces 2, se figur 6.1.



Figur 6.1: Proces 2 og den gentagne proces 2.

Denne gentagelse forventes at øge den totale gennemførelsestid med omtrent proces 2's varighed (25 dage), idet proces 2 ligger på den kritiske vej jf. figur 5.2.

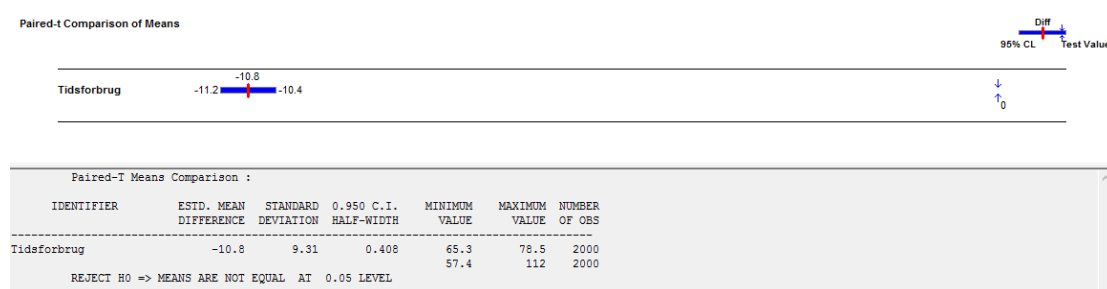
KAPITEL 7

RESULTATBEHANDLING

Dette kapitel analyserer resultaterne fra de forskellige scenarier fra kapitel 6. Det vurderes om, hvert enkelt scenarie lever op til forventningerne og eventuelle afvigelser vil blive undersøgt. Der vil for hvert scenarie blive kørt en **Compare Means** i *Output Analyzer*, som bruges til at vurdere om scenarierne er statistisk signifikant forskellige fra grundmodellen.

7.1 Betafordelinger

Den totale gennemløbstid for scenariet, hvor alle processer er betafordelte, er 82,30 dage, hvilket er 10,77 dage længere end grundmodellens gennemløbstid. Ved test for forskellighed, ses det at modellen er signifikant forskellig fra grundmodellen, testen ses i figur 7.1.



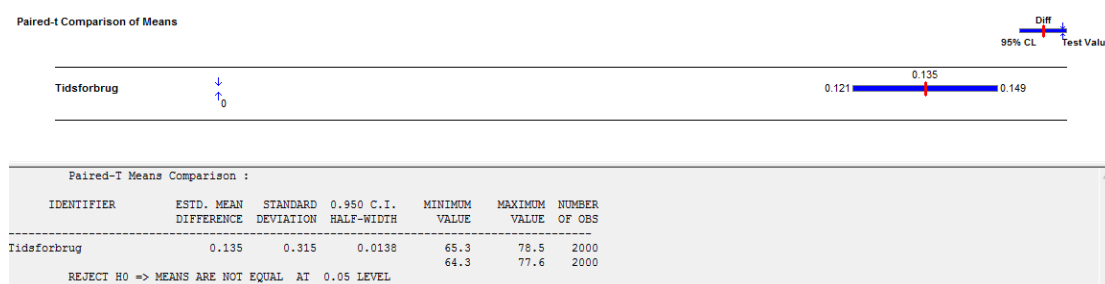
Figur 7.1: Resultat fra *Output Analyzer* for beta-scenariet.

Det var forventet, at gennemløbstiden ikke ville være signifikant større eller mindre end grundmodellen, hvilket ikke er opfyldt. Testen viser, at ved at ændre alle processer til at have betafordelinger, bliver gennemløbstiden markant større, hvilket kan skyldes at betafordelingen ikke er begrænset opadtil, dette resulterer i nogle høje gennemløbstider (f.eks. har en af replikationerne en gennemløbstid på 112,46 dage). Yderligere ses det, at køerne ved de 5 **Batch**-moduler er markant større end i grundmodellen, hvilket skyldes at en stor del af processerne har en længere varighed. Ved undersøgelse af kurtosis for processerne har alle på nær proces 18 og 19 en meget høj kurtosis, hvilket betyder at sandsynligheden for at sample en høj værdi er stor, den kan altså tage en større værdi end den triangulære fordeling fra grundmodellen kan.

Dette scenarier var lavet som en kontrol af de konklusioner der er fra litteraturen, men som det ses stemmer resultatet ikke overens med det forventede.

7.2 Symmetriske triangulære fordelinger

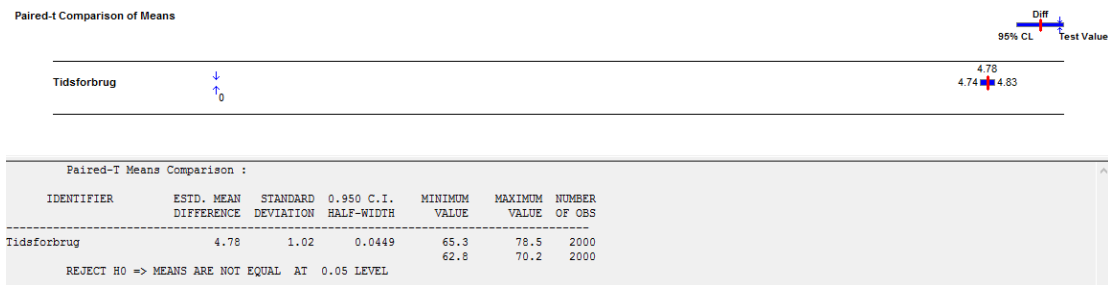
For scenariet med samme middelværdi og varians som grundmodellen er den totale gennemløbstid 71,39 dage, en reduktion på 0,13 dage i forhold til grundmodellen. Ved test for forskellighed, ses det at modellen er signifikant forskellig fra grundmodellen, testen ses i figur 7.2.



Figur 7.2: Resultat fra *Output Analyzer* for symmetrisk fordeling med samme middelværdi og varians som grundmodellen.

Gennemløbstiden er blevet reduceret som forventet, men ændringen er meget lille set i forhold til, at der regnes i dage og giver derved ikke nogen betydelig forskel. Yderligere, er der ikke tegn på, at processerne bliver mere stabile som følge af den symmetriske fordeling, da der både er processer, hvor tiden er større og mindre end i grundmodellen. Dette kan skyldes, at *mest sandsynlig* værdierne er blevet højere, mens både *maksimum*- og *minimum*værdierne er blevet mindre, og dette derved ikke giver det store udslag i forhold til gennemløbstiden. Da projektet består af 23 processer og antallet af dage projektet løber over ikke er stort, ses der ikke nogen signifikant forbedring ved at ændre til en symmetrisk triangulær fordeling, men havde målestokken været større, ville der muligvis have været en tydeligere forskel.

Specialegruppen testede også med en symmetrisk triangulær fordeling med samme *mest sandsynlig* værdi som grundmodellen, men hvor *minimum*- og *maksimum*værdierne var $\pm 10\%$ af *mest sandsynlig* værdien. Dette gav en total gennemløbstid på 66,74 dage, og som forventet er dette en del mindre end gennemløbstiden for grundmodellen, en reduktion på 4,78 dage. Ved test for forskellighed, ses det at modellen er signifikant forskellig fra grundmodellen, se figur 7.3.

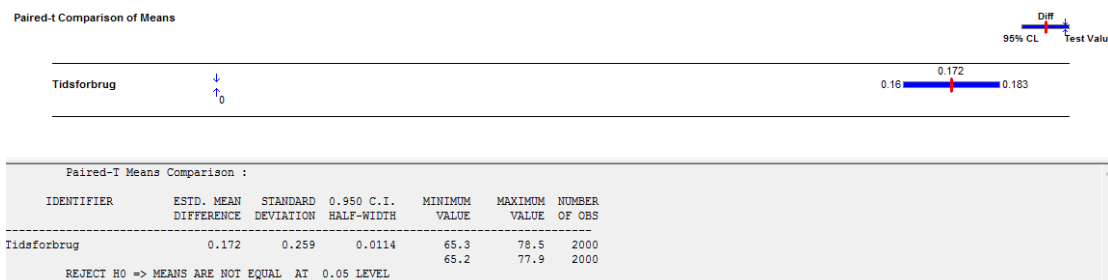


Figur 7.3: Resultat fra *Output Analyzer* for symmetrisk triangulær fordeling med $-/+ 10\%$.

Men i dette scenarie er både middelværdien og variansen blevet reduceret, hvilket har stor betydning for gennemløbstiden. Det vil derfor have betydning for gennemløbstiden, hvis en virksomhed kan nedbringe variansen i de forskellige processer, og dermed mindske sandsynligheden for overskridelser i deres processer.

7.3 Reduktion af varians

Ved at reducere variansen for proces 20, 21 og 22, er den totale gennemløbstid blevet reduceret til 71,36 dage, hvilket er en reduktion på 0,17 dage. Når dette scenarie testes for forskellighed, ses det at dette også er signifikant forskellig fra grundmodellen, se figur 7.4.



Figur 7.4: Resultat fra *Output Analyzer* for scenariet med reduceret varians.

Det ses at proces 20, 21 og 22 er reduceret med henholdsvis 0,34, 0,33 og 0,74 dage, hvilket stemmer overens med forventninger, da variansen er mindsket for alle tre processer. Dette svarer til en procentvis reduktion på henholdsvis 3,23 %, 3,17 % og 3,21 %.

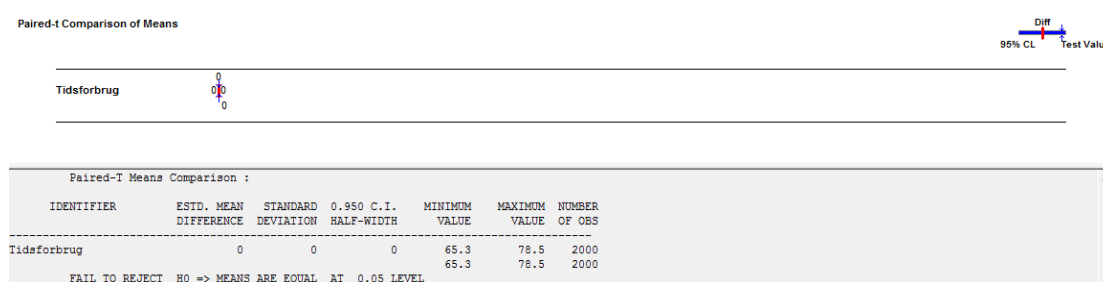
Yderligere ses det, at de resterende processer stort set er identiske med processerne i grundmodellen, hvilket betyder, at det kun er de tre processer, der har været medvirkende til den lavere

gennemløbstid. Det skal bemærkes, at proces 22 ikke ligger på den kritiske vej, og derfor ikke har betydning for den totale gennemløbstid. Eftersom der er mange kritiske veje i projektet, vil det kræve, at variansen som minimum skulle reduceres på alle kritiske veje, for at dette ville give et større udslag på den samlede gennemløbstid. Dette scenarie påviser, at det har en betydning at reducere variansen, men at det ikke har nogen større påvirkning på den samlede gennemløbstid, med mindre variansen på alle kritiske veje mindskes.

Baggrunden for dette scenarie er at skabe mere præcise resultater, derfor vurderes half-width for både den totale gennemløbstid, samt de enkelte processers varighed. Her ses det, at half-width kun har ændret sig for de tre involverede processer, hvor den dog kun er faldet med 0,01 for proces 20 og 21, og 0,02 for proces 22. Dette indikere altså, at denne lille ændring i blot nogle af processerne ikke har den store indflydelse på resultatet.

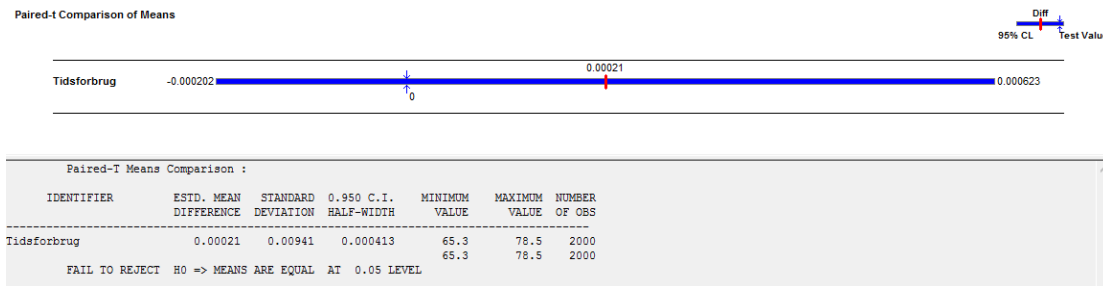
Individuel kontrol

Dette scenarie tester som nævnt effekten af reduktion af variansen for hver enkel proces. Her fra ses det, at scenarierne med ændringer i de fire processer 1, 14, 18 og 22, er statistisk signifikant ens med grundmodellen, hvorimod de resterende scenarier ikke er ens. Dette skyldes, at en reduktion af disses varighed ikke påvirker den totale gennemløbs tid, da disse ikke ligger på nogle kritiske veje. For proces 14 og 18 gælder det, at resultaterne er præcis de samme som for grundmodellen, hvorfor de altså er fuldstændig ens, se figur 7.5, som er tilsvarende for proces 18.

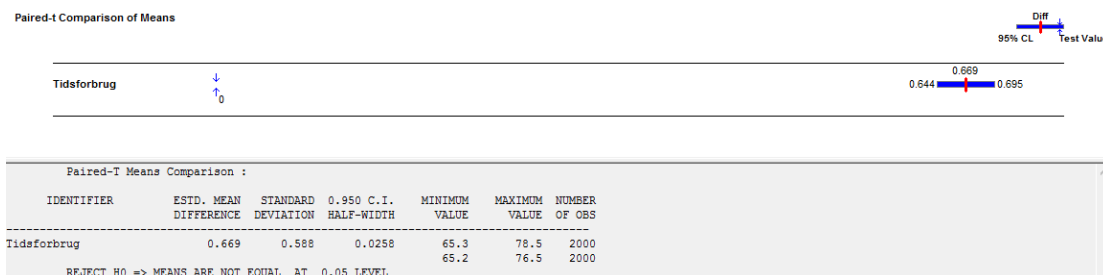


Figur 7.5: Resultat fra *Output Analyzer* for proces 14.

Proces 1 og 22 har dog lidt variation, men kan stadig kategoriseres som ens med grundmodellen, se figur 7.6. Resultatet for proces 1 er tilsvarende.

Figur 7.6: Resultat fra *Output Analyzer* for proces 22.

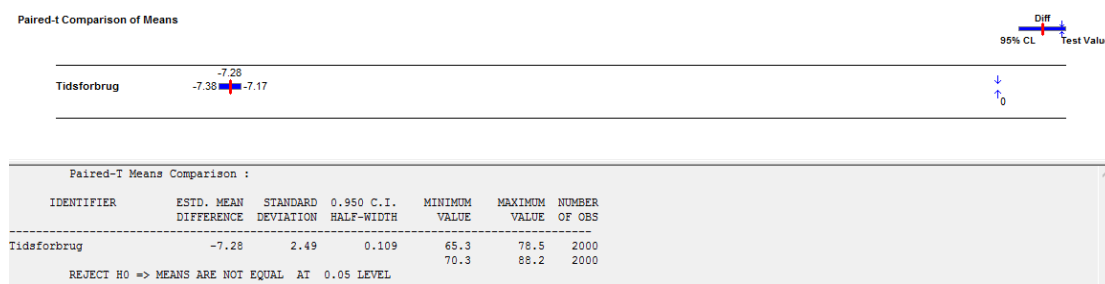
For de resterende processer ses det, at de alle har påvirket modellen i positiv retning, dog ikke med en betydelig faktor. Den proces der påvirker modellen mest er proces 10, som har reduceret den totale gennemløbstid med 0,67 dage. Dette stemmer overens med reduktionen af proces 10's varighed. Grunden til at proces 10 har haft en så markant indflydelse i forhold til de andre processer er, at denne ligger på alle de kritiske veje i projektet.

Figur 7.7: Resultat fra *Output Analyzer* for proces 10.

Disse resultater stemmer overens med forventningerne til scenariet. Det vil altså have en betydning at reducere variansen, dog kun hvis dette gøres for alle kritiske veje.

7.4 Forsinkede processer

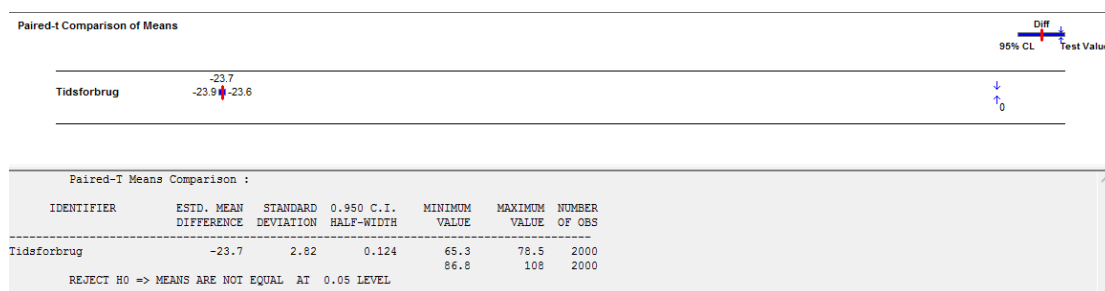
I dette scenarie blev fire processer (1, 2, 4, 7) forsinket med 5 dage. Den totale gennemløbstid er 78,80 dage, som er 7,28 dage længere end grundmodellen. Ved test for forskellighed er modellen er signifikant forskellig fra grundmodellen, figur 7.8.

Figur 7.8: Resultat fra *Output Analyzer* for de forsinkede processer.

Ved eftersyn af processerne, ses det at de henholdsvis er steget med 5,24, 5,25, 5,26 og 5,22 dage i forhold til grundmodellen, hvilket er forventeligt da processerne blev forsinket med 5 dage. Den total gennemløbstid er 7,28 dage større end grundmodellen, hvilket er påvirket af at de er kritiske processer, med undtagelse af proces 1, og derfor er den totale gennemløbstid kun påvirket med hvad der svarer til omkring en proces' forsinkelse. Som forventet er gennemløbstiden påvirket i negativ retning ved at forsinke forskellige processer, og det har stor betydning om processerne ligger på de kritiske veje.

7.5 Fejl i proces

I dette scenarier blev proces 2 gentaget, som følge af en fejl i processen. Den totale gennemløbstid er 95,26 dage, hvilket er 23,73 dage længere end grundmodellen. Dette er som forventet, da der indsættes en ekstra proces på en kritisk vej. Stigningen på 23,73 dage er i overensstemmelse med at proces 2 har en *mest sandsynlig* værdi på 25. Ved test for forskellighed er modellen, som forventet, signifikant forskellig fra grundmodellen, som ses i figur 7.9.

Figur 7.9: Resultat fra *Output Analyzer* for scenariet med fejl i proces 2.

Det er tydeligt, at hvis en proces på den kritiske vej skal gentages, vil dette have store konse-

kvenser for den totale gennemløbstid. Samtidig skal det her bemærkes, at dette ændre mængden af kritiske veje, da de to veje proces 2 ligger på, nu vil blive de eneste to kritiske veje i projektet, da disse er længere end alle de andre.

KAPITEL 8

DISKUSSION

Dette kapitel har til formål at diskutere og reflektere over kandidatspecialets forløb og resultater. Specialegruppen har gennem processen fået et større emnekendskab, hvilket gør det muligt at gennemgå kandidatspecialet med et undersøgende udgangspunkt, for at vurdere for mangler og forbedringer.

Med emnevalget af projekter og herunder hvordan tidsplaner for projekter styres, valgte specialegruppen at anvende simulering som værktøj. Dette gav anledning til udfordringer, fordi projekter er unikke, og det var ikke muligt at få tidsplaner fra flere projekter som kunne betragtes som ens, og datamængden var derfor meget lav. Specialegruppen var her nødsaget til at basere simuleringsmodellen på ekspertviden, da den nødvendige mængde data til at udføre input analyse til at bestemme input til modellen ikke var tilgængelig. Modellen er derfor i samarbejde med samarbejdsvirksomheden vurderet til at være en valid model af det virkelige system. Med det sparsomme data har det også været nødvendigt at lave en afgrænsning af, hvordan det var muligt at opbygge modellen, og derfor hvilke antagelser, der var nødvendige. Som nævnt i afsnit 2.3 indeholder modellen ikke ressourcer, da det ikke har været muligt at få kendskab til antallet af ressourcer, der udførte hver enkelt opgave i projektet. Dette betyder, at det ikke har været muligt at teste, hvordan det påvirker tidsplanen, hvis der tilføres flere ressourcer. Hvis modellen havde været inklusiv ressourcer kunne det være muligt at bruge modellen, som et styringsværktøj, hvor man kunne teste om man kunne indhente tabt tid ved at tilføre flere ressourcer til en række processer i modellen. Yderligere indeholder modellen ikke nogen overlappende processer, idet data ikke indeholder nogen specifikation af, hvilke processer der kan udføres sideløbende, og hvilke der skal være udført før andre kan gå i gang. Derfor har specialegruppen antaget, at alle processer følger strukturen i data, hvor en proces ikke kan starte før de forudgående processer er færdige. Hvis det havde været muligt at opstille modellen med overlappende processer, kunne dette have betydning for, om nogle processer kunne være startet før, selvom en forudgående proces ikke var færdig eller var forsinket. Dette kunne have reduceret den samlede tid for projektet, og eventuelt gjort resultatet fra grundmodellen mere i tråd med de 65 dage fra data. Sidst har specialegruppen valgt kun at fokusere på tid, uden at kigge på omkostninger og kvalitet af projektet. Hvis dette havde været indført i modellen, ville man hele tiden kunne se, hvilke konsekvenser de forskellige scenarier ville have for både omkostninger og

kvalitet, og modellen ville have givet et mere virkeligt billede af, hvordan et projekt forløber.

Forventningen til resultaterne af de scenarier, som specialegruppen opstillede blev i de fleste tilfælde opfyldt. Ved scenarie 6.2 var det forventet at med en symmetrisk triangulær fordeling ville den totale gennemløbstid reduceres. Gennemløbstiden for testen, hvor middelværdi og varians var den samme som i grundmodellen, var der ikke nogen betydelig reduktion i gennemløbstiden, men i testen hvor *maksimum*værdien var ændret til + 10 % af *mest sandsynlig* værdien, ses en betydelig reduktion. Denne reduktion skyldes at systemet er blevet mere stabilt, og at variansen er blevet reduceret betydeligt. Forventningerne til scenarie 6.5, 6.4 og 6.3 er opfyldt som forventet, her ses det dog tydeligt, at de kritiske veje i projektet har stor betydning for påvirkningen af gennemløbstiden, hvilket der ikke er taget højde for i scenarierne. I det sidste scenarie 6.1 er forventninger ikke, som i de andre, opfyldt. Forventningen var, at der ikke ville være nogen signifikant forskel fra grundmodellen, fordi [Wilson et al., 1982] og [Klein and Baris, 1990] i deres artikler har konkluderet, at der ikke er nogen signifikant forskel på at bruge en betafordeling og en triangulær fordeling. Resultatet fra dette scenarie gav en gennemløbstid, der var markant større end grundmodellens, hvilket ikke var forventet. Der kan være forskellige grunde til, at der ses en markant højere værdi for betafordelingen, bl.a. er betafordelingen ikke begrænset opadtil, hvilket gør at den kan tage meget høje værdier, hvilket den triangulære fordeling ikke kan, da den er begrænset. Ved undersøgelse af værdierne for de 2.000 replikationer for betafordelingen, ses det at den mindste er 57,44 dage, og den højeste er 112,46 dage, hvilket tyder på, at betafordelingen kan tage markant højere værdier end i grundmodellen med den triangulære fordeling, fordi den ikke er begrænset opadtil. Yderligere består projektet af 23 processer, som hver især har korte varigheder, hvis projektet derimod havde bestået af flere processer af længere varighed, ville den markante forskydelse i gennemløbstiden udligne sig mere, således at de to fordelinger ville være mere ens.

8.1 Udvidelser

Hvis man skulle arbejde videre i forlængelse af dette projekt er der nogle forskellige aspekter man kunne tage fat på. For det første hvis det var muligt at få mere detaljeret data, og finde byggeprojekter der kunne betragtes som ens, og dermed have et bedre datagrundlag til at opbygge modellen på, altså en mulighed for at udføre input analyser. Dette ville medføre at de anvendte fordelinger var mere virkelighedsnære og dermed gøre modellen mere realistisk. Yderligere ville en større datamængde gøre en systematisk valideringsproces mulig, det vil altså være muligt at dele data op i modeldata og valideringsdata. Hvis dette ikke er muligt, kunne man vælge at

holde modellen op mod den tidsplan projektet endte med at følge og på denne måde validere modellen.

En anden ting man kunne udbygge modellen med er afhængigheder mellem processerne. Med dette menes der, hvis en proces forsinkes, hvad er sandsynligheden for at den efterfølgende proces ligeledes er forsinket, og i hvilket omfang. Baseret på det data specialegruppen har haft til rådighed til dette kandidatspeciale, har det ikke været muligt at gennemskue disse sammenhænge og derfor er disse udeladt. Derfor kræver denne udvidelse igen yderligere data/information fra samarbejdsvirksomheden, eventuelt historisk data over hvorledes det er sket i tidligere projekter. En tilføjelse af dette forventes at øge projektets varighed, såfremt der er forsinkelser/problemer i de afhængige processer.

Idet ressourcer, som nævnt, ikke er inkorporeret i modellen, er disse selvfølgelig en oplagt udvidelse. Denne ændring hænger sammen med overlappende processer, idet processer der følger hinanden, men skal udføres af forskellige ressourcer ofte vil kunne overlappe hinanden. Samtidig tilfører dette modellen omkostningsdelen af et projekt, hvilket er et vigtigt element i projektstyring og projektplanlægning. Samtidig kan en tilføjelse af ressource-elementet i en model, gøre det muligt at undersøge, hvordan en virksomhed kan handle ved en eventuel forsinkelse af en proces. På denne baggrund kan det vurderes om, det kan betale sig for virksomheden, at tilføre flere ressourcer til senere processer og dermed reducere disses varighed. Dermed reduceres den totale varighed forhåbentligt, dog sker dette på bekostning af øgede omkostninger.

Det tredje element i den velkendte projekt trekant er kvaliteten af arbejdet. En måde at have kvalitet tænkt ind i tidsplanen, er ved at indlægge milepæle, hvor der vil være kvalitetskontrol, således at kvaliteten sikres løbende. Dette vil også være en medvirkende faktor til, at tidsplanen løbende bliver opdateret, således at man kan styre, hvor langt man er med et projekt, og om der kræves forskellige indgreb fra projektlederen for at overholde tidsplan, budget eller kvalitetsbestemmelserne.

KAPITEL 9

KONKLUSION

I dette afsluttende kapitel vil specialegruppen runde kandidatspecialet af med en besvarelse af problemformuleringen i afsnit 2.2.

Specialegruppen vil som start konkludere på de sekundære spørgsmål fra problemformuleringen. Det første spørgsmål lød *Hvilke fænomener kan påvirke et projekt?* Der findes forskellige fænomener som kan påvirke et projekt, [Larsen et al., 2015a] har listet 26 faktorer, der har indvirkninger på omkostninger, tid og kvalitet. Disse faktorer lægger vægt på fejl og mangler ved et projekt, samt udefrakommende påvirkninger, hvor det ikke er muligt at ændre forholdene. De forskellige fænomener påvirker omkostninger, tid og kvalitet på forskellig vis, og derfor er det nødvendigt at betragte alle tre elementer som en samlet enhed, og ikke som det er gjort i dette kandidatspeciale.

Det andet sekundære spørgsmål var *Hvordan påvirkes et projekts tidsplan, hvis forskellige fænomener optræder?* For at undersøge hvordan forskellige fænomener påvirker tidsplanen for et byggeprojekt, opstillede specialegruppen forskellige scenarier, hvor de hver især blev påvirket af en faktor. Resultaterne af disse undersøgelser var i de fleste tilfælde som forventet, hvor det særligt var ændringer der påvirkede de kritiske veje som gjorde udslag. Ved scenariet omkring at bruge betafordelinger til processerne var det forventet at dette ikke ville have nogen udslagsgivende resultater, fordi litteraturen konkluderede, at der ikke er nogen signifikant forskel på den triangulære fordeling og betafordelingen. Forventningen for dette blev ikke opfyldt, da scenariet havde en markant højere gennemløbstid end grundmodellen. Dette gav anledning til diskussion om resultatet, som konkluderede at projektets størrelse og betafordelingens form var årsagen hertil.

De to sekundære spørgsmål er stillet for at kunne besvare det primære spørgsmål *Hvilke fænomener skal man være opmærksom på i forbindelse med udarbejdelse af en tidsplan for et projekt?* Det overordnede aspekt specialegruppen er kommet frem til, at man skal være opmærksom på i forbindelse med opsætning af en tidsplan er, hvorvidt en given proces ligger på den kritiske vej. Den negative påvirkningsgrad af gennemløbstiden er stor, hvis der sker ændringer på en proces på en kritisk vej, hvilket giver anledning til at være opmærksom på fænomener, som forsinkelser, fejl og udefrakommende påvirkninger. For at kunne påvirke en tidsplan således at den overholdes på bedst mulig vis, skal der være øget opmærksomhed på varians. Hvis det er

muligt at mindske variansen af processer på alle kritiske veje, vil det være muligt at give mere stabile estimater af de forskellige processers varigheder, og dermed mere holdbare tidsplaner.

Overordnet set for at kunne lave en robust tidsplan for et projekt i hvilken som helst branche, er det nødvendigt at have en konkret projektstruktur, hvor man er opmærksom på alle processer. Det er nødvendigt at kortlægge sammenhænge mellem processerne, således at den overordnede projektstruktur er klarlagt. Dernæst er det vigtigt at kortlægge de(n) kritisk(e) vej(e), fordi det er her på påvirkningsgraden er størst, både positivt og negativt. Herunder må man ikke miste fokus fra de andre veje, da en stor forsinkelse på disse, ville kunne gøre at en vej bliver kritisk. En sidste vigtig faktor at være opmærksom på er varians i processerne, fordi en høj varians vil gøre det svært at styre et projekt, da man risikerer, at nogle processer vil have længere varighed end planlagt. En virksomhed der kan reducere variansen i processerne, vil have større sandsynlighed for at overholde deres tidsplaner, bedre overblik over ressourcekrav samt større sandsynlighed for at overholde både budget og kvalitetsbestemmelserne.

Overordnet set er simulering og risikostyring to redskaber som kan være med til at sikre en bedre projektstruktur, herunder et værktøj som er særdeles fordelagtigt at anvende ved udarbejdelse af tidsplaner. I forbindelse med tidsplaner kan simulering og risikostyring, bruges både ved den første planlægning af tidsplanen, men det vil også kunne bruges løbende, hvor man kan vurdere, hvorvidt man når sit mål eller ej, og derudfra vurdere om der kan gøres noget for at komme i mål til tiden.

LITTERATUR

- AbouRizk, S. M. and Halpin, D. W. (1992). Statistical properties of construction duration data. *Journal of Construction Engineering and Manageme*, 118(3):525–544. 11
- Aouad, G. and Price, A. (1994). Construction planning and information technology in the uk and us: a comparative study. *Construction Management and Economics*, 12:97–106. 2
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., and Nicol, D. M. (2005). *Discrete-event System Simulation*. Pearson Education, Inc. 9, 11, 12, 55
- Byggeriets Ankenævn (Februar 2016). *Årsberetning 2015 for Byggeriets Ankenævn*. Byggeriets Ankenævn. 38
- Campbell, K., Clegg, D. R., Perera, T., Stephenson, P., and Stevens, A. (1997). Simulation in the construction industry - a case-study review. *Association of Researchers in Construction Management*, 2:408–17. 2
- Dansk Byggeri (2006a). *Introduktion til risikostyring i byggeriet - Erfaringer og anbefalinger*. Dansk Byggeri, 2. edition. 20, 21
- Dansk Byggeri (2006b). *Vejledning i Risikostyring i Bygge- & anlægssektoren*. Dansk Byggeri. 2, 20
- Fente, J., Schexnayder, C., and Knutson, K. (2000). Defining a probability distribution function for construction simulation. *Journal of Construction Engineering Management*, pages 234–241. 11
- Gyldendal (2013). Risiko. http://denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Teknologi/Teknologiens_terminologi/risiko. Læst den 01.02.2016. 16
- ISO Guide 73 (2009). Iso guide 73. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:guide:73:ed-1:v1:en>. Læst den 01.02.2016. 16
- Ivarsen, M. and Jensen, E. G. H. (2016). Risikohåndtering for praktikere. Master’s thesis, Aalborg Universitet. 1

- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., and Zupick, N. B. (2015). *Simulation with Arena*. McGraw-Hill Education. 13
- Klein, R. W. and Baris, P. M. (1990). Selecting and generating variates for modeling service times. *Computers ind. Engng*, 20(1):27–33. 11, 48
- Larsen, J. K., Shen, G. Q., Lindhard, S. M., and Brunoe, T. D. (2015a). Factors affecting schedule delay, cost overrun, and quality level in public construction projects. *Journal of Management in Engineering*. , 1, 3, 15, 16, 51
- Larsen, J. K., Ussing, L. F., Brunoe, T. D., and Lindhard, S. M. (2015b). The project management process of planning and budgeting in public construction projects. *International journal of information*. 1
- Lynggaard, P. (2011). *Risikolelse og risikostyring*. Handelshøjskolens forlag, 1. udgave edition. 16, 17, 18, 19, 20, 55
- Nicholas, J. M. and Steyn, H. (2012). *Project Management for Engineering, Business and Technology*. Routledge. 1
- Olsen, P. B. and Pape, D. W. (2014). *En stærkere byggeproces - BIM i teori og praksis*. MTHøjgaard. 2
- Oxford Reference (2014). Beta distribution. <http://www.oxfordreference.com.zorac.aub.aau.dk/view/10.1093/acref/9780199679188.001.0001/acref-9780199679188-e-158>. Læst den 17.04.2016. ii
- Scherer, R. and Ismail, A. (2011). Process-based simulation library for construction project planning. In *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, pages 3488–3499. 2
- Tesfaye, E., Girma, K., Berhan, E., and Beshah, B. (2015). A simulation of project completion probability using different probability distribution functions. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 334:133–145. 11
- Wilson, J. R., Vaughan, D. K., Naylor, E., and Voss, R. G. (1982). Analysis of space shuttle ground operations. *Simulation*, 38(6):187–203. 11, 48

FIGURER

0.1	Projektstruktur.	
3.1	Opbygning af simuleringsstudie. Kilde: [Banks et al., 2005].	9
4.1	Objektiv vs. subjektiv risikoopfattelse. Kilde: [Lynggaard, 2011].	17
4.2	Model af faserne i et risikomanagementsystem. Kilde: [Lynggaard, 2011].	18
4.3	Risikomatrix. Kilde: [Lynggaard, 2011].	19
5.1	Netværksdiagram med 37 processer.	24
5.2	Netværksdiagram med 23 processer.	26
5.3	Udfyldelse af Create -modul i <i>ARENA</i>	28
5.4	Udklip af <i>ARENA</i> -modellen.	28
5.5	Eksempel på udfyldelse af Process -modul.	29
5.6	Illustration af tabel 5.3.	32
6.1	Proces 2 og den gentagne proces 2.	38
7.1	Resultat fra <i>Output Analyzer</i> for beta-scenariet.	39
7.2	Resultat fra <i>Output Analyzer</i> for symmetrisk fordeling med samme middelværdi og varians som grundmodellen.	40
7.3	Resultat fra <i>Output Analyzer</i> for symmetrisk triangulær fordeling med $-/+ 10\%$. . .	41
7.4	Resultat fra <i>Output Analyzer</i> for scenariet med reduceret varians.	41
7.5	Resultat fra <i>Output Analyzer</i> for proces 14.	42
7.6	Resultat fra <i>Output Analyzer</i> for proces 22.	43
7.7	Resultat fra <i>Output Analyzer</i> for proces 10.	43
7.8	Resultat fra <i>Output Analyzer</i> for de forsinkede processer.	44
7.9	Resultat fra <i>Output Analyzer</i> for scenariet med fejl i proces 2.	44
A.1	Illustration af triangulær-fordelingen.	i
A.2	Illustration af beta-fordelingen.	ii

TABELLER

5.1	Liste over sammenlagte processer.	25
5.2	Værdier til de enkelt processer i modellen.	27
5.3	Oversigt over antal replikationer, kontra tid og half-width.	31
5.4	Resultat for de enkelte processer.	33
6.1	Nye parametre for de tre processer.	37

BILAG A

FORDELINGER

Dette bilag har til formål at gennemgå den matematiske baggrund for de fordelinger som er anvendt i kandidatspecialet. De fordelinger der anvendes er triangulær og betafordeling.

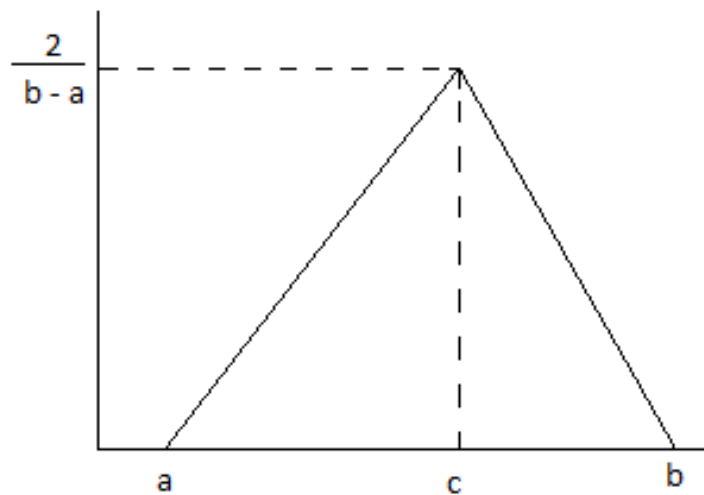
A.1 Triangulær fordeling

Dette afsnit beskriver af de vigtigste egenskaber ved en triangulær fordeling.

For at definere en triangulær fordeling bruges tre parametre *mest sandsynlig* (c), *minimum* (a) og *maksimum* (b). Ud fra disse beregnes henholdsvis middelværdi og varians som:

$$E[X] = \frac{a + b + c}{3}$$

$$Var[X] = \frac{a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc}{18}.$$



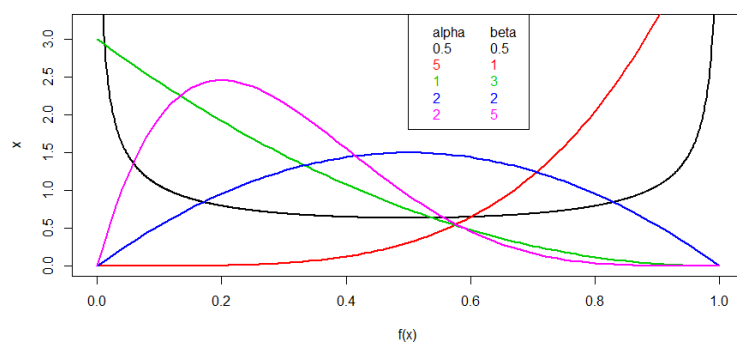
Figur A.1: Illustration af triangulær-fordelingen.

A.2 Betafordeling

Dette afsnit beskriver betafordelingen, som er beskrevet ved parametrene α og β , som begge er to positive variable. Fordelingens middelværdi og varians er givet ved

$$E[X] = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

$$Var[X] = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1)}.$$



Figur A.2: Illustration af beta-fordelingen.

I figur A.2 ses det tydeligt, hvor fleksibel betafordelingen er. Figuren viser træthedsfunktionerne for 5 forskellige betafordelinger, og parametrenes forhold. [Oxford Reference, 2014]

BILAG B

DATA

Data fra Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse. Data består i en tidsplan for et byggeprojekt udført i 2015.

BYGGEFORRETNING ApS

v. BYGMESTER JENS OLSEN
BYLEDGSGADE 10
DK-3700 RØNNE

FAX 5695 9709
E-MAIL: post@hjb-byg.dk
www.hjb-byg.dk

TLF. 5695 0709

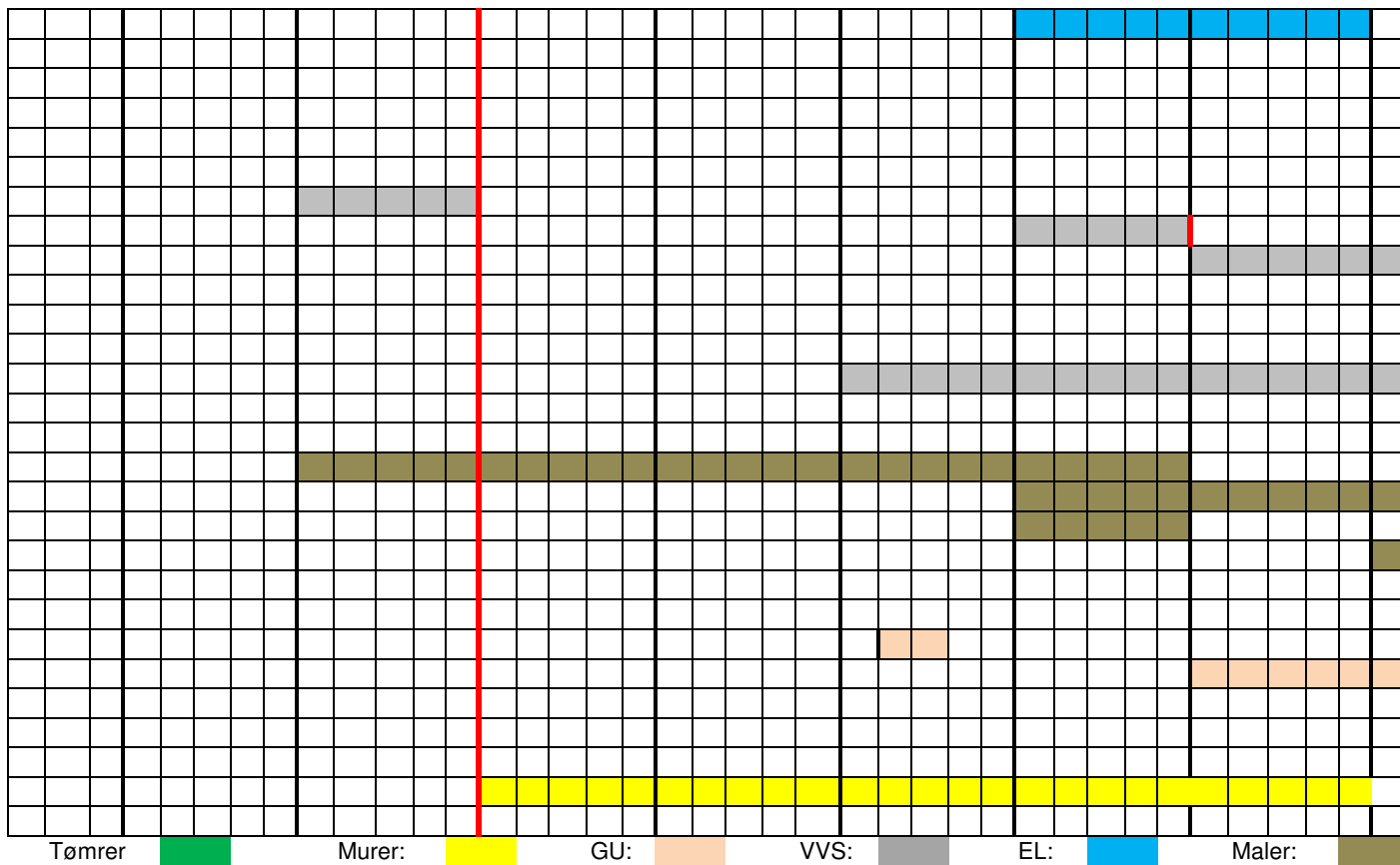
REG. NR. 61 722
CVR-nr. 73 479 819
GIRO 6 14 93 75

Sag: Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse Bygning 23

Adr: Almegårdskasserne Bygning 23 3700 Rønne

[illegible]

[illegible]

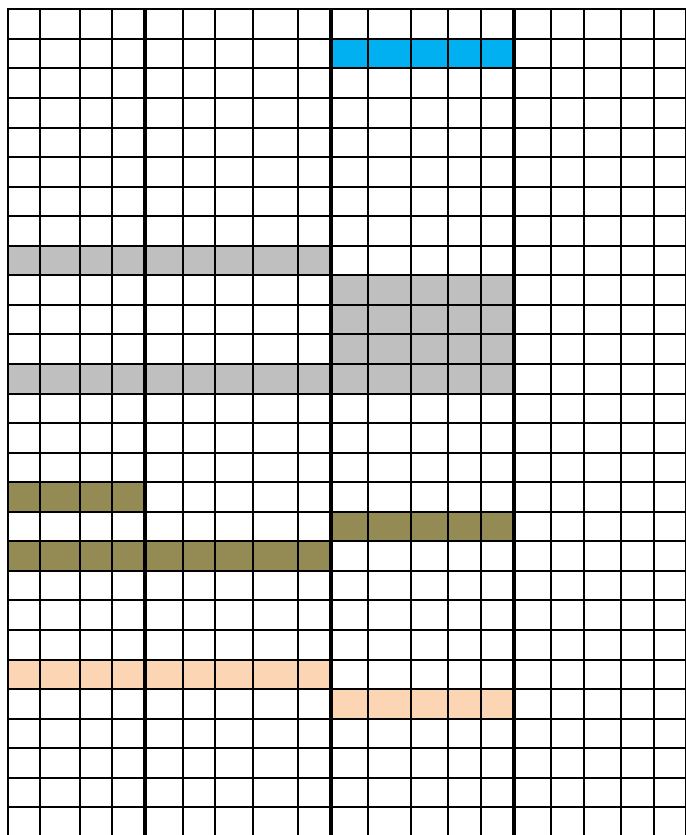


**Tidsplan af d.
Rev.**

25.08.2015

UDKAST !

[illegible]



Bygherre:



Ferie:



BILAG C

SIMULERINGSMODEL

Grundmodellen fra *ARENA*.

