

Tillämpning av Monte Carlo simulering för kostnadsbedömning av byggprojekt

Stefan Marusic



LUNDS
UNIVERSITET

© Copyright Stefan Marusic

Lunds universitet, Lunds tekniska högskola
Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Byggproduktion

Telefon: +46 46 2227421

Hemsida: www.bekon.lth.se

ISRN LUTVDG/TVBP—19/5587-SE

Abstract

Title: Application of Monte Carlo simulation for cost estimation of construction projects

Author: Stefan Marusic

Supervisor: Stefan Olander, Associate Professor, Construction Science, Division of Construction Management, Lunds University.

Ola Karlsson, Project manager, Byggadminstration Harald Olsson AB.

Examiner: Radhlinah Aulin, Senior lecturer, Construction Science, Division of Construction Management, Lunds University.

Problem: Which indata for minimum, maximum and the most likely cost is suitable to use when applicating a Monte Carlo simulation for cost estimation of construction projects?

Does the extracted indata for the study successfully manage to stay within budgetary limits in a real life situation for a real project?

Purpose: The purpose of the study is to examine if a application of a Monte Carlo simulation could successfully estimate a budget for a construction project.

Method: A quantitative and a qualitative methodology was applied to conduct the study. Talks were held through semi-structured interviews with supervisors from Byggadministration Harald Olsson AB. Computer simulations were conducted in @Risk to extract indata for a theoretical reference frame and to furthermore test the frame in budget simulations.

Conclusion The results for the indata can be shown below.

Added budgetary reserve	Min	Most Likely	Max
5 %	89 %	100 %	112 %
10 %	85 %	100 %	125 %
15 %	87 %	100 %	140 %
20 %	87 %	100 %	155 %
25 %	92 %	100 %	173 %
30 %	91 %	100 %	188 %

A simulation with an added budgetary reserve between 10-15 %. The interval is suitable in order to keep the absolute mean error small and to avoid cost overestimations.

Sammanfattning

Titel: Tillämpning av Monte Carlo simulering för kostnadsbedömning av byggprojekt

Författare: Stefan Marusic

Handledare: Stefan Olander, Docent, Institutionen för Byggproduktion, Lunds Tekniska Högskola.

Ola Karlsson, Projektledare, Byggadministration Harald Olsson AB.

Examinator: Radhlinah Aulin, Universitetslektor, Institutionen för Byggproduktion, Lunds Tekniska Högskola.

Problemställning: Vilka inmatningsvärden för minimum, maximum och mest troliga kostnad är lämpliga att använda vid ett tillämpande av Monte Carlo-simuleringar för kostnadsbedömning av byggprojekt?

Klarar framtagna inmatningsvärden för studien hålla budget i ett verkligt scenario för ett riktigt projekt?

Syfte Syftet med examensarbetet är att undersöka ifall en tillämpning av Monte Carlo simulering framgångsrikt kan uppskatta en budget för ett byggprojekt.

Metod:

Kvalitativ och kvantitativ metodik tillämpades. Löpande samtal i halvstrukturerad intervjusform hölls med handledare från Byggadministration Harald Olsson AB (HOAB). Datorsimuleringar genomfördes i @Risk för att få fram indata för en teoretisk referensram, sedermera testades ramen genom budgetsimuleringar för verkliga projekt.

Slutsats

Resultat för inmatningsvärden kan ses nedan.

Pålagd budgetreserv	Min	Troligt	Max
5 %	89 %	100 %	112 %
10 %	85 %	100 %	125 %
15 %	87 %	100 %	140 %
20 %	87 %	100 %	155 %
25 %	92 %	100 %	173 %
30 %	91 %	100 %	188 %

Att simulera med en pålagd budgetreserv mellan 10-15 % ser till att simulerad budget hålls i flesta fall med ett litet medelfel utan större kostnadsöverskattningar.

Förord

Detta examensarbete är författarens sista del av Civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad vid Lunds Tekniska Högskola (LTH).

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare från Byggadministration Harald Olsson AB (HOAB), Ola Karlsson. Tack för att ha bidragit med värdefullt stöd och feedback under arbetets gång. Jag vill även rikta ett tack till min handledare från LTH Stefan Olander som bidragit med hans synvinklar och hjälp.

Sist men inte mins vill jag passa på att rikta ett särskilt tack till HOAB, som försörjt mig med resurser och data som behövts för att genomföra examensarbetet.

Lund den 28:e maj 2018

Stefan Marusic

Innehållsförteckning

1.	Inledning	9
1.1.	Bakgrund	9
1.2.	Problembeskrivning	10
1.3.	Syfte & målsättning	11
1.4.	Avgränsning	11
1.5.	Målgrupp	11
1.6.	Disposition	11
2.	Teori	13
2.1.	Litteraturstudie	13
2.1.1.	<i>Projektstyrning</i>	13
2.1.2.	<i>Byggprocessen</i>	15
2.1.3.	<i>Kostnadsstyrning</i>	16
2.1.4.	<i>Risk- och osäkerhetshantering</i>	21
2.1.5.	<i>Successivprincipen</i>	23
2.2.	Matematisk teori för Monte Carlo-simulering	26
2.2.1.	<i>Stokastiska variabler</i>	26
2.2.2.	<i>Standardavvikelse och varians</i>	27
2.2.3.	<i>De stora talens lag</i>	27
2.2.4.	<i>Centrala gränsvärdessatsen</i>	28
2.2.5.	<i>Monte Carlo-modellen</i>	28
2.2.6.	<i>Skattningsmetodiker</i>	29
3.	Metodik	35
3.1.	Studiens upplägg	35
3.2.	Kvalitativ metod	37
3.2.1.	<i>Intervju</i>	37
3.3.	Kvantitativ metod	37
3.3.1.	<i>@Risk</i>	37
3.4.	Metod för simulering	39
3.4.1.	<i>Referensobjekt och dataanalys</i>	39
3.4.2.	<i>Antaganden</i>	40
3.4.3.	<i>Process för simulering</i>	40
3.5.	Validitet & Reliabilitet	44

4.	Resultat	45
4.1.	Intervju	45
4.2.	Framtagen indata baserad på budgetreserv	46
4.3.	Framtagen indata baserad på verkligt utfall i projekt	49
4.4.	Simulerade budgetscenarion med framtagen indata	51
4.4.1.	<i>Indata baserad på budgetreserv</i>	51
4.4.2.	<i>Indata baserad på medelvärden</i>	55
5.	Diskussion	56
5.1.	Diskussion kring användandet av @Risk	56
5.2.	Validitet och reliabilitet	57
6.	Slutsatser	58
6.1.	Slutsats	58
6.2.	Rekommendationer	59
6.3.	Förslag på framtida studier	60
7.	Referenser	61
8.	Bilagor	64

1. Inledning

I inledningen presenteras bakgrunden och grundproblematiken för examensarbetet. Vidare presenteras problemställningar för arbetet, syfte och mål. Avslutningsvis presenteras även arbetets målgrupp, avgränsning och disposition.

1.1. Bakgrund

Byggbranschen står idag för cirka 5 % av Sveriges totala BNP (SCB, 2015). Finansdepartementet befarar att byggbranschen väntas ha en högre historisk tillväxt då behovet av bostäder och ny transportinfrastruktur förväntas vara högt (SOU, 2015). Att jobba med kostnadsstyrning och undvika kostnadsöverskridningar för framtida projekt kommer därmed bli viktigt för både offentliga och privata aktörer.

Trots stora framsteg med att hantera och förutse kostnader inom byggbranschen, så är kostnads- och budgetöverskridningar fortfarande förekommande för byggprojekt av olika storleksgrader. Flyvbjerg, Holm & Buhl (2002) undersökte en rad internationella projekt av större skala och konstaterade att 90 % av projekten som innefattades av studien drabbades av kostnadsöverskridningar. Merrow (2011) konkluderade att 65-75% av megaprojekt inom den privata sektorn misslyckades nå affärsmålen, där merparten av de misslyckade projekten som studerats resulterade i olönsamhet. Fenomenet begränsas inte bara till större projekt, Odeck (2004) studerade 620 norska offentliga projekt mellan åren 1992-1995. Denna studie visade att mindre projekt till och med fick erfara större kostnadsöverskridningar än större projekten. Flyvbjerg, Holm & Buhl (2002) konstaterar att risken för kostnadseskalering är hög för alla typer av projekt oavsett storleksgrad.

Medan många industrier och branscher använder sig av statistiska hjälpmedel för kostnadsuppskattning och riskanalys, så är byggbranschen fortfarande underutvecklad inom området (Peleskei, et al., 2015). Steen Lichtenberg (2000) tog fram en metodik som kallas den successiva principen. Metodiken bygger på att definiera risker och osäkerheter i ett tidigt skede i en grupp. Sedermera appliceras minimum, maximum och mest troliga värden för samtliga osäkerheter och slutgiltig kostnad beräknas med hjälp av bayesiansk statistik (Pries-Heje, 2013).

Hertz (1964) tog fram en metod som föreslog applicering av Monte Carlo-simuleringar som hjälpmedel för beslutstagande för risker inom företagande. Hertz metodik har sedan dess använts i flertalet olika områden där risk och osäkerhet betraktas, även inom projektledning av byggprojekt (Chau, 1995). Fördelarna med metoden är att en Monte Carlo simulering kan tydligt kvantifiera riskerna med projektet, och således utvärdera en statistisk indikator på hur väl projektet presterar i avseende på kostnad och tid (Kwak & Ingall, 2007).

Principen kring Monte Carlo simulering består av att bryta ner samtliga kostnader för byggprojekt i mindre delar som är slumpmässiga (Chau, 1995). En sannolikhetsfördelning estimeras sedermera med användandet av antingen subjektiv eller objektiv data, varpå fördelningarna för systemkostnaderna kan uppskattas genom att addera samtliga delkostnader i simuleringsmodellen (Chau, 1995). Beroende på vilken sannolikhetsfördelning som används kan sedermera minimum, maximum och mest troliga utfall appliceras som indata för modellen. Trots att metodiken studerats akademiskt inom projektledningsområdet, så har det praktiska tillämpandet av metoden inte fått fotfäste i "den riktiga världen" inom projektledning (Kwak & Ingall, 2007).

Med bakgrund av detta så skall detta examensarbete undersöka hur tillämpandet av Monte Carlo simulering kan användas för att uppskatta kostnader för byggprojekt.

1.2. Problembeskrivning

Följande underkapitel ämnar till att utvärdera de problem som ligger till grund för arbetet. Utifrån de problembeskrivningar som beskrivits i bakgrundskapitlet kommer följande frågeställningar ställas:

- Vilka inmatningsvärden för minimum, maximum och mest troliga kostnad är lämpliga att använda vid ett tillämpande av Monte Carlo-simuleringar för kostnadsbedömning av byggprojekt?
- Klarar framtagna inmatningsvärden för studien hålla budget i ett verkligt scenario för ett riktigt projekt?

1.3. Syfte & målsättning

Syftet med examensarbetet är att undersöka ifall en tillämpning av Monte Carlo simulering framgångsrikt kan uppskatta en budget för ett byggprojekt.

Målet med examensarbetet är att utröna en teoretisk referensram för indata vid upprättandet av en Monte Carlo simulering för byggprojekt, samt att ta reda på med vilken noggrannhet referensramen estimerar byggkostnader för verkliga byggprojekt.

1.4. Avgränsning

Simuleringar som kommer att genomföras har baserats på data som tillhandahållits av Byggadministration Harald Olsson AB (HOAB). Detta examensarbete kommer enbart fokusera på simuleringar av förskolor och skolprojekt. Vidare avser studien endast analysera precisionen av initiala kostnadsbedömningar, d.v.s. i upphandlingskedet då primära kalkyler på handlingar genomförs. Studien kommer inte analysera successiva kalkyleringsmetoder som sker löpande under projektiden.

1.5. Målgrupp

Målgruppen för examensarbetet riktar sig till personer eller branscher som är verksamma eller arbetar inom projektledning, eller som på annat sätt arbetar med riskhantering och kostnadsstyrning inom projekt. Avslutningsvis riktar sig dessutom arbetet till studenter och personer som arbetar inom institutionen för byggproduktion vid Lunds Tekniska Högskola.

1.6. Disposition

Kapitel 1 Inledning

I inledningen presenteras bakgrunden och grundproblematiken för examensarbetet. Vidare presenteras problemställningar för arbetet, och dess syfte och mål. Avslutningsvis presenteras även arbetets målgrupp, dess avgränsning och disposition.

Kapitel 2 Teori

I denna del av arbetet kommer relevant litteratur relaterat till arbetet att hämtas. Arbetet kommer behandla tidigare projekt där Monte Carlo simulering tillämpats för att göra kostnadsbedömningar.

Vidare kommer arbetet grundligen gå igenom hur en Monte Carlo simulering fungerar, hur den lämpligen upprättas och hur dess indata inmatas.

Kapitel 3

Metod

I kapitlet för metod kommer angreppssättet för att studera och analysera arbetets frågeställningar presenteras. Dessutom avser kapitlet redogöra motiveringar för respektive vald metodik..

Kapitel 4

Resultat

Kapitlet kommer bestå av en experimentell analys, där Monte Carlo simuleringen testas utifrån tillgänglig historisk data. Lämplig indata för en trepunktsestimering kommer tas fram och utvärderas för att se om framtagen indata håller för att klara budget i ett verkligt projekt.

Kapitel 5

Analys & Diskussion

Syftet med kapitlet är att analysera och reflektera över resultatet för simuleringen och jämföra skillnader och likheter med tidigare teori och empiri.

Kapitel 6

Slutsatser

I avsnittet presenteras slutsatserna för arbetet. Syftet med kapitlet är att besvara arbetets frågeställning, kapitlet kommer även innehålla rekommendationer och förslag på framtida studier för arbetet.

Kapitel 7

Referenser

I kapitlet presenteras de källor och litteratur som använts inom ramen för arbetet.

Bilagor

Bilaga 1

Innehåller bilagor med sannolikhetsfördelningar för tillämpad budgetreserv på 25 % och 30 %

Bilaga 2

Innehåller bilagor för sannolikhetsfördelningar på alla referensobjekt

2. Teori

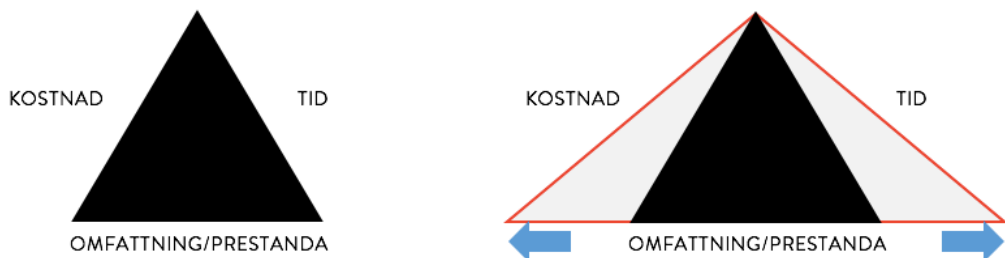
I denna del av arbetet kommer relevant litteratur relaterat till arbetet att hämtas. Kapitlets första del kommer gå igenom hur kostnadsstyrning och riskstyrning fungerar. I kapitlets andra del kommer arbetet grundligen gå igenom hur en Monte Carlo simulering fungerar, hur den lämpligen upprättas och hur dess indata inmatas.

2.1. Litteraturstudie

2.1.1. Projektstyrning

Ett projekt är en tidsbegränsad satsning för att skapa en unik produkt, tjänst eller resultat inom en fastställd kostnadsram (Ottosson, 2015). Ett projekt är alltså unikt, t.ex. att producera en bilmodell är inte ett projekt då det bygger på en repetitiv process som inte kan definieras som unikt. Ett projekts begränsningar kan sammanfattas i en projekttriangel, vars sidor består av omfattning/prestanda, tid och kostnad. Principen för projekttriangeln är att en ändring av någon sida medför påverkan på de övriga sidorna (Ottosson, 2015). I Figur 1 illustreras detta fenomen, där en förändring av omfattningen även resulterar i en ändring av projektets kostnad och tid. Att ställa upp mål (kvalitet, tid och kostnad) och vidare styra dessa faktorer blir därmed vitalt för att säkerställa att projektmålen uppfylls.

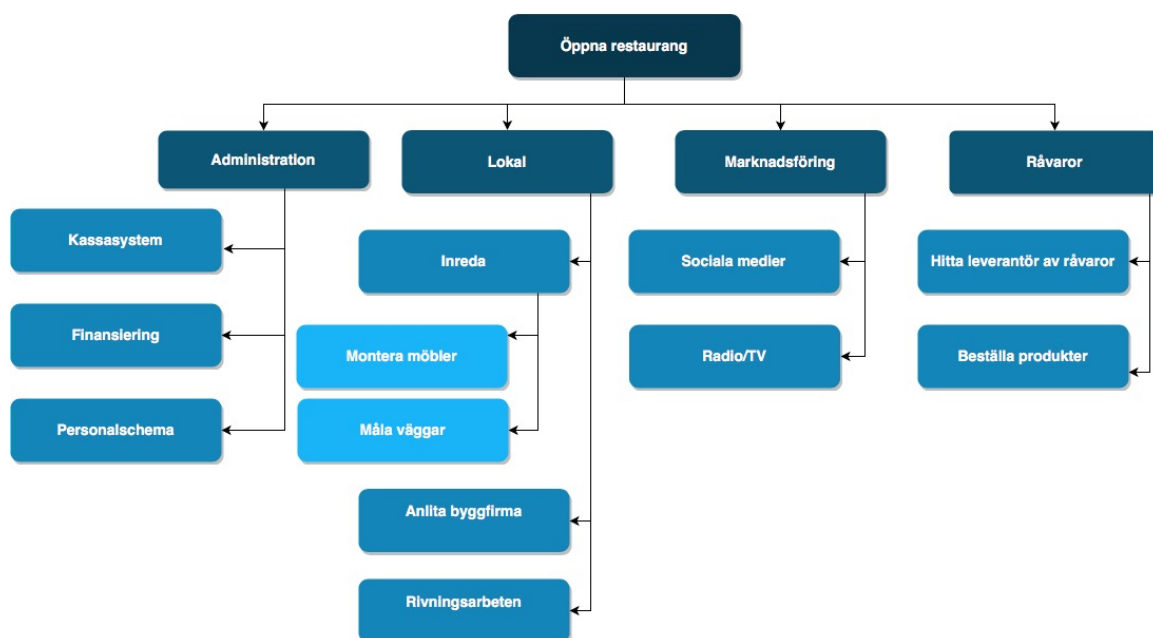
2.1.1.1. Projektstruktur



Figur 1. Projekttriangeln (Ottosson, 2015)

I initierings- och förstudiefasen skapar projektägaren, projektören och entreprenören en struktur och bildar sig en uppfattning om projektuppdraget. För att etablera denna struktur kan de inblandande intressenterna upprätta en s.k. Work Breakdown Structure (WBS). En WBS upprättas för att bilda en uppfattning av vad och hur man ska genomföra projektet (Ottosson, 2015). Den listar alla delmoment i ett projekt hierarkiskt och varje nedåtgående nivå i WBS representerar en ökad nivå av detaljgrad i beskrivningen av projektarbetet (Hillson, 2007). Resultatet blir ett antal arbetspaket. Arbetspaketen utgör sedermera grunden för planeringen, styrning av tid, kostnad, osäkerheter och resurser. Ett exempel på WBS kan ses nedan i Figur 2.

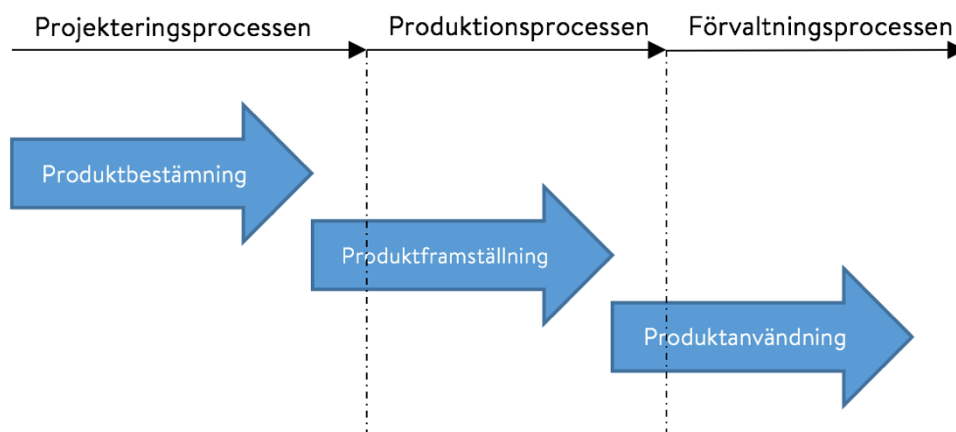
En Cost Breakdown Structure (CBS) är uppbyggd på ett liknande sätt där projektet bryts ner hierarkiskt till kostnadselement. Likt en WBS, så beskrivs den totala kostnaden för projektet med ökad detaljgrad för varje nedåtgående nivå i schemat (Hillson, 2007). Både en WBS och CBS kan sedan antingen anamma en top-down eller bottom-down-metodik beroende på kunskapsnivån i projektet.



Figur 2. Exempel på WBS

2.1.2. Byggprocessen

Byggprocessen är den process som genomförs för att skapa och förvalta byggnader (Hansson, 2015). Huvudaktiviteterna för byggprocessen är projekteringsprocessen, produktionsprocessen och förvaltningsprocessen. Dessa tre huvudaktiviteter innefattar även tre delprocesser nämligen produktbestämning, produktframtagning och produktanvändning, se Figur 3.



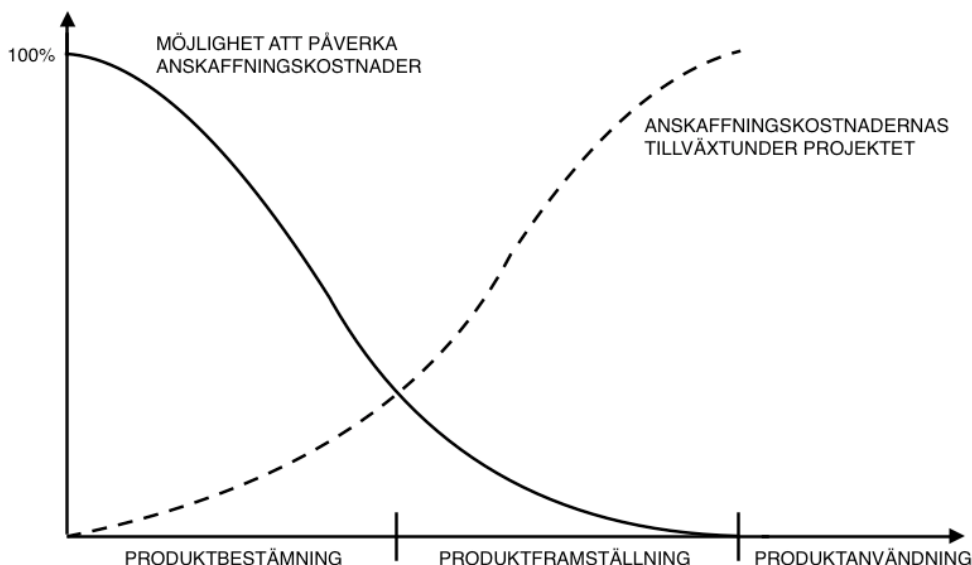
Figur 3. Byggprocessen (Hansson, 2015)

De tre delprocesserna kan beskrivas med hjälp av Tabell 2.1.

Tabell 2.1. Byggprocessens delprocesser (Hansson, 2015)

Produktbestämning	<i>Krav på funktion, utformning och estetiska krav ställs. Övergripande gestaltning av byggnad utformas, budget utformas, bygghandlingar tas fram och upphandling genomförs. Innefattas av idé och programskedet där byggnadsprogram tas fram utefter behovs som definierats i byggprojektet.</i>
Produktframställning	<i>Byggnation av objekt med utgångspunkt av resultatet av produktbestämningen.</i>
Produktanvändning	<i>Nyttjande och förvaltning av byggnaden under dess livstid.</i>

För att kostnadsstyra projektet i rätt riktning är produktbestämningsskedet den viktigaste delprocessen av de tre beskrivna processerna i tabellen. Detta beror på att möjligheterna att påverka är störst i detta skede, och att de ”stora” beslut som fattas i detta skede låser merparten av projektkostnaderna (Fjällström, et al., 1984), se Figur 4.



Figur 4. Möjligheter att påverka byggkostnader (Fjällström, et al., 1984)

2.1.3. Kostnadsstyrning

Kostnadsstyrning används för att kontrollera ett projekts fortlöpande ekonomi genom analyser, lägesbestämningar och prognoser. Enligt Fjällström m.fl. (1984) innebär kostnadsstyrning att avväga mellan byggnadens kostnader och dess värde/nytta. Osäkerheter i projektet medför att risker måste värderas, prissättas och fördelas (Ottosson, 2015).

Enligt Ottosson behandlas främst följande delar inom kostnadssegmentet:

- Kostnadsbedömning
- Budgetering
- Kostnadsstyrning
 - *Lägesanalys*
 - *Prognoser*
 - *Lägesrapportering*
- Agerande

Enligt Ottosson (2015) så görs en *kostnadsbedömning* vid anbudslämning för att bedöma vad det kostar att utföra arbetet för ett byggprojekt. Med en *budget* skapas en referensplan för kostnaderna som vi kan jämföra dagsläget mot. I ett projekt används *lägesanalyser*, *prognoser* eller *lägesrapporteringar* för att veta hur projektet ligger till jämfört med budget.

2.1.3.1. *Kostnadsbedömningar*

När byggherren bedömt en projektkostnad beslutas det huruvida projektet skall initieras eller ej. För att starta projektet görs därmed en kostnadsbedömning som baseras på en kostnadskalkyl för byggprojektet. För att bestämma kostnaderna för ett byggprojekt är kunskapsnivån avgörande för hur kalkyleringsfasen skall genomföras (Ottosson, 2015). I en utförandeentreprenad finns ofta bra underlag i form av ritningar och beskrivningar, medan det vid en förstudie finns mycket mindre detaljerat underlag för att upprätta sin kalkyl (Ottosson, 2015).

Vid begränsad kunskap i ett tidigt skede används en så kallad ”Top-Down-kalkylering”, vilket innefattas av en grov primär bedömning genom att t.ex. jämföra med ett likande äldre projekt. Exempel på en sådan process kan vara successivprincipen som beskrivs i kapitel 2.1.5. Om det finns bra kunskap och ett detaljrikt underlag kan istället en så kallad ”Bottom-up-kalkylering” användas. Vid denna metod begärs anbud in från potentiella leverantörer och underentreprenörer och mängder och arbetstid för olika arbetsmoment beräknas (Ottosson, 2015).

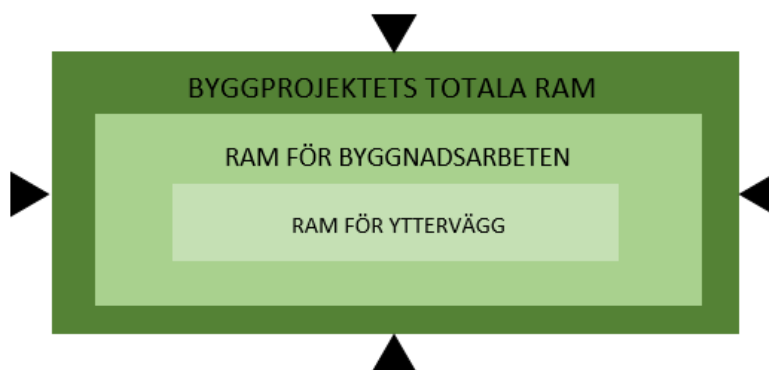
2.1.3.2. *Budgetering*

Budgeten tillsammans med tidplanen skapar den produktionsstyrda budget mot vilken man bedömer hur projektet utvecklas ekonomiskt (Ottosson, 2015). Budgetar nyttjas även som ett instrument för delegering av olika ansvarsområden inom projektet (Fjällström, et al., 1984). Målsättningen med att sätta en budget är att styra de berörda ansvarsområdena inom projektet. Indata för budgetprocessen är projektspecifikationen, data, kontoplaner, checklistor, WBS-beskrivningar, kostnadsbedömningar och risklista.

2.1.3.3. *Koncept för kostnadsstyrning*

Enligt Hansson m.fl. (2017) så ingår tre huvudvariabler i mål och beslutsprocessen. Det handlar om att söka en ram, låsa och hålla den för såväl teknisk utformning som för tid och kostnad. Beslutsprocessen skall alltså präglas av att finna den bästa lösningen (*söka ram*) och vidare låsa denna lösning efter beslut (*låsa ram*). Vidare skall projektledaren leda projektet mot detta mål och beslutet d.v.s. ramen skall hållas under projektets genomförande (*hålla ram*).

Att sätta ramar görs successivt. I ett tidigare skede sätts grövre ramar som efter hand preciseras (Hansson, et al., 2017). Ett exempel kan illustreras i Figur 6. Byggprojektets totala ram sätts för att sedermera successivt sätta mer detaljerade ramar. Ramen för det totala byggprojektet i detta exempel kan vara 36 miljoner kr i ett initialt skede. När projekteringen påbörjats och det finns mer kunskap och bättre underlag kan sedan t.ex. ramen för byggnadsarbeten approximeras till 18 miljoner med givna planlösningar och kvalitetskrav. Under projekteringsprocessen kan sedan några av de tyngre kostnadsposterna analyseras vidare för att enklare styra de kostnader som har stor inverkan på byggnadsarbetena, exempelvis ytterväggar enligt Figur 5.



Figur 5. Det successiva sökandet efter kostnadsramar (Hansson, et al., 2017)

2.1.3.4. Osäkerhetsbedömning i olika skeden

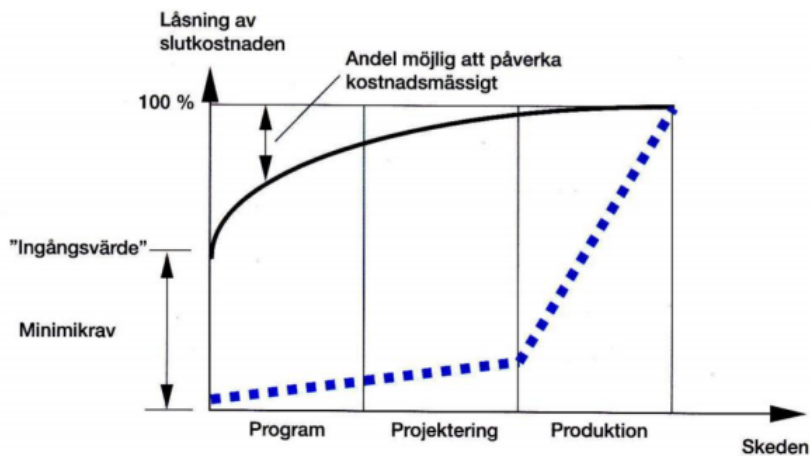
Följande kapitel utgår ifrån rapporten ”Konsultens ansvar för kostnadskalkyler”, utgiven av statens råd för byggnadsforskning (Molin, 1977). Enligt rapporten tillhandahåller kostnadskalkyler av tre steg. Dessa tre steg kan ses i Tabell 2.2 och tillkommer med angiven osäkerhet för varje steg. Tabellen kan ses som ett exempel på hur kostnadsramar för ett byggprojekt kan sättas.

Tabell 2.2. Kalkylnivåer

Kalkylnivå 1	<i>Med bygghandling som grund</i>	8 %
Kalkylnivå 2	<i>Med huvudhandling som grund</i>	10 %
Kalkylnivå 3	<i>Med systemhandling som grund</i>	12 %

2.1.3.5. Kostnadsstyrning under olika skeden i ett byggprojekt

Kostnadsstyrningen pågår successivt under projektet och innefattas av kostnadsbedömningar, ekonomiska prognoser, analys och agerande. Ekonomin påverkas under projektets gång genom ändringshanteringar eller eventuella ändringar av tidsplanen (Ottoosson, 2015). Kostnadsstyrningen pågår alltså under hela projekttiden men påverkar projektet i olika grad under projektets gång. De beslut som tas i ett tidigt skede låser i praktiken en stor del av kostnaderna. På grund av samhällets krav och tidiga funktionskrav för respektive byggnadstyp följer att vissa minimumkrav måste uppfyllas för att åstadkomma aktuell byggnad. Dessa krav medför minimumkostnader som representerar ett så kallat "ingångsvärde". Ingångsvärdet kan ligga mellan 60-70% av slutkostnaden för ett husbyggnadsprojekt, se Figur 6 (Hansson, et al., 2017). Den svarta linjen representerar möjligheten att påverka projektet kostnadsmässigt medan den streckade linjen representerar hur kostnaderna under projektets gång ökar.



Figur 6. Slutkostnadens låsning över olika skeden av byggprocessen (Hansson, et al., 2017)

Under projekteringen

I detta skede kan projektets förlöpande ekonomi påverkas i högst grad av projektledare. I detta skede analyseras investeringskostnad kontra drift- och underhållskostnader. Till exempel kan en låg investering på isolering medföra högre kostnader för driften. Vid val av material och utförande analyseras marknaden för att välja de mest ekonomiskt effektiva materialen. En förfinad kalkyl ingår i detta skede.

Vid upphandling

Här ges det första svaret på huruvida projekteringen hållits inom projektets ekonomiska ramar samt hur framgångsrik kalkylen varit. Anbudshandlingarna bör vara moträknade innan anbudsöppning för att upptäcka eventuella brister i förfrågningsunderlaget.

Under produktionsskedet

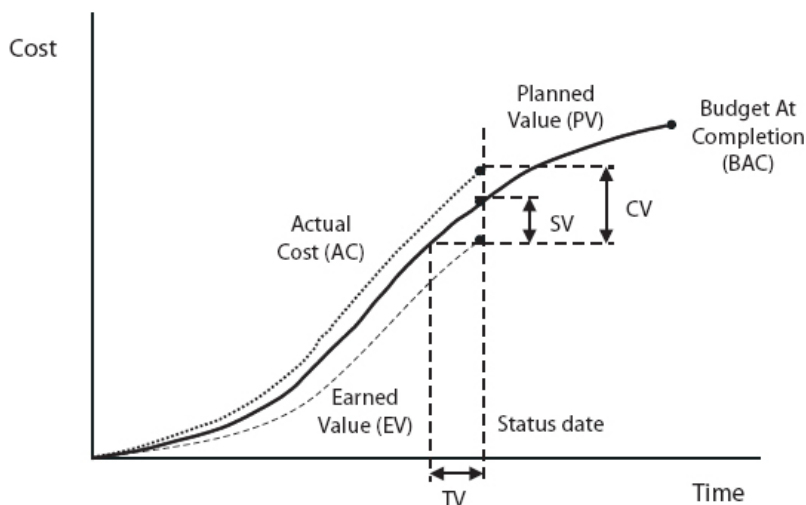
Under detta skede blir ändringar inom projektet dyrare. Om en ändring kostar 1000 kronor att genomföra under systemhandlingsskedet kostar det 100 000 kronor under produktionsskedet (Ottosson, 2015). Kostnaderna för störningar som sker under produktionen är alltså mycket större än de som sker i projekteringen.

Under denna fas klargör projektledaren vem som får ta beslut under produktionsskedet, oftast är det ett ombud som arbetar direkt på arbetsplatsen. Under hela produktionstiden måste den ekonomiska situationen övervakas regelbundet för att se till att projektet hålls inom kostnadsramarna.

Slutkostnadsprognoser & lägesanalyser

För att få en uppfattning kring hur projektets kostnader håller sig gentemot projektets budget genomförs slutkostnadsprognoser. Detta används även för beslutsfattande kring besparingar eller ytterligare investeringar från projektägaren (Ottosson, 2015). Dessa slutkostnadsprognoser görs kontinuerligt under projektet för att skapa tidsutrymme för att agera.

Ett exempel på en sådan prognos är Earned Value-metodiken som på ett åskådligt sätt redovisar hur projektet ligger till kostnads- och tidsmässigt. Enligt Anbari (2001) är nyckelparametrarna för denna metodik det planerade värdet (PV), intjänade värdet (EV), den verkliga kostnaden (AC) och budget vid färdigställning (BAC), se Figur 7. Det intjänade värdet representerar summan budgeterad för att genomföra en aktivitet som är färdigställd vid given tidpunkt.



Figur 7. Earned value management (Anbari, 2001)

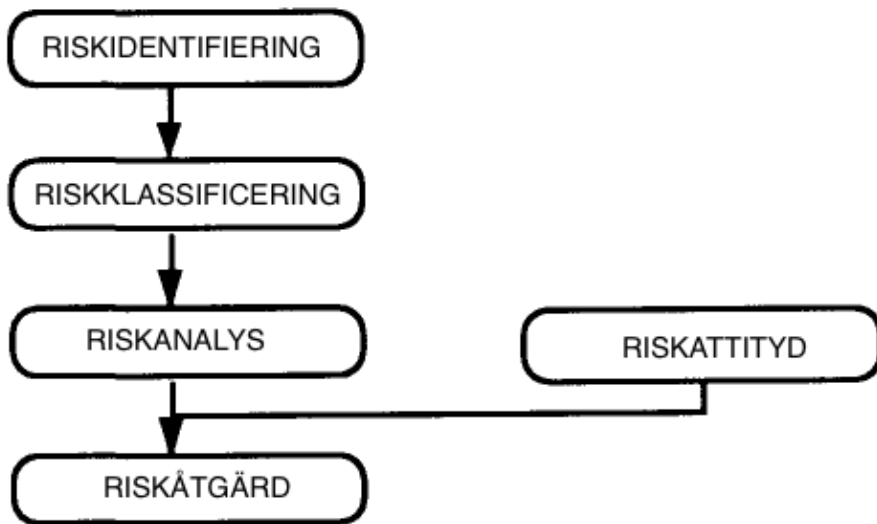
2.1.4. Risk- och osäkerhetshantering

I ett projekt görs ofta antaganden för oklarheter som potentiellt kan uppstå under projektets livslängd. Dessa antaganden kan baseras på tid, kostnader eller resurser och är många gånger osäkra (Ottosson, 2015). Det kan också inträffa oväntade händelser under projektet som påverkar projektet negativt eller positivt. Detta innebär att det finns affärsrisker som medför vinst eller förlust för projektet, eller rena risker som bara ger förlust. Med bakgrund av ovanstående fakta så kan riskhanteringsprocessen användas som verktyg för att hantera osäkerheter och risker i ett projekt (Ottosson, 2015).

Det blir därmed viktigt att jobba med att *identifiera* risker, bedöma dess sannolikhet (S) och konsekvens (K). När sannolikheten och konsekvensen bedömts går det att få fram riskexponeringen $R_x = S * K$ (Ottosson, 2015).

2.1.4.1. Riskhanteringsprocessen

Enligt George & Flanagan (1993) kan riskhanteringsprocessen brytas ner till flödesschemat som visas i Figur 8 nedan.



Figur 8. Riskhanteringsprocessen (Flanagan & Norman, 1993)

De olika skedena sammanfattas i Tabell 2.3.

Tabell 2.3. Riskhanteringsprocessen (Flanagan & Norman, 1993)

Riskidentifiering	<i>Identifiera källa och typ av risk</i>
Riskklassificering	<i>Klassificera risken och dess effekt på personen eller organisationen</i>
Riskanalys	<i>Utvärdera konsekvensen av risken genom att använda olika analytiska verktyg. Värdera riskens påverkan genom användandet av olika riskmättningsverktyg.</i>
Riskattityd	<i>Alla beslut kring risker kommer att påverkas av attityden hos beslutsmakaren.</i>
Riskåtgärd	<i>Överväg hur risken ska hanteras, antingen genom att t.ex. överföra den eller minska sannolikheten för den.</i>

Detta examensarbete kommer rikta in sig på riskanalysfasen och kommer därmed ge djupare beskrivning till den processen nedan.

2.1.4.2. Riskanalys

Analysarbetet kan antingen ske kvantitativt eller kvalitativt. Kvantitativt analysarbete sker med kronor och timmar medan kvalitativt analysarbetet sker med färger, adjektiv eller siffror (RPN). Den kvantitativa modellen genomförs med hjälp av statistik, kalkyler etc. och nyttjas vid anbud, prognoser, tidsbedömningar och ekonomiska bedömningar. Den kvalitativa modellen genomförs med sunt förnuft och gemensam bedömningsgrund och används primärt för riskidentifiering (Ottosson, 2015).

2.1.4.3. Riskhanteringsmetodiker

Inom riskhantering finns det främst två metodiker för att analysera och fatta beslut under risk. Det handlar om deterministiska och stokastiska/probabilistiska tekniker (Flanagan & Norman, 1993). Deterministisk teknik antar att variablerna som påverkar projektet är kända med 100 % säkerhet, medan stokastiska/probabilistiska tekniker antar en viss osäkerhet för faktorer som kan påverka exempelvis ett byggprojekt (Flanagan & Norman, 1993). En känd stokastisk metodik som kommer användas i denna studie är Monte Carlo-metodiken, som beskrivs i kapitel 2.2.4.

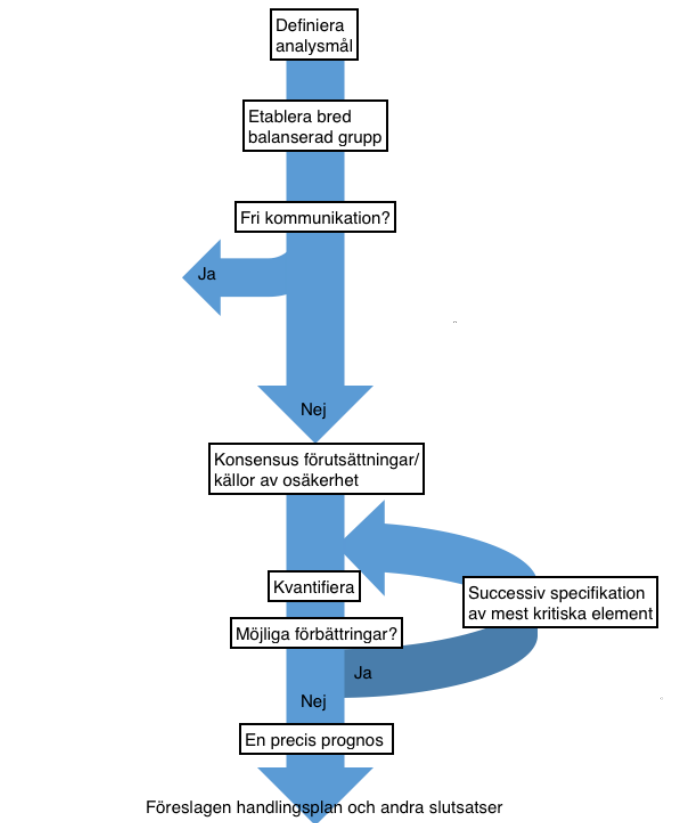
2.1.5. Successivprincipen

Successivprincipen är ett verktyg för chefer, projektledare och beslutsfattare för att bl.a. hantera osäkerheter och risker i ett projekt. Metodiken utvecklades under 1970-talet då Lichtenberg ansåg att de metoder som fanns inte räckte till för att beskriva osäkerheters komplexitet. Metoden bygger på att trepunktestimera kostnadsposter (minsta, största och troligaste) och de kostnaderna med störst varians bryts sedan ner i mindre delar. De minde delarna med störst varians fortsätts brytas ner succesivt i mindre delar så långt det går (Ottosson, 2015). Under slutet av 1990-talet fick successivprincipen sitt genomslag och enligt Lichtenberg (2002) kan metodikens filosofi sammanfattas enligt stegen nedan.

- Upprättandet av en analysgrupp av nyckelintressenter med bred expertis som kan hantera komplexiteten och osäkerheten kring berörda problemställningar.
- Analysgruppen kommunicerar och identifierar alla element och otydligheter som kan beröra projektet.
- Alla identifierade element utvärderas neutralt och korrekt.
- Framtida hantering av osäkerhet baseras i riktlinje med senaste forskning.
- En ”top-down-procedur” anammats för att systematiskt hantera osäkerheter

Enligt Lichtenberg (2002) består successivprincipen av en kvalitativ fas och en kvantitativ fas. I den kvalitativa fasen etableras en analysgrupp som bedömer och identifierar olika källor av osäkerheter i projektet.

I den kvantitativa fasen etableras *den grundläggande strukturen*. En uppsättning av huvudobjekt- eller aktiviteter väljs och beskrivs. Dess numeriska värden uppskattas genom en s.k. ”trippelestimering” (minimum, maximum och troligaste kostnaden). Sedermera genomförs *numeriska kalkyler* baserat på statistiska principer som resulterar i ett medelvärde och variabilitet, en ”prioritetsfigur” upprättas för varje diskret element och indikerar dess totala påverkan och betydelse på den totala kostnaden. De mest betydande elementen hanteras sedermera enligt en *successiv* metodik där prioritetsfiguren är ett viktigt hjälpmedel för att effektivt hantera de viktigaste elementen. De viktigaste elementen med mest betydelse fortsätts att successivt preciseras, det successiva precisandet och utvärderandet genomförs tills gruppen nått en oundviklig minimumnivå av osäkerhet. Det totala resultatet jobbas fram samtidigt som denna process genomförs. Till sist etableras en *handlingsplan* där gruppen identifierar och rangordnar en uppsättning av handlingsplaner som optimerar osäkerheterna (Lichtenberg, 2000). Proceduren kan illustreras i Figur 9.

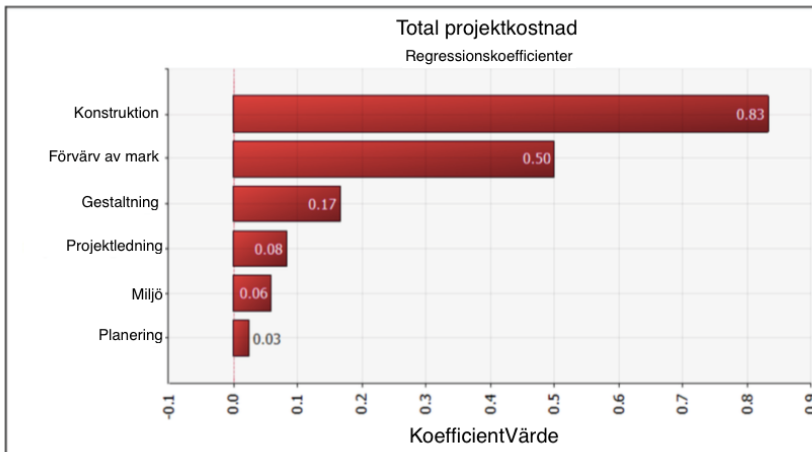


Figur 9. Schematisk figur av successivprincipen

2.1.5.1. Användandet av en prioritetsfigur (känslighetsanalys)

Enligt stokastisk teori så kan tripplestimeringen av ett objekt anses vara en stokastisk variabel som kan hanteras i linje med väldokumenterade statistiska regler. Variabiliteten eller osäkerheten beskrivs ofta som standardavvikelsen (Lichtenberg, 2000). För varje lokal osäkerhet så beräknas dess totala effekt på det totala resultatet. Detta värde i kvadrat kallas för "prioritetsfiguren" då denna figur illustrerar den relativa påverkan av objektet på det totala resultatet, se exemplet i Figur 10

Genom prioritetsfiguren kan en känslighetsanalys genomföras och kostnaderna för de mest betydande elementen kan successivt detaljeras och brytas ner till mer detaljerade prioritetsfigurer tills en oundviklig minimumnivå av osäkerhet nåtts (Lichtenberg, 2000).



Figur 10. Exempel på prioritetsfigur (Bouayed, 2016)

2.2. Matematisk teori för Monte Carlo-simulering

Följande kapitel ämnar till att matematiskt förklara hur en Monte Carlo-simulering är uppbyggd. Kapitel 2.2.1 - 2.2.4 förklarar hård teori bakom lagar, satser och grundbegrepp som inryms inom teorin. Kapitel 2.2.5 förklarar processen för simuleringen och ämnar till att ge bättre förståelse för metodikens uppbyggnad.

2.2.1. Stokastiska variabler

En stokastisk variabel beskriver hur slumpen påverkar ett objekt. En stokastisk variabel $X : \Omega \rightarrow E$, är en funktion från alla möjliga avbildningar av Ω till någon mängd E (Koski, 2017). Ett klassiskt exempel på där föregående formel kan förklaras är när man exempelvis singlar slant. Ett sådant fall skulle kunna beskrivas enligt följande:

$$X: \{krona, klave\} \rightarrow \{0,1\}$$

Den stokastiska variabeln X kan enbart anta två värden, krona eller klave. Dessa har tillgivits siffrorna 0 och 1 för att numeriskt beskriva dem. Krona och klave benämns som utfallsrummet (Ω), alltså alla möjliga utfall. Medan 0 och 1 beskriver värdemängden (E), vilket beskriver mängden av alla värden funktionen kan anta.

Ponera att vi har en kortlek med 5 kort där korten är märkta med 3, 4 eller 5. Vi har två kort i kortleken med värdet 3, vi har två kort med värdet 4 och till sist ett kort som är märkt till 5. Funktionen beskrivs då alltså med utfallsrummet och värdemängden enligt funktionen nedan.

$$X: \{3, 4, 5\} \rightarrow \{3, 3, 4, 4, 5\}$$

De två exempel som visats ovan är exempel på diskreta stokastiska variabler. Det finns också kontinuerliga stokastiska variabler som tillämpas för mätbara funktioner, exempelvis temperatur.

2.2.1.1. Sannolikhet

Förutom att beskriva möjliga utfall för en uppsättning av siffror, så är en stokastisk variabel starkt anknuten till sannolikhet. I exemplet med singlar slant så erhåller utfallen 0 och 1 vardera en sannolikhet på 50 %. Ifall en slantsingling skulle exempelvis ske y antal gånger så kan det förväntade värdet (väntevärdet) $E(X)$ ur värdemängden av alla försök beskrivas enligt formeln nedan.

$$E(X) = \mu = \sum_{x_i \in E} x_i * P(x_i) \quad (2.1)$$

I formeln beskriver x_i det slumpmässiga utfallet av den stokastiska variabeln vid tillfället i , medan $P(x_i)$ beskriver sannolikheten för att utfallet skall äga rum.

2.2.2. Standardavvikelse och varians

Ifall väntevärdet beskriver det förväntade utfallet (medelvärde) av en slumpmässig händelse så beskriver dess varians den räckvidd av utfall som ett slumpmässigt objekt kan anta. Ifall ett X antal tomater skall sköras så kan ett medelvärde på tomaternas vikt utvinnas ur populationen av alla stickprov som görs. Det intervall som tomatens vikt varierar inom är dess varians. Variansen beskrivs som skillnaden i kvadrat mellan medelvärdet och det slumpmässiga utfallet vid tillfället i . Variabeln "n" är antal gånger ett slumpmässigt stickprov genomförs av en population. Variansen kan beräknas enligt nedan:

$$\text{Var}(X) = \sigma^2 = \sum \frac{(x_i - \bar{X}_n)^2}{n} \quad (2.2)$$

Standardavvikelsen mäter likadant avvikelsen från medelvärdet och hör ihop med variansen, den beskrivs som kvadratroten ur variansen.

$$\text{Standardavvikelse} = \sqrt{\sigma^2} = \sigma \quad (2.3)$$

2.2.3. De stora talens lag

Antag att vi utgår från föregående kapitel. Låt X vara en slumpmässig stokastisk variabel där väntevärdet $\mu = E(X)$ existerar. Vidare antag att vi genomför slantsinglingen y antal gånger som nämnt i föregående kapitel. Enligt de stora talens lag så kommer medelvärdet av utfallen $X_1, X_2 \dots X_n$ närma sig värdet av väntevärdet $\mu = E(X)$.

$$\text{Om } X_n = X_1 + \dots + X_n \text{ så kommer.. } \frac{X_n}{n} = \bar{X}_n \rightarrow E(X) = \mu. \quad (2.4)$$

Skulle slantsinglingen ske oändligt konstaterar de stora talens lag i stark form att sannolikheten för att detta skall ske är 1, alltså 100 %. Detta beskrivs matematiskt enligt formeln nedan.

$$\mathbb{P}\left(\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{X}_n = \mu\right) = 1 \quad (2.5)$$

De stora talens lag i svag form är vagare i sin benämning och antyder bara att sannolikheten för att \bar{X}_n ska konvergera mot μ går mot 1. Notera alltså i att stark form är sannolikheten 1, medan sannolikheten i svag form går mot 1.

Anta att vi har ett värde $\epsilon > 0$ som beskriver en felmarginal mellan $\overline{X}_n - \mu$. Detta värde kan vara vad som helst. Som ett exempel kan vi ange detta tal till 0,01. Singlar vi slant i all oändlighet så antyder den svaga lagen att chansen för att felestimeringen mellan $\overline{X}_n - \mu$ är mindre än 0,01 går mot 1. Se formeln nedan.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathbb{P}(|\overline{X}_n - \mu| \leq \epsilon) = 1 \quad (2.6)$$

2.2.4. Centrala gränsvärdessatsen

Den centrala gränsvärdessatsen hävdar att summan av oberoende stokastiska variabler med väntevärdet μ och standardavvikelsen σ , och med likadan statistisk fördelning kommer att anamma en normal sannolikhetsfördelning (Koski, 2017). Från de stora talens lag vet vi att \overline{X}_n kommer att konvergera mot μ ifall:

$$\overline{X}_n = \frac{X_n}{n} \quad (2.7)$$

Detta gäller då $n \rightarrow \infty$ och $X_n = X_1 + \dots + X_n$. Enligt den centrala gränsvärdessatsen kommer den normaliserade summan X_n gå mot en standard normalfördelning då $n \rightarrow \infty$ med medelvärdet 0 och variansen 1. Detta beskrivs med formeln nedan.

$$\frac{\sum_{i=1}^n (X_n - \mu)}{\sqrt{n}\mu} \xrightarrow{d} N(0, 1) \quad (2.8)$$

Skulle exempelvis myntet singlar nästintill oändligt antal gånger, så kommer fördelningen av alla dessa utfall vara normalfördelad.

2.2.5. Monte Carlo-modellen

En Monte Carlo-simulering bygger på slumpstal som genereras via en bestämd statistisk fördelning. Simuleringen återupprepas flertal gånger genom att använda olika uppsättningar av oberoende stokastiska variabler från en statistisk fördelning (Owen, 2018). Om X är en slumpmässig stokastisk variabel av det värde som eftersöks så beskrivs väntevärdet som $\mu = E(X)$. Därefter genereras oberoende slumpstal $X_1, X_2 \dots X_n$ från fördelningen av X och medeltalet av de genererade talen beräknas enligt:

$$\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.9)$$

Stickprovet följer en t-fördelning och noggrannheten kan beräknas enligt formeln nedan:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{\mu}_n)^2 \quad (2.10)$$

Enligt lagen för de stora talens lag i stark form kommer \bar{X}_n konvergera mot μ med ett ökande antal stickprov. Vidare är det känt att $\bar{X}_n - \mu$ approximativt har en normal distribution med medelvärdet noll och variansen $\sigma^2/2$ (Owen, 2018). Med centrala gränsvärdessatsen går det att konstruera intervallen $[\bar{X}_n - \epsilon, \bar{X}_n + \epsilon]$ så att sannolikheten för att μ befinner sig inom intervallet är $1 - \alpha$, konfidensgraden $1 - \alpha$ är ett nummer nära 1, t.ex. 95 % (Kennedy, 2016). Konfidensintervallet kan beräknas enligt följande formel:

$$\mu = \bar{X}_n \pm t * \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right) \quad (2.11)$$

Där t är $1 - \alpha/2$ kvantilen av t-fördelningen med $n - 1$ frihetsgrader.

2.2.6. Skattningsmetodiker

För att hantera risker i byggprojekt används ofta en deterministisk punktskattningsmetod där en budgetreserv appliceras för att hantera oförutsedda kostnader i projekt. Fördelen med metodiken är att det inte krävs hög statistisk kunskap, men variationen av olika utfall för projektet fångas inte in i samma utsträckning. Elkjaer (2000) rekommenderar snarare användningen av intervallskattning för att få en bättre helhetsbild kring de risker som kan uppkomma i ett projekt. En risk med punktskattning är att man inte får en klar helhetsbild över vilka moment som faktiskt erhåller störst risk, och vilka delmoment som det bör läggas extra fokus på. Vidare kan en intervallskattning möjliggöra användandet av känslighetsanalyser för att illustrera de faktorer som har störst inverkan på projekten genom rangordning av riskerna (Hillson, 2009).

En intervallskattning och dess variabler kan uppskattas på två sätt, antingen genom en subjektiv bedömning av experter eller genom användandet av historisk data (Yang, 2005). Ofta finns det inom byggbranschen brist på historisk data vilket leder till att subjektiva bedömningar används mer frekvent (Peleškei, et al., 2015).

Monte Carlo-metoden där en så kallad trepunktsestimering görs, med hjälp av det minimala, mest troliga och maximala kostnadsutfallet, används för att kvantifiera risker och kostnader har rekommenderats tidigare av bland annat Girmscheid och Busch (2007). Elkjaer (2000) föreslår samma metodik. Den stora fördelen med metodiken är att metodiken kan ge projektledaren svar på frågor som till exempel ”Vad är den 90-procentiga konfidensgraden för projektets kostnad?” (Kwak & Ingall, 2007).

De olika skattningarna av de minimala, mest troliga och maximala bör uppskattas av subjektivt av experter (Peleskei, et al., 2015; Lichtenberg, 2000). Loizou och French (2012) har kritiserat användandet av subjektiva bedömningar då de kan vara bristfälliga och missuppfattas. Enligt Flyvbjerg (2002) är en av de största anledningarna till kostnadsöverskridningar i industriella megaprojekt underskattning av kostnader i projekten. Vidare konkluderar Flyvbjerg (2002) att i 9 av 10 megaprojekt underskattas kostnader. Flyvbjerg (2008) konstaterar att underskattning av kostnader är betydligt vanligare än överskattning av kostnaderna, och att felmarginalerna vid underskattning är större än i de fall som kostnader överskattas. Detta stöds vidare av Peleskei et al. (2015), som vidare konkluderar att kostnadsfördelningar för byggprojekt erhåller en positiv skevhet. Detta går i linje med tidigare forskning som Wall (1997) presenterat. Vidare har Monte Carlo-metoden kritiserats för att vara svår att greppa på grund av dess statistiska natur. Användandet av metodiken kan kräva utbildningsprogram som lär projektledaren att nyttja verktyget.

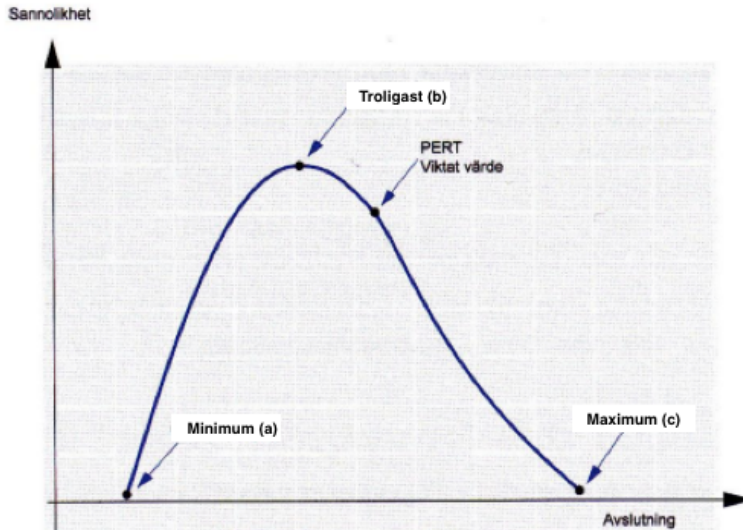
Förutom att skatta det minimala, mest troliga och maximala värdet väl så är även valet av fördelning viktigt vid själva simuleringen av riskerna. I följande kapitel kommer två av de vanliga fördelningarna för trepunktsestimering inom projektledning att studeras och jämföras, nämligen PERT-fördelningen och triangelfördelningen.

2.2.6.1. *PERT-fördelning*

PERT-metoden liknar mångt och mycket den succesiva principen som bygger på att olika intressenter i ett projekt skattar förväntade kostnader för olika delmoment i ett projekt. De olika skattningarna sammanställs i en så kallad PERT-fördelning. PERT-fördelningen är en fördelning baserad på kontinuerlig sannolikhetsfördelning och utgår ifrån det minimala (a), mest troliga (b) och maximala (c) antagna värde en variabel kan erhålla. PERT-fördelningen ställs upp enligt nedan (Vose Software, 2017):

$$\mu = \frac{a + 4b + c}{6} \quad (2.12)$$

Medelvärde av fördelningen är det viktade medelvärde av det minimala, mest troliga och maximala värdet som variabeln kan erhålla.. Se Figur 11 för illustration av en PERT-fördelning.



Figur 11. PERT-fördelning (Ottosson, 2009)

Variansen för en PERT-fördelning kan beräknas enligt formeln nedan.

$$Var(X) = \sigma^2 = \frac{(\mu - \min)(\max - \mu)}{7} \quad (2.13)$$

I fall ett X-antal aktiviteter finns i ett projekt så uppgör den totala variansen för projektet summan av alla enskild aktiviteters varianser som listats, se Tabell 2.4.

Tabell 2.4. Exempel PERT-fördelning

Aktivitet	Max	Troligt	Minimum	Väntevärde	Varians	Standardavvikelse
A	9 500 kr	8 000 kr	7 000 kr	8 083 kr	214 286 kr	463 kr
B	4 000 kr	3 250 kr	2 500 kr	3 250 kr	80 357 kr	483 kr
C	800 kr	500 kr	400 kr	533 kr	4 286 kr	65 kr
Σ				11 867 kr	289 929 kr	

Standardavvikelsen för slutkostnaden blir kvadratroten ur variansen, alltså enligt formeln nedan.

$$\sigma = \sqrt{289\,929} = 547 \text{ kr} \quad (2.14)$$

2.2.6.2. Triangelfördelning

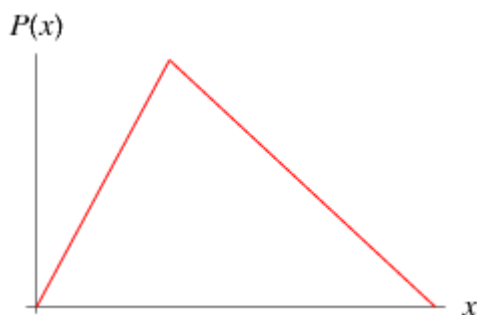
En triangelfördelning är en kontinuerlig sannolikhetsfördelning med en undre gräns (a), en övre gräns och fall (c) där $a < b$ och $a \leq c \leq b$. Aktiviteterna som behandlas kan beskrivas med täthetsfunktionen (PDF) eller fördelningsfunktionen (CDF). För täthetsfunktionen PDF gäller följande formel (Weisstein, 2019):

$$\begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{för } a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{för } c < x \leq b \end{cases} \quad (2.15)$$

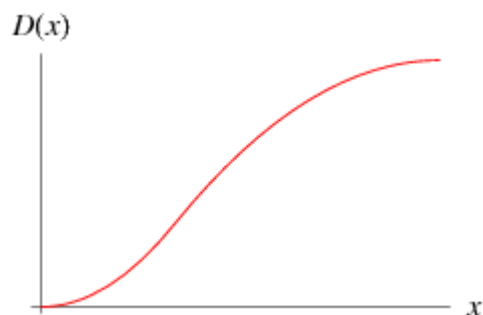
Vidare kan fördelningsfunktionen beskrivas matematiskt enligt nedan:

$$\begin{cases} \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)} & \text{för } a \leq x \leq c \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)} & \text{för } c < x \leq b \end{cases} \quad (2.16)$$

De båda figurerna kan illustreras enligt figuren nedan, se Figur 12a och Figur 12b.



Figur 13a. Täthetsfunktionen (PDF) (Weisstein, 2019)



Figur 12b. Fördelningsfunktionen (CDF) (Weisstein, 2019)

Medelvärdet för en triangelfördelning kan beskrivas enligt formeln nedan.

$$\mu = \frac{a + b + c}{3} \quad (2.17)$$

Variansen beskrivs enligt nedan.

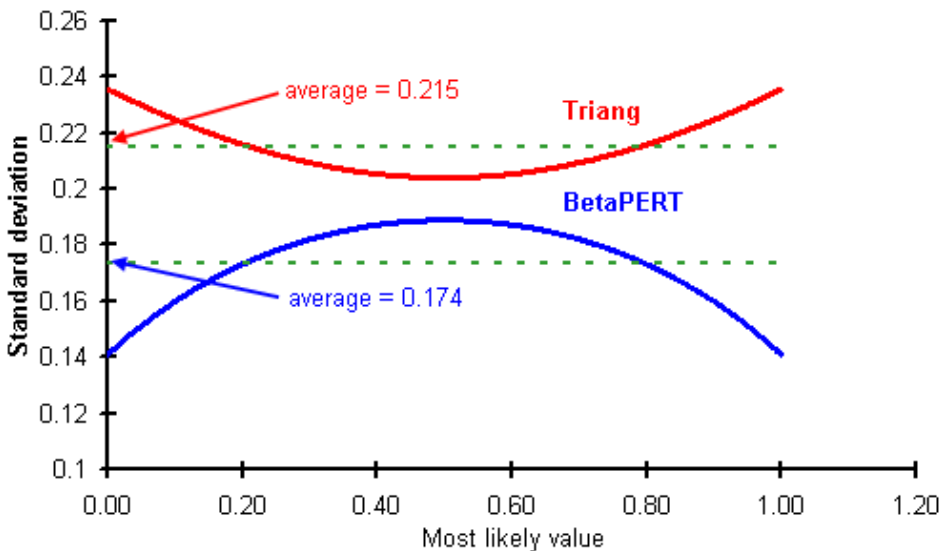
$$\sigma^2 = \frac{a^2 + b^2 + c^2 - (a * b) - (a * c) - (b * x)}{18} \quad (2.18)$$

Likadant som i tidigare fall så beskrivs standardavvikelsen som kvadratroten ur variansen.

2.2.6.3. Skillnader mellan fördelningar

I ekvation 2.11 går det att utläsa att den mest troliga variabeln i PERT-fördelningen är fyra gånger så känsligt jämfört med den maximala och minimala variabeln. Detta är en viktig skillnad jämfört med triangelfördelningen där medelvärdet är lika känsligt för varje parameter (Vose Software, 2017). Av denna anledning så lider inte PERT-fördelningen av att skapa för stora medelvärden vid inmatning av väldigt stora minimala och maximala värden.

PERT-fördelningens standardavvikelse är också mycket mindre känslig för extremvärden, se Figur 13. Figuren jämför standardavvikelsen mellan de båda fördelningarna där minimum $a=0$ och maximum $c=1$. Det mest troliga värdet är det enda värde som varierats och i figuren kan det åskådas hur standardavvikelsen för PERT ligger mellan 0.14-0.18 medan triangelfördelningen erhåller en standardavvikelse mellan 0.20-0.24.



Figur 13. Skillnaden mellan standardavvikelse i PERT och Triangelfördelning

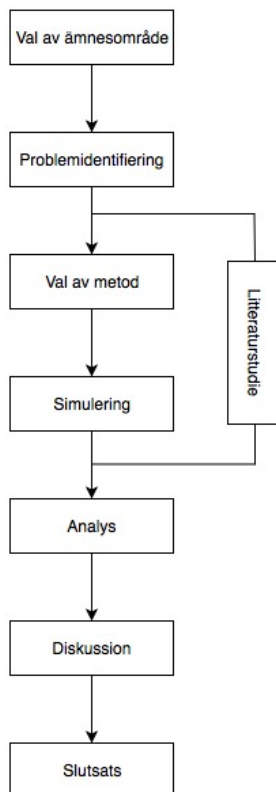
I detta arbete kommer därmed användandet av PERT-tillämpas för att genomföra de simuleringar som krävs för att sammanställa examensarbetet.

3. Metodik

I kapitlet för metod kommer angreppssättet för att studera och analysera arbetets frågeställningar presenteras. Dessutom avser kapitlet redogöra motiveringar för respektive vald metodik.

3.1. Studiens upplägg

I Figur 14 illustreras ett flödesschema för arbetsprocessen. Den illustrerar arbetsgången för arbetet.



Figur 14. Flödesschema för arbetsprocess

Val av ämnesområde

Innan själva examensarbetet initierades så valdes först ett ämnesområde ut. Detta gjordes utifrån skribentens intresse i samarbete med handledare från HOAB.

Problemidentifiering

Efter att ämnesområdet valts ut så efterföljdes detta av att identifiera problem och frågeställningar för arbetet.

Val av metod

Metodik för examensarbetet formulerades och valdes för att försöka besvara de frågeställningar som skribenten ställt.

Simulering

Datorgjorda simuleringar i @Risk genomfördes testa de frågeställningar som ställts genom de resultat som utvanns ur simuleringarna.

Analys

När alla simuleringar färdigställda och resultaten för examensarbetet uttrönts så analyserades resultaten. Dels utifrån teori och dels utifrån de frågeställningar som ställts i examenarbetes initiala skede.

Diskussioner

Analysen diskuterades med utgångspunkt utifrån den teori som tagits fram i tidigare skede av examensarbetet, detta gjordes för att se om tidigare forskning stämmer överens med framtagna resultat för arbetet.

Slutsatser

I denna del av studien besvarades avslutningsvis de frågeställningar som ställts utifrån de analyser och diskussioner som gjorts.

3.2. Kvalitativ metod

En kvalitativ forskningsmetodik åsyftar till att fånga in människors upplevelser, kunskap, åsikter, tolkningar och erfarenheter (Mason, 2002). Mason (2002) beskriver att detta kan ske genom t.ex. möten där en uppfattning bildas av den sociala verkligheten inom det område som skall studeras. Enligt Filstead används en kvalitativ metod för att tolka ”den verkliga världen” för objektet i fråga som skall studeras. Den kvalitativa metoden redovisas enligt Larsen (2007) oftast i löpande textformat. En kvalitativ forskningsmetodik kommer att nyttjas i detta examensarbete för att få en uppfattning kring de problem som Byggadministration Harald Olsson AB (HOAB) stöter på i deras simuleringsarbete med riskverktyget @Risk.

3.2.1. Intervju

För detta examensarbete kommer dialoger hållas genom en halvstrukturerad intervjusform för att få insikt kring de frågeställningar som HOAB upplever med riskanalysarbetet i @Risk. Enligt Larsen (2002) används en halvstrukturerad intervjusform till att försöka utröna ämnets problemställningar. Genom de regelbundna möten som kommer hållas med handledaren från HOAB kommer anteckningar skrivas ned för att sammanfatta de problem som redan finns och som uppkommer under examensarbetets gång.

3.3. Kvantitativ metod

Enligt Eliasson (2006) så omfattas en kvantitativ metodikstudie av en analys av exempelvis siffror eller användandet av avancerade matematiska metoder för att analysera numerisk data. Larsen (2002) beskriver att den kvantitativa metodiken karakteriseras av bred hårddata som presenteras via antingen tabeller eller figurer. Med hjälp av den data som presenteras skall studiens problemställning analyseras och besvaras. Den kvantitativa metodiken förespråkar ett systematiskt och strukturerat arbetssätt för att angripa studiens problemställningar. I detta examensarbete kommer simulerad data från @Risk analyseras att ligga till grund för arbetets svar på frågeställningarna. I nästkommande avsnitt och kapitel kommer en noggrannare redogörelse av @Risk och arbetets simuleringsprocesses beskrivas.

3.3.1. @Risk

@Risk är ett kvantitativt datorstött riskhanteringsverktyg som används för att genomföra riskanalyser och underlag vid beslutsfattande. Samtliga simulationer som genomförts i detta arbete har genomförts med @Risk. Riskanalys med @Risk baseras på en kvantitativ metod som söker utfallet av ett beslut med hjälp av en sannolikhetsfördelning. Riskanalys

med @Risk kan sammanfattas i fyra steg. Detta kapitel utgår från den bok som upphovsmakaren Palisade (1996) givit ut och den information som går att hitta på deras hemsida.

- Utveckla en modell – *definiera problemet i Excel*
- Identifiera osäkerheter – *genom variabler i Excel och genom att specificera deras möjliga värden med en sannolikhetsfördelning, och identifiera det osäkra kalkylblad som skall analyseras*
- Analysera modellen med simuleringar – *at bestämma räckvidden och sannolikheterna av alla möjliga utfall för resultatet av kalkylbladet*
- Ta ett beslut – *baserat på resultatet som tillhandahållits och personliga preferenser*

@RISK hjälper till med de första tre stegen genom att tillhandahålla ett verktyg som är kompatibelt med Microsoft Excel för att förenkla modeluppbyggandet. Resultatet används sedermera av beslutsmakaren som underlag för att genomföra rätt beslut.

3.3.1.1. *Indata*

Indata är grunden för att upprätta ett arbetsblad med @Risk. Variablerna för indata kan antingen vara av deterministisk natur eller stokastisk natur. Deterministiska variabler är säkra variabler som är kända, medan stokastiska variabler är osäkra. Stokastiska variabler beskrivs genom funktioner av dess osäkerhet. Detta görs genom sannolikhetsfördelningar som både kan beskriva variabelns räckvidd (minimum till maximum), och dess frekventa förekomst inom räckvidden.

3.3.1.2. *Utdata*

@Risk genererar resultat som består av sannolikhetsfördelningar av alla de möjliga värden som kan förekomma baserat på inmatad indata. Ur dessa sannolikhetsfördelningar kan sedermera sannolikheter och känslighetsanalyser extraheras. Med de sannolikhetsfördelningar som så går det utläsa vilka utfall som är mer sannolika än andra, och vilka utfall som bör beaktas i högre grad.

3.3.1.3. *Simulering*

För att genomföra en riskanalys så itererar @Risk simulationer med den så kallade "Monte Carlo-metodiken". Simulering anknyter i detta fall till en metod där sannolikhetsfördelningen av möjliga utfall genereras. Detta sker genom att datorn repetitivt kalkylerar det arbetsblad som upprättats, genom att använda olika utvalda slumpantal för de sannolikhetsfördelningar som. I praktiken använder @Risk två distinkta operationer.

- Välja uppsättningar av värden för sannolikhetsfördelningarna förekomna i celler och formler i arbetsblad
- Repetitiv iteration i Excel genom att använda de nya värdena som genererats av de slumpmässiga utfallen

3.3.1.4. RiskOptimizer

RiskOptimizer är ett verktyg för problemlösning inom @Risk. RiskOptimizer kombinerar Monte Carlo-metoden med problemlösartekniker för att optimera arbetsböcker med osäkra parametrar. Osäkra parametrar ersätts med en sannolikhetsfördelning som representerar olika möjliga utfall. För varje lösning som tas fram av @Risk körs en Monte Carlo-simulering som finner kombinationen av de justerbara celler som förser de bästa simuleringsresultaten för de parametrar som eftersöks.

3.4. Metod för simulering

3.4.1. Referensobjekt och dataanalys

För att genomföra studien valdes nio stycken referensobjekt ut för att testa vilka inmatningsvärden som lämpar sig för den trepunktsestimering som krävs för att genomföra en PERT-analys och efterföljande Monte Carlo-simulering.

HOAB tillhandahåller historisk data för en rad projekt genom deras internprogram ByggStat, denna data inkluderar utfall för budgetkostnad, upphandlad kostnad och verklig kostnad. I ByggStat finns det särskilt mycket referensdata för skol- och förskoleprojekt som tidigare projektlets av HOAB. Av denna anledning valde författaren till detta examensarbete att avgränsa studien till skol- och förskoleprojekt som genomförts av HOAB. De flesta projekten som studerades i studien var lågstadieskolor som inrymmer årskullarna F-3 och F-6. Samtliga projekt som studerades är redan avslutade. Projekten som inkluderats i arbetet kan åskådas i Tabell 3.1 nedan.

Tabell 3.1 Referensobjekt för studien

Skola	Projekttyp	Budgeterat utfall (kr)	Upphandlat utfall (kr)	Verkligt utfall (kr)
Projekt A	Lågstadieskola (F-6)	267 610 000	187 225 000	196 838 914
Projekt B	Lågstadieskola (F-6)	190 000 000	146 500 000	154 500 000
Projekt C	Lågstadieskola (F-3)	140 000 000	127 500 000	142 000 000
Projekt D	Högstadieskola (6-9)	71 200 000	56 400 000	60 400 000
Projekt E	Lågstadie- och högstadieskola (F-9)	92 500 000	79 000 000	83 000 000
Projekt F	Förskola	30 000 000	27 000 000	30 700 000
Projekt G	Lågstadieskola (F-3)	91 000 000	70 000 000	77 200 000
Projekt H	Lågstadieskola (F-3)	70 000 000	69 000 000	82 000 000
Projekt I	Lågstadieskola (F-6)	77 000 000	66 000 000	75 000 000

3.4.2. Antaganden

Nedan listas antaganden och klargörande fakta för de simuleringar som genomfördes:

- Samtliga simuleringar genomförs med @Risk
- Monte Carlo-simuleringar i @Risk genomförs med 5000 iterationer
- Simuleringarna utgår ifrån att resultaten redovisas för den 85:e percentilen (P85)
- För att effektivisera problemlösningen med RiskOptimizer införs begränsningar där det minimala värdet inte kan understiga 80 % och det maximala värdet inte överstiga 200 %
- 3000 försök gjordes med RiskOptimizer för att lösa ut minimum och maximum värden för trepunktsestimering

3.4.3. Process för simulering

3.4.3.1. Uppskattning av trepunktsestimering med budgetreserv som referens

Primärt genomfördes simuleringar i @Risk där den totala budgetkostnaden för ett projekt uppskattades genom att lägga till en budgetreserv på det upphandlade troliga värdet. Det upphandlade utfallet representerar i denna studie den kalkyl som tas fram i upphandlingsskedet. En budgetreserv adderas för att ta hänsyn till oväntade händelser eller risker. Budgetreserverna som adderades till det upphandlade utfallet varierade i denna studie mellan 5-30 %, se Tabell 3.2.

Genom trepunktsestimeringar utformades fördelningsfunktioner så att de budgetreserver som adderades till det upphandlade värdet hamnade i den 85:e percentilen (P85). Percentilen är ett mätvärde som anger att en viss procent av utfallen ligger under percentilen i fråga. I detta exempel innebär den 85:e percentilen (P85) att 85 % av utfallen hamnar under P85, medan 15 % av de simulerade utfallen kommer hamna över P85. Norska stortinget godkänner exempelvis kostnadsramar för stora projekt som uppskattas med 85 % konfidensgrad (NTNU, 2019). Av denna anledning kommer just P85 användas som konfidensgrad för framtagandet av indata och till simulation av budgetkostnader.

Den upphandlade kostnaden adderat med budgetreserven benämns som ”budgetkostnad” i detta kapitel.

Tabell 3.2. Adderad budget reserv till upphandlat utfall

Adderad budgetreserv till upphandlat utfall
5 %
10 %
15 %
20 %
25 %
30 %

Den upphandlade kostnaden användes som det ”troliga antagandet” för trepunktsestimeringen. Verktöget RiskOptimizer användes sedan för att optimera minimum- och maximum i PERT-fördelningen så att en generell fördelning utformades där en pålagd budgetreserv uppskattades med 85 % konfidensgrad (P85). Alltså så justeras minimum och maximumvärden genom RiskOptimizer tills testat påslag når P85, se Tabell 3.3. Detta ger svaret på frågan ”Vilken indata krävs för att simulera en pålagd budgetreserv med 85 % sannolikhet?”

Tabell 3.3. Exempel justering av indata med hjälp av RiskOptimizer

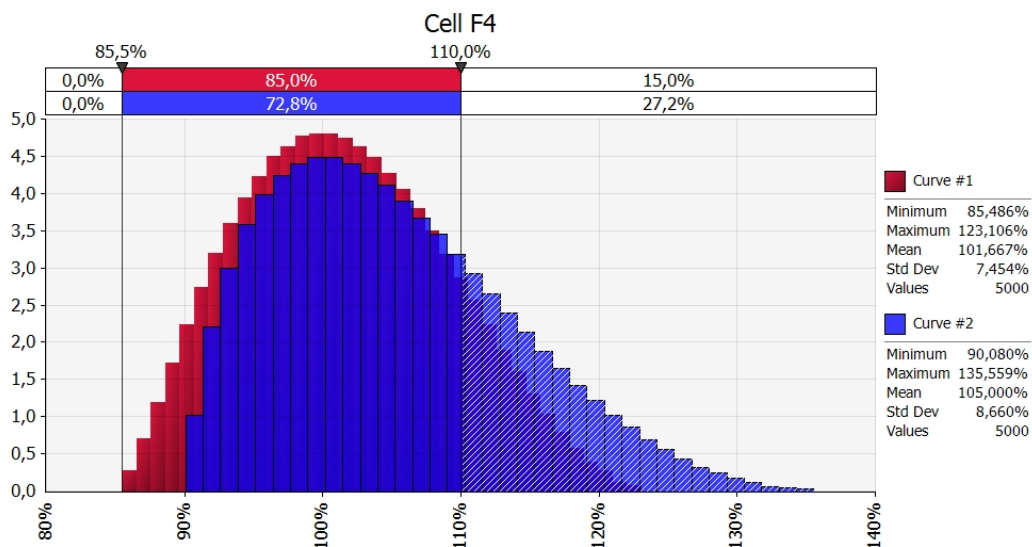
Pålagd budgetreserv	Simulerat utfall för P85	Fel i %	Justerad indata i RiskOptimizer för P85		
			Min	Troligt	Max
10 % (110 %)	109,99260 %	0,00705 %	85 %	100 %	125 %

I detta arbete anges minimum och maximum som procentuella andelar av det upphandlade värdet. Anledningen till detta är att målet är att utforma en generell fördelning för olika påslag av budgetreserver som är tillämpbar för samtliga projekt oavsett kostnad på det upphandlade värdet. Det troliga värdet (upphandlade värdet) anges alltid som 100 % i denna studie, detta innebär att samma procentuella värden oavsett projekt kan antas för minimum eller maximum för att uppnå en budgetkostnad med ett påslag på t.ex. 5 % eller 10 % i P85. Det viktiga i detta fall är alltså att justera minimum och maximum tills att en sannolikhetsfördelning utformas där ett påslag på t.ex. 5 % hamnar i den 85:e percentilen.

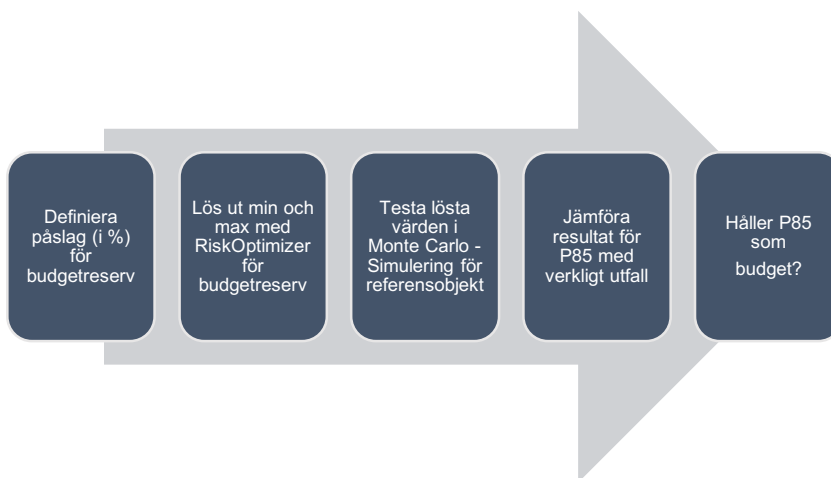
I Figur 15 har två olika uppsättningar av indata testats för att nå samma mål, d.v.s. att nå en budgetreserv på 10 % för P85. I en av fördelningarna (blå) misslyckas man uppnå ett påslag på 10 % för P85, medan man i det andra exemplet (röd) framgångsrikt lyckats hamna i P85. Grafen visar hur RiskOptimizer successivt testar olika uppsättningar av lösningar tills rätt lösning uppnås. RiskOptimizer har lyckats utforma den röda fördelningen så att den uppfyller villkoren. I den lösning som är fel hamnar en budgetreserv på 10 % under 85:e percentilen (72,8 %).

Det finns flertal kombinationer där ett visst procentuellt påslag kan hamna på P85. För att extrahera den mest optimala lösningen i denna studie har RiskOptimizer begränsats med villkoret att uppnå minsta felmarginal mellan den verkliga kostnaden och P85. De minimum och maximumvärden som tagits fram med detta villkor har sedermera använts som referensram för vidare tester i studien.

Figur 15. Korrekt och fel lösning för procentuellt påslag på 10 %



Avslutningsvis kommer de lösta minimum och maximala värdena för påslag på 5 %, 10 %, 15 % och 20 % testas för de referensobjekt som angetts i tabell 3.1. Inga projekt hade kostnadsöverskridningar över 18,8 % därmed testades inte budgetreserver för 25 % och 30 % i denna studie. De lösta minimum och maximum värden som tagits fram av RiskOptimizer kommer sedermera att användas för att se om en budget som utformas med hjälp av värdena skulle hålla genom att jämföra värdet för P85 för varje påslag med det verkliga utfallet, se schematisk figur för processen i Figur 17 och exempel i Tabell 3.4.



Figur 16. Schematisk figur för process

Tabell 3.4. Exempel på process

	Påslag i (%)	Framtagen indata i RiskOptimizer för påslag på 10 % i P85			Verkligt utfall (VU)	Utfall P85 med framtagen indata	Håller budget? P85 > VU?
		Min	Troligt	Max			
Projekt A	10 %	85 %	100 %	125 %	196 838 914 kr	205 934 967 kr	JA

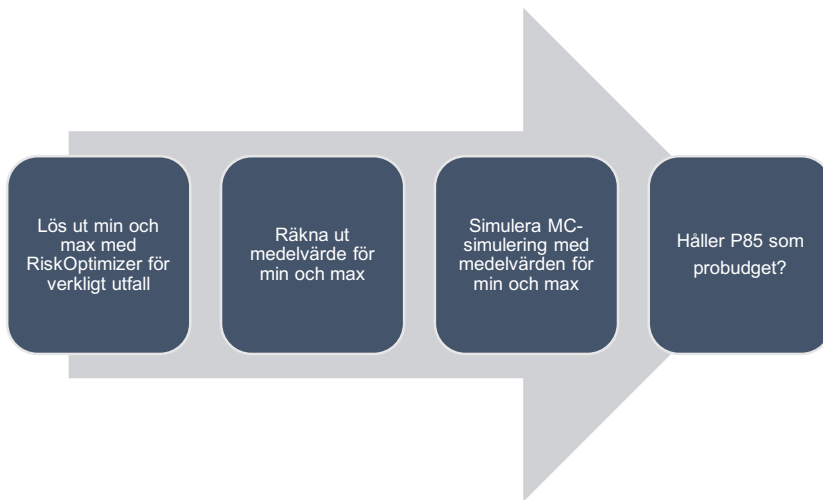
3.4.3.1. Uppskattning av trepunktestimering med verkligt utfall som referens

I detta fall togs en generell fördelning fram baserat på de referensobjekt som angetts i Tabell 3.1. Det upphandlade värdet antogs även i detta fall vara det troliga utfallet (100 %). RiskOptimizer användes på samma sätt som i föregående kapitel för att justera värden för maximum och minimum värdet för samtliga projekt. En väsentlig skillnad i detta fall att indata justerades tills att P85 blev lika med det verkligt utfallet, jämfört med tidigare fall där det upphandlade värdet adderat med en budgetreserv uppfyller villkoret för P85, se Tabell 3.5.

Tabell 3.5. Exempel på process

	Upphandlat utfall	Verkligt utfall (VU)	Framtagen indata i RiskOptimizer för nå VU i P85		
			Min	Troligt	Max
Projekt A	187 225 000	196 838 914 kr	92 %	100 %	113 %

Värden för minimum och maximum togs fram genom RiskOptimizer för samtliga projekt och ett medelvärde räknades ut. Medelvärdena som genererats fram användes sedan för att testa ifall referensobjekten klarat budget med de framtagna värdena. Projekten testades på liknande sätt som i tidigare fall genom att jämföra värdet för P85 för framtagen indata med det verkliga utfallet. Se Figur 17.



Figur 17. Schematisk figur för test av referensobjekt

3.5. Validitet & Reliabilitet

Reliabiliteten åsyftar till att göra studien tillförlitlig och noggrann (Larsen, 2007). Ett forskningsresultats reliabilitet kan exempelvis styrkas genom att olika forskare gör likvärdiga studier och landar i samma resultat. Larsen (2007) betonar vikten av neutralitet vid intervjutillfället för att öka reliabiliteten, detta då intervjuobjektet kan influeras i sina svar av olika yttre faktorer.

Forskningens validitet eftersträvar till att undersöka ifall det som studerats mäter det frågeställningen efterfrågar (Eliasson, 2006). Enligt Larsen (2007) innebär forskningens validitet att det presenterade resultatet innehåller data som stämmer överens med den valda frågeställningen.

I detta examensarbete kommer den data som presenteras jämföras med tidigare forskning för att understryka dess trovärdighet. Under de löpande samtal som hållits med HOAB kommer författaren tydliggöra för intervjuobjektet att inte försöka influera svaret och säkerställa att den intervjuade talar utifrån egna upplevelser. Problemställningen kommer också tas upp löpande i examensarbetet för att läsaren tydligt skall kunna jämföra resultaten med arbetets frågeställning.

4. Resultat

Kapitlet kommer bestå av en experimentell analys, där Monte Carlo simuleringen testas utifrån tillgänglig historisk data. Lämplig indata för en trepunktsestimering kommer tas fram och utvärderas för att se om framtagen indata håller för att klara budget i ett verkligt projekt

4.1. Intervju

Under examensarbetets initiala skede hölls löpande möten där olika problemställningarna med @Risk diskuterades. Intervjuerna som genomfördes gjordes med projektledare på HOAB¹.

En problematik som togs upp av Ola var svårigheterna att fastställa indata för Monte-Carlos simuleringar. Denna indata berör de minimum, maximum och troliga värden som matas in i @Risk för att genomföra Monte-Carlo simuleringar av kostnader. Vid avsaknad av erfarenhet med metodiken kan det vara svårt att bedöma vilka ungefärliga intervall som är lämpliga att tillämpa för nämnd indata. I och med denna problematik diskuterades utformandet av en slags referensram som projektledare kan använda sig av för att enklare kunna sätta sig in och förstå användandet av metodiken.

En annan problematik som togs upp är tillämpandet av successiv principen och uppskattningen av nämnd indata i Workshops med olika intressenter i projektet. HOAB använder sig av en PERT-analys för att successivt bedöma kostnader i projektet. Många gånger saknar intressenter förståelse för hur PERT-analysen är uppbyggd, där det troliga värdet viktas fyra gånger mer än minimum och maximum värdet. Detta leder till att intressenternas uppskattningar av indata för analysen många gånger blir för snäva, vilket kan leda till underskattningar av olika kostnader inom projektet.

Exempelvis kanske en intressent tar höjd för en kostnadsöverskridning på 10 % genom att bestämma värdet för maximum genom endast multiplicera det troliga värdet med 10 %. Som nämnt innan kan detta kan ge en skev bild av verkligheten då PERT-analysen viktas det troliga värdet fyra gånger mer än det maximala värdet. Detta resulterar i att värdet för P85 kan bli underskattat och mindre jämfört med ett fall där en budgetreserv på 10 % adderas på det troliga utfallet.

¹ Karlsson, Ola. Projektledare på HOAB. 2019, löpande intervjuer.

4.2. Framtagen indata baserad på budgetreserv

Initialt togs en teoretisk referensram fram för vilka värden på minimum, troligt och maximum som behövs för att uppnå olika procentuella tillägg på den upphandlade kostnaden med 85 % konfidensgrad (P85). Alltså skall en PERT-fördelning genereras som uppnår det procentuella tillägget för P85 genom att justera indata. Som tidigare nämnt i kapitel 3, så är meningen med dessa tillägg att de ska representera budgetreserver som läggs till på den upphandlade kostnaden.

Om en upphandlad kostnad (troliga scenariot) kalkyleras fram till 100 Mkr genom de underlag och ritningar som finns tillgängliga, så adderas exempelvis en budgetreserv på 10 % som tar hänsyn till oväntade kostnader som kan uppkomma i ett projekt. Med indata som används i Tabell 4.1 för simuleringen så resulterar ett påslag på 10 % i att slutgiltig budget hamnar på 110 Mkr med 85 % konfidensgrad. Budgeten kan givetvis ändras i efterhand då underlaget successivt blir mer tillförlitligt eller om stora ändringar sker i projektet som ändrar kostnadsförutsättningarna. Tabellen ämnar sig för en preliminär uppskattning av budgetkostnaden, och ämnar sig till att vara ett referensverktyg för projektledaren som denne kan nyttja om det råder osäkerhet kring vilken indata som behövs för att simulera olika budgetscenarion.

Tabell 4.1. Indata för olika procentuella tillägg av budgetreserver

Pålagd budgetreserv	Min	Troligt	Max
5 %	89 %	100 %	112 %
10 %	85 %	100 %	125 %
15 %	87 %	100 %	140 %
20 %	87 %	100 %	155 %
25 %	92 %	100 %	173 %
30 %	91 %	100 %	188 %

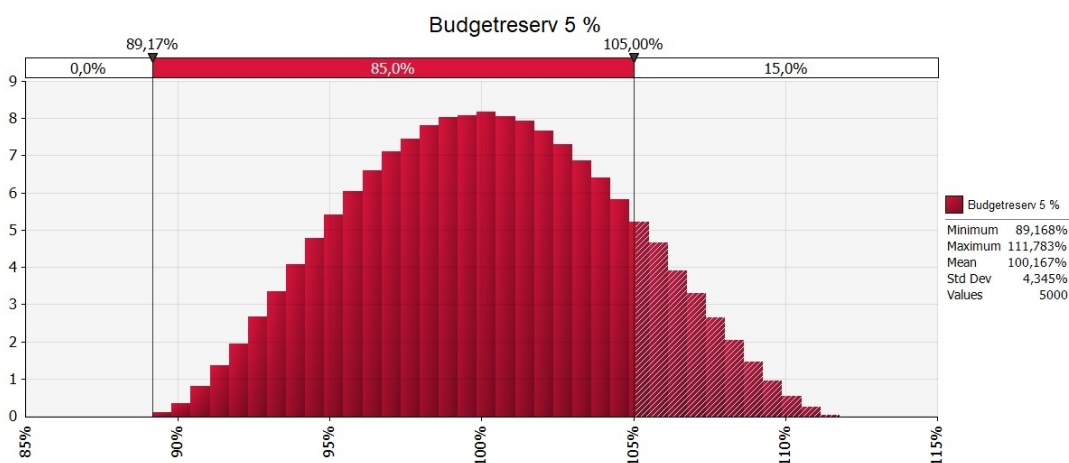
I Tabell 4.2 kan felmarginalen mellan den pålagda budgetreserven och resultat som hamnade på P85 under simuleringarna åskådas. Detta gäller alltså för resultatet som visades i föregående tabell. Felprocenten i de flesta fall är under 0,01 %, med undantag för budgetreserven på 25 % som hamnar lite över.

Tabell 4.2. Felmarginal mellan budgetreserv och P85

Pålagd budget reserv	P85	Fel i % (Skillnad/pålagd budgetreserv & P85)
5 % (105 %)	105,00266 %	0,00253 %
10 % (110 %)	109,99260 %	0,00705 %
15 % (115 %)	114,99875 %	0,00119 %
20 % (120 %)	119,99972 %	0,00027 %
25 % (125 %)	124,98688 %	0,01249 %
30 % (130 %)	129,99481 %	0,00494 %

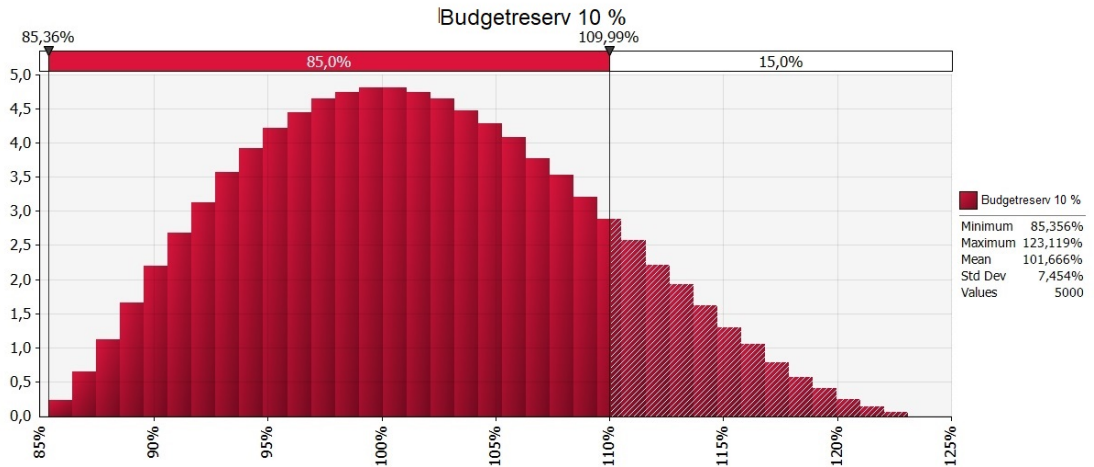
Figur 18 visar resultatet från Tabell 4.1 där en pålagd budgetreserv på 5 % simulerats med 85 % konfidensgrad. Till höger visas även medelvärdet som viktats genom PERT och standardavvikelsen. ”Values” representerar antalet iterationer.

För en budgetreserv på 5 % är fördelningen i princip identiskt uppbyggd som en normalfördelning. Som tidigare nämnt i teorin så sker kostnadsöverskridningar betydligt oftare än kostnadsunderskridningar. Peleskei m.m. (2015) konstaterade även att kostnadsfördelningar som tagits fram är positivt snedfördelade. Wall (1997) har också tidigare konkluderat detta. Resultaten för detta examensarbete stödjer detta. Budgetpåslag för 5 % liknar mer en normalfördelning, men de övriga fördelningar som presenterats i arbetet erhåller en positiv skevhet.



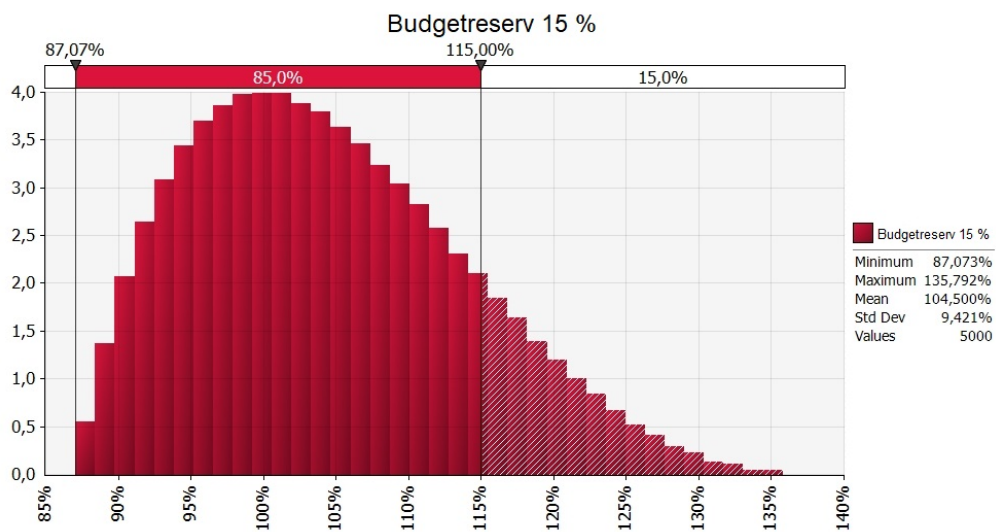
Figur 18. Simulerad fördelning för 5 % budgetreserv

Liknande resultat erhålls för en budgetreserv på 10 %, men en tydlig trend kan ses där fördelningen successivt anammar en positiv skevhet, se Figur 19.



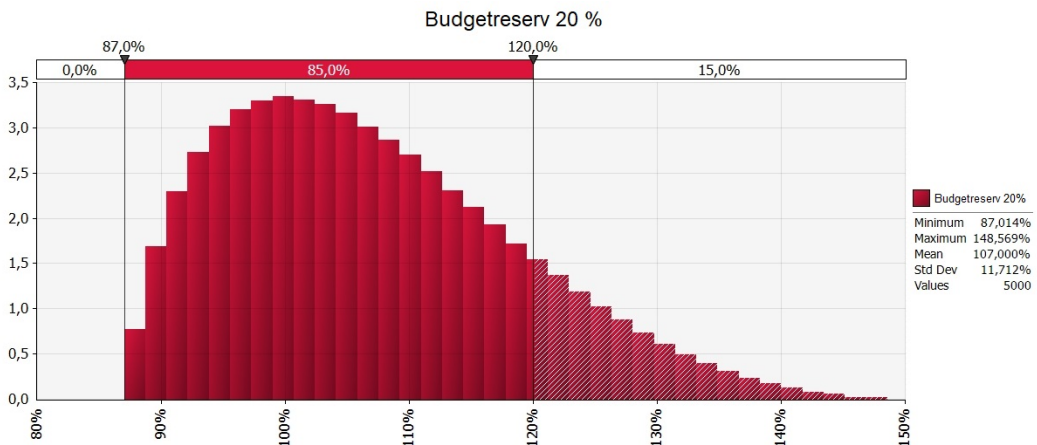
Figur 19. Simulerad fördelning för 10 % Budgetreserv

Fördelningarna anammar en ännu mer tydligare positiv skevhet när budgetpåslagen hamnar över 10 %. Figur 20 visar situationen då en fördelning för en budgetreserv på 15 % simuleras. I takt med att intervallet mellan minimum och maximum blir större ökar även standardavvikelsen.



Figur 20. Simulerad fördelning för 15 % budgetreserv

Figur 21 representerar en adderad budgetreserv på 20 %. I takt med att intervallen för fördelningarna blir större hamnar medelvärdet längre ifrån det troliga utfallet (I detta fall 7 % enheter) och standardavvikelse blir större. Precisionen blir mindre och större intervall kan tänkas användas i ett väldigt preliminärt skede då förutsättningarna är väldigt osäkra. Fördelningen anammar en ännu tydligare positivt skevhet. Detta ger alltså stöd för den teori som presenterats som konkluderar att kostnadsfördelningar i byggprojekt är positivt snedfördelade (Wall, 1997; Peleskei, et al., 2015)



Figur 21. Simulerad fördelning för 20 % budgetreserv

Budgetpåslag på 25 % och 30 % följer samma trend och är också positivt snedfördelade, se Bilaga 1. I ett tidigt skede kan en fördelning med bredare och högre budgetreservpåslag anammas då osäkerheten är hög. I ett senare skede kanske istället en fördelning med snävare intervall med mindre påslag på den upphandlade kostnaden är mer lämpligt då osäkerheten successivt blir mindre.

4.3. Framtagen indata baserad på verkligt utfall i projekt

I följande kapitel justerades minimum och maximum för samtliga referensobjekt i studien till den 85:e percentilen för fördelningen tangerade med det verkliga utfallet för projektet, se Tabell 4.3. I tabellen illustreras även den procentuella kostnadsöverskridningen mellan upphandlat utfall och verkligt utfall. Resultatet kan jämföras med Tabell 4.1. som redovisar snarlika intervall för olika procentuella kostnadsöverskridningar för den 85:e percentilen. Den procentuella kostnadsöverskridningen för dessa projekt hamnar på runt 9 %. Tabellen redovisar även ett medelvärde för samtliga projekt som kommer användas för att simulera referensobjekt med nämnda medelvärden. Detta görs för att se om en budget för den 85:e percentilen hade klarat hålla kostnaderna för projektet genom att inte överstiga det verkliga utfallet.

Tabell 4.3. Indata för verkligt utfall

Skolor	Upphandlat utfall (kr)	Verkligt utfall (kr)	Skillnad upphandlat & verkligt utfall (%)	Min	Troligt	Max
Projekt A	187 225 000	196 838 914	5,1 %	92 %	100 %	113 %
Projekt B	146 500 000	154 500 000	5,5 %	87 %	100 %	113 %
Projekt C	127 500 000	142 000 000	11,4 %	85 %	100 %	129 %
Projekt D	56 400 000	60 400 000	7,1 %	84 %	100 %	117 %
Projekt E	79 000 000	83 000 000	5,1 %	87 %	100 %	112 %
Projekt F	27 000 000	30 700 000	13,7 %	83 %	100 %	135 %
Projekt G	70 000 000	77 200 000	10,3 %	86 %	100 %	126 %
Projekt H	69 000 000	82 000 000	18,8 %	87 %	100 %	151 %
Projekt I	66 000 000	75 000 000	13,6 %	84 %	100 %	135 %
		Medel	10,1%	86 %	100 %	126 %

I Tabell 4.3 kan den indata som togs fram med RiskOptimizer illustreras. Procentenheterna för maximum är större än för minimum i de flesta fall. Ju större kostnadsöverskridning som påvisas ju större influens har överskridningen på maximumvärdet. Detta är inte överraskande då alla projekt simuleras utifrån det upphandlade värdet. I detta skede har inte budgetreserver lagts till för att ta hänsyn till eventuella risker och osäkerheter, detta gör att maximumvärdet viktas högre än minimumvärdet.

Det är mycket möjligt att de matematiska begränsningar och krav som fastställdes i RiskOptimizer kunde utformats annorlunda och att resultaten på framtagen indata för respektive fall kunde sett annorlunda ut. För att säkerställa att RiskOptimizers värden var rimliga testades olika kombinationer av indata även manuellt.

Som tidigare nämnt är medelvärdet av de verkliga utfallen nästan identisk med framtagen indata för en budgetreserv på 10 %. HOAB adderar ofta i sina kostnadsbedömningar budgetreserver på 8-12 %, de resultat som kan ses i tabellen ger stöd för det. Dock är det viktigt att påpeka att varje projekt är unikt och likaså riskerna. Hade endast en budgetreserv på 10 % implementerats i projekten nedan hade 5 av 9 projekt drabbats av kostnadsöverskridningar. Olika projekt har olika förutsättningar och även om en budgetreserv på 10 % kan vara ett rimligt ingångsvärde, så är det viktigt att vara medveten om att kostnadsöverskridningar kan bli betydligt större än denna siffra. I Bilaga 2 illustreras sannolikhetsfördelningarna för samtliga projekt.

4.4. Simulerade budgetscenarion med framtagen indata

4.4.1. Indata baserad på budgetreserv

Budgetscenarion testades genom framtagen indata från föregående kapitel. Dessa värden testades i en simulering för att se om värdet för den 85:e percentilen i PERT-fördelningen hamnade över det verkliga utfallet för referensobjekten. I detta kapitel simuleras den indata som tagits fram baserat på de olika procentsatserna på budgetreserverna från kapitel 4.1. Referensobjektens upphandlade värde används som troligt värde (100 %) i alla fall som presenteras i detta kapitel. I Tabell 4.4 visas den framtagna datan från RiskOptimizer för en adderad budgetreserv på 5 %.

Tabell 4.4. Indata för budgetreserv på 5 %

Indata	Procent
Min	89 %
Troligt	100 %
Max	112 %

En budgetreserv på 5 % klarar inte hålla budget för P85 i något av fallet. Detta är trovärdigt då alla projekt överskred den upphandlade kostnaden med minst 5 %, se Tabell 4.5. Det absoluta medelfelet är dock relativt litet då fem av nio projekt hamnar under en felmarginal på 5 %.

Tabell 4.5. Simulerad budget för budgetreserv på 5 %

Projekt	Upphandlat Utfall (kr)	Verkligt utfall (kr)	Kostnads-överskridning upphandlat	P85 (kr) (budgeterat värde)	Skillnad P85 & verkligt utfall (kr)	Skillnad P85 & verkligt utfall (%)	Klarar verkligt utfall
Projekt A	187 225 000	196 838 914	5,1 %	196 590 549	-248 365	-0,1 %	NEJ
Projekt B	146 500 000	154 500 000	5,5 %	153 826 795	-673 205	-0,4 %	NEJ
Projekt C	127 500 000	142 000 000	11,4 %	133 876 688	-8 123 312	-5,7 %	NEJ
Projekt D	56 400 000	60 400 000	7,1 %	59 221 167	-1 178 833	-2,0 %	NEJ
Projekt E	79 000 000	83 000 000	5,1 %	82 952 515	-47 485	-0,1 %	NEJ
Projekt F	27 000 000	30 700 000	13,7 %	28 350 850	-2 349 150	-7,7 %	NEJ
Projekt G	70 000 000	77 200 000	10,3 %	73 500 595	-3 699 405	-4,8 %	NEJ
Projekt H	69 000 000	82 000 000	18,8 %	72 450 069	-9 549 931	-11,6 %	NEJ
Projekt I	66 000 000	75 000 000	13,6 %	69 302 031	-5 697 969	-7,6 %	NEJ
		Medel	10,1 %		Absolut medelfel	4,44%	0 %

Medelvärde på felmarginalen hamnar på 4,44 %. Det absoluta medelfelet mellan budgeterat värde (P85) och verkligt utfall är ”ganska” litet för reserven. I vissa fall så litet som 0,1 %. Medelfelet är alltså litet men budgetreserven är uppenbarligen inte användbar då den inte skulle klara att hålla kostnaderna i verkligheten för något av referensprojektet.

Vidare i Tabell 4.6 presenteras indata som användes för att simulera en budgetreserv på 10 % för referensobjekten.

Tabell 4.6. Indata för budgetreserv på 10 %

Indata	Procent
Min	85 %
Troligt	100 %
Max	125 %

Vid en tillämpning av en adderad budgetreserv på 10 % så håller budgeten i fyra av nio projekt, se Tabell 4.7. Det absoluta medelfelet i procent är dock väldigt liten då åtta av nio projekt hamnar under en felmarginal på 5 % (skillnad P85 & verkligt utfall i %). Medelfelet på 3,53 % är det minsta av alla testade budgetreservrar.

Tabell 4.7. Simulerad budget för budgetreserv på 10 %

Projekt	Upphandlat Utfall (kr)	Verkligt utfall (kr)	Kostnads-överskridning upphandlat	P85 (kr) (budgeterat värde)	Skillnad P85 & verkligt utfall (kr)	Skillnad P85 & verkligt utfall (%)	Klarar verkligt utfall
Projekt A	187 225 000	196 838 914	5,1 %	205 934 967	9 096 053	4,6 %	JA
Projekt B	146 500 000	154 500 000	5,5 %	161 135 192	6 635 192	4,3 %	JA
Projekt C	127 500 000	142 000 000	11,4 %	140 245 200	-1 754 800	-1,2 %	NEJ
Projekt D	56 400 000	60 400 000	7,1 %	62 035 938	1 635 938	2,7 %	JA
Projekt E	79 000 000	83 000 000	5,1 %	86 892 214	3 892 214	4,7 %	JA
Projekt F	27 000 000	30 700 000	13,7 %	29 697 915	-1 002 085	-3,3 %	NEJ
Projekt G	70 000 000	77 200 000	10,3 %	76 993 529	-206 471	-0,3 %	NEJ
Projekt H	69 000 000	82 000 000	18,8 %	75 895 748	-6 104 252	-7,4 %	NEJ
Projekt I	66 000 000	75 000 000	13,6 %	72 597 498	-2 402 502	-3,2 %	NEJ
		Medel	10,1 %		Absolut medelfel	3,53 %	44 %

Som tidigare nämnt klarar 4 av 9 projekt att hålla budget, detta kan verka magert men tittar man på felmarginalen för de projekt som inte klarar budget så är absoluta felet ”relativt” liten (0,3 – 3,53 %). Det går att diskutera huruvida ett fel är litet eller inte. Beroende på hur stor totalkostnaden är för ett projekt så kan storleken på felet i kronor

variera ganska kraftigt. För Projekt A resulterar ett fel på 4,6 % i en kostnadsöverskridning på drygt 9 100 000 kr. För Projekt E resulterar ett fel på 4,7 % i en kostnadsöverskridning på drygt 3 900 000 kr.

Beroende på vilket skede projektet befinner sig i kan acceptansen för felet mellan budgeterat värde och verkligt värde variera beroende på vilket underlag man har eller i vilket skede som projektet kalkyleras. I ett tidigt skede eller i en totalentreprenad då exempelvis en systemhandling ligger till grund för kalkylen, så anvisar Statensråd för byggnadsforskning (1977) att en felmarginal upp emot 12 % är acceptabelt. I ett senare skede eller i en utförandeentreprenad då bygghandlingar ligger till grund för kalkylen är en felmarginal på 8 % lämpligt. Detta följer även den teori presenterats av exempelvis Hansson m.fl. (2017) som poängterar att grövre ramar sätts i ett tidigare skede. Även Ottosson har konstaterat samma sak i sin forskning. Utifrån de resultat som presenterats i denna rapport så klarar referensobjekten oftast budget med en budgetreserv på 10-15 %.

I Tabell 4.8 presenteras indata för en tilläpplad budgetreserv på 15 %

Tabell 4.8 Indata för budgetreserv på 15 %

Indata	Procent
Min	87 %
Troligt	100 %
Max	144 %

För en tillagd budgetreserv på 15 % klarar hela åtta av nio projekt budget. Det absoluta medelfelet är dock större än i tidigare fall, se Tabell 4.9.

Tabell 4.9. Simulerad budget för budgetreserv på 15 %

Projekt	Upphandlat Utfall (kr)	Verkligt utfall (kr)	Kostnadsöverskridning upphandlat (%)	P85 (kr) (budgeterat värde)	Skillnad budget & verkligt utfall (kr)	Skillnad budget & verkligt utfall (%)	Klarar verkligt utfall
Projekt A	187 225 000	196 838 914	5,1 %	215 304 133	18 465 219	9,4 %	JA
Projekt B	146 500 000	154 500 000	5,5 %	168 469 429	13 969 429	9,0 %	JA
Projekt C	127 500 000	142 000 000	11,4 %	146 629 206	4 629 206	3,3 %	JA
Projekt D	56 400 000	60 400 000	7,1 %	64 859 149	4 459 149	7,4 %	JA
Projekt E	79 000 000	83 000 000	5,1 %	90 848 520	7 848 520	9,5 %	JA
Projekt F	27 000 000	30 700 000	13,7 %	31 050 850	350 850	1,1 %	JA
Projekt G	70 000 000	77 200 000	10,3 %	80 499 804	3 299 804	4,3 %	JA
Projekt H	69 000 000	82 000 000	18,8 %	79 351 657	-2 648 343	-3,2 %	NEJ
Projekt I	66 000 000	75 000 000	13,6 %	75 900 669	900 669	1,2 %	JA
		Medel	10,1 %		Absolut medelfel	5,38%	89 %

Vid ett budgetpåslag på 15 % klarar betydligt fler projekt att hålla budget, dock går det att observera en större felmarginal. I vissa fall uppgår felet mellan budgeterat värde och verkligt värde till 9 %. Det blir därmed att viktigt att balansera ens bedömning mellan huruvida man tror att budgeten klaras eller ej, och med den felmarginal som bedömningen väntas resultera i. En annan faktor som kan spela in bedömningen kan vara huruvida man tror att budgeten som presenteras får fotfäste hos olika beslutsfattare. Presenteras en ”för hög” kostnad kan olika intressenter avskräckas från att genomföra projektet.

Slutligen presenteras indata för den sista simuleringen, nämligen för en budgetreserv på 20 %, se Tabell 4.10.

Tabell 4.10 Indata för budgetreserv på 20 %

Indata	Procent
Min	87 %
Troligt	100 %
Max	155 %

Simuleringen för en pålagd budgetreserv på 20 % presenteras i Tabell 4.11. I detta fall håller samtliga projekt budget. Dock riskerar en sådan bedömning leda till klara överskattningar av budgetkostnaden för flera projekt i studien. I fyra av nio projekt överstigs det verkliga budgeten med 10 %, medan 8 av 9 projekt överstiger det verkliga utfallet med 5 %. Felmarginale hamnar på medelfelet 9,21 %.

Tabell 4.11. Simulerad budget för budgetreserv på 20 %

Projekt	Upphandlat Utfall (kr)	Verkligt utfall (kr)	Kostnads-överskridning upphandlat	P85 (kr) (budgeterat värde)	Skillnad P85 & verkligt utfall (kr)	Skillnad P85 & verkligt utfall (%)	Klarar verkligt utfall
Projekt A	187 225 000	196 838 914	5,1 %	224 677 439	27 838 525	14,1 %	JA
Projekt B	146 500 000	154 500 000	5,5 %	175 788 995	21 288 995	13,8 %	JA
Projekt C	127 500 000	142 000 000	11,4 %	152 994 526	10 994 526	7,8 %	JA
Projekt D	56 400 000	60 400 000	7,1 %	67 679 014	7 279 014	12,0 %	JA
Projekt E	79 000 000	83 000 000	5,1 %	94 798 524	11 798 524	14,2 %	JA
Projekt F	27 000 000	30 700 000	13,7 %	32 400 524	1 700 524	5,5 %	JA
Projekt G	70 000 000	77 200 000	10,3 %	84 001 364	6 801 364	8,8 %	JA
Projekt H	69 000 000	82 000 000	18,8 %	82 794 787	794 787	1,0 %	JA
Projekt I	66 000 000	75 000 000	13,6 %	79 198 125	4 198 125	5,6 %	JA
		Medel	10,1 %		Absolut medelfel	9,21 %	100 %

Föregående tabell är ett tydligt exempel på att det är viktigt att ta hänsyn till felmarginalen som kan uppstå i kostnadsbedömningen. Budgeten lyckas hållas i samtliga fall men felet uppgår i vissa fall upp till 14 %. Detta kan leda till en överdimensionerad budget som kan avskräcka intressenter från att acceptera den.

4.4.2. Indata baserad på medelvärden

Avslutningsvis simulerades medelvärdet för indata som tagits för det verkliga utfallet av referensobjekten, se Tabell 4.12. Medelvärdet går att hitta i Tabell 4.3. Den indata som tagits fram för medelvärdet är väldigt lik den indata som togs fram för ett procentuellt pålägg på 10%. Detta verkar stämma då kostnadsöverskridningarna hamnar i medel på 10 %.

Tabell 4.12. Medelvärde för indata av samtliga referensobjekt

Indata	Procent
Min	86 %
Troligt	100 %
Max	126 %

Projekt	Upphandlat Utfall (kr)	Verkligt utfall (kr)	Kostnadsöverskridning upphandlat	P85 (kr) (budgeterat värde)	Skillnad P85 & verkligt utfall (kr)	Skillnad upphandlat & verkligt utfall (%)	Klarar verkligt utfall?	
Projekt A	196 838 914	196 838 914	5,1 %	206 459 584	9 620 670	4,9 %	JA	
Projekt B	154 500 000	154 500 000	5,5 %	161 551 715	7 051 715	4,6 %	JA	
Projekt C	142 000 000	142 000 000	11,4 %	140 599 380	-1 400 620	1,0 %	NEJ	
Projekt D	60 400 000	60 400 000	7,1 %	62 195 246	1 795 246	3,0 %	JA	
Projekt E	83 000 000	83 000 000	5,1 %	87 116 642	4 116 642	5,0 %	JA	
Projekt F	30 700 000	30 700 000	13,7 %	29 773 604	-926 396	3,0 %	NEJ	
Projekt G	77 200 000	77 200 000	10,3 %	77 191 945	-8 055	0,0 %	NEJ	
Projekt H	82 000 000	82 000 000	18,8 %	76 088 879	-5 911 121	7,2 %	NEJ	
Projekt I	75 000 000	75 000 000	13,6 %	72 781 010	-2 218 990	3,0 %	NEJ	
		Medel	10,1 %			Absolut medelfel	3,51 %	44 %

5. Diskussion

Syftet med kapitlet är att analysera och reflektera över resultatet för simuleringen och jämföra skillnader och likheter med tidigare teori och empiri.

5.1. Diskussion kring användandet av @Risk

I föregående kapitel har acceptabla nivåer för osäkerhet diskuterats. I produktbestämningsskedet är möjligheterna för att låsa projektets slutkostnader som störst (Hansson, et al., 2017; Fjällström, et al., 1984). Det är alltså i detta då kostnadsstyrningen kan påverkas som mest genom kvalitén på underlaget som tilldelats projektledaren. Skulle vissa vitala element saknas i de underlag som tilldelats, så kan kostnadsöverskridningen bli ännu större än de nivåer som angivits som acceptabla i arbetet (Molin, 1977).

Skall @Risk tillämpas i exempelvis workshops är det viktigt att de intressenter som deltar i dessa har en viss teoretisk förkunskap kring hur PERT-analys och Monte Carlo-simuleringar fungerar. Exempelvis kan det faktum att det troliga värdet viktas fyra gånger mer än minimum- och maximumvärdet vara viktigt för deltagare att veta. Detta för att undvika snäva intervallsuppskattningar för olika kostnadsposter. En annan aspekt kan vara att alla inte har grundläggande kunskaper i läran om sannolikhetsfördelningar och hur stokastiska variabler fungerar. Detta kan ses som en av nackdelarna med metodiken då missuppfattningar lätt kan uppstå om inte viss förkunskap erhålls av deltagarna.

Inom ramen för arbetet har en referensram tagits för olika värden på minimum, troligt och maximum. Detta för att underlätta användandet av programmet för någon med mindre erfarenhet. Dock uppstår en viss fara om den som använder programmet inte har viss grundförståelse för hur programmet fungerar. Detta kan leda till att vederbörande i ett verkligt projektscenario har svårt att förklara hur vissa fenomen fungerar.

Utifrån de resultat som presenterats är en budgetreserv mellan 10 – 15 % rimligt att tillämpa. En budgetreserv på 10 % ger mindre felmarginal men klarar inte hålla budgeten för de verkliga utfallen i samma utsträckning som en budgetreserv på 15 %.

5.2. Validitet och reliabilitet

När det gäller den teoretiska referensram som tagits fram för indata för olika budgetreserver så har reliabiliteten stärkts genom att P85 för testad indata jämförts med respektive budgetreserv, se Tabell 5.1. Denna undersökning har alltså försökt simulera fall med värden på maximum och minimum som gör att P85 med minsta felmarginal tangerar respektive budgetreserv.

Tabell 5.1. Felmarginal för budgetreserv

Pålagd budgetreserv	P85	Fel i % (Skillnad/pålagd budgetreserv & P85)	Indata för P85		
			Min	Troligt	Max
5 % (105 %)	105,00266 %	0,00253 %	89 %	100 %	112 %
10 % (110 %)	109,99260 %	0,00705 %	85 %	100 %	125 %
15 % (115 %)	114,99875 %	0,00119 %	87 %	100 %	140 %
20 % (120 %)	119,99972 %	0,00027 %	87 %	100 %	155 %
25 % (125 %)	124,98688 %	0,01249 %	92 %	100 %	173 %
30 % (130 %)	129,99481 %	0,00494 %	91 %	100 %	188 %

Vidare har reliabiliteten för de simulerade budgetscenariorna försökt styrkas genom att analysera dess medelfel. Som tidigare nämnt så genomfördes även beräkningar i Excel för att testa ifall de värden som RiskOptimizer tog fram för minimum, troligt och maximum stämde.

Validiteten i arbetet har uppnåtts genom att besvara de frågeställningar som angetts början av arbetet. Dessa inrymmer att dels försöka bestämma lämplig indata för att genomföra simuleringarna genom att ta fram en teoretisk referensram som kan användas av oerfarna brukare, men också att försöka utröna vilka intervallmarginaler som är lämpliga för en budgetreserv på upphandlad kostnad.

6. Slutsatser

I följande avsnitt presenteras slutsatserna för arbetet. Syftet med kapitlet är att besvara arbetets frågeställning, kapitlet kommer även innehålla rekommendationer och förslag på framtida studier för arbetet.

6.1. Slutsats

Nedan kommer de problembeskrivningar som angavs i Kapitel 1 angivas tillsammans med arbetets svar på respektive frågeställning.

Vilka inmatningsvärden för minimum, maximum och mest troliga kostnad är lämpliga att använda vid ett tillämpande av Monte Carlo-simuleringar för kostnadsbedömning av byggprojekt?

Frågeställningen har besvarats genom att ett scenario antogs där den totala budgetkostnaden för ett projekt uppskattades genom att lägga till en budgetreserv på det upphandlade utfallet (troliga utfallet). Som nämnt representerar det upphandlade utfallet en kalkyl som tagits fram på handlingar i skedet för upphandling. Värdena för trepunktsestimeringen togs fram genom problemlösarfunktionen "RiskOptimizer" i @Risk. Resultatet för värden på minimum, troligt och max kan ses i Tabell 6.1.

Tabell 6.1. Inmatningsvärden för minimum, troligt och max

Pålagd budgetreserv	Min	Troligt	Max
5 %	89 %	100 %	112 %
10 %	85 %	100 %	125 %
15 %	87 %	100 %	140 %
20 %	87 %	100 %	155 %
25 %	92 %	100 %	173 %
30 %	91 %	100 %	188 %

För att testa tabellens trovärdighet och reliabilitet användes RiskOptimizer för att ta fram inmatningsvärden för verkliga projekt som genomförts. Dessa värden kan ses i Tabell 6.2

Tabell 6.2. Inmatningsvärden för verkliga projekt

Skolor	Upphandlat utfall (kr)	Verkligt utfall (kr)	Skillnad upphandlat & verkligt utfall (%)	Min	Troligt	Max
Projekt A	187 225 000	196 838 914	5,1 %	92 %	100 %	113 %
Projekt B	146 500 000	154 500 000	5,5 %	87 %	100 %	113 %
Projekt C	127 500 000	142 000 000	11,4 %	85 %	100 %	129 %
Projekt D	56 400 000	60 400 000	7,1 %	84 %	100 %	117 %
Projekt E	79 000 000	83 000 000	5,1 %	87 %	100 %	112 %
Projekt F	27 000 000	30 700 000	13,7 %	83 %	100 %	135 %
Projekt G	70 000 000	77 200 000	10,3 %	86 %	100 %	126 %
Projekt H	69 000 000	82 000 000	18,8 %	87 %	100 %	151 %
Projekt I	66 000 000	75 000 000	13,6 %	84 %	100 %	135 %
		Medel	10,1%	86 %	100 %	126 %

Klarar framtagna inmatningsvärden för studien hålla budget i ett verkligt scenario för ett riktigt projekt?

Med de framtagna inmatningsvärdena klarar inget projekt hålla budget med en reserv på 5 % (för P85). De framtagna inmatningsvärdena klarar hålla budget i 4 av 9 fall med en pålagd budgetreserv på 10 %. Med en budgetreserv på 15 % klarar 8 av 9 projekt att hålla simulerad projektbudget (P85). En budgetreserv på 20 % säkerställer att alla projekt håller budget.

6.2. Rekommendationer

Utifrån de resultat som presenterats rekommenderas utifrån resultaten i studien att simuleringar genomförs med de inmatningsvärden som anges för budgetreserver mellan 10-15 %, se Tabell 6.1. Med bakgrund av den teori som presenterats och resultatet av arbetet så är det viktigt att projektledare som genomför simuleringar är medveten om att sannolikhetsfördelningarna för byggprojekt är positivt snedfördelade. Det är också viktigt att brukaren av metodiken med Monte Carlo-simuleringar för kostnadsbedömning viss förståelse för den teoretiska bakgrunden för att undvika missförstånd med övriga intressenter i kostnadsbedömningsprocessen. Till slut är det viktigt att poängtera att kostnadsbedömningar med Monte Carlo-simuleringar inte bör göras förrän de poster med störst kostnadspåverkan är fastställda och angivna i handlingarna i projektet, detta för att undvika stora avvikelser.

6.3. Förslag på framtida studier

Nedan listas de förslag på fortsatta studier som skulle kunna göras.

- Testa expertutlåtandes subjektiva bedömning genom att dessa experter gör egna bedömningar på minimum, troligt och maximum. Jämför utfall med verkligt utfall för projekt.
- Undersöka alternativa sannolikhetsfördelningar som exempelvis triangelfördelning för att se hur metoden mäter sig med PERT-fördelning.
- Testa upprätta en simulering med olika nivåer på underlag. Exempelvis simulera ett projekt med systemhandling, ett med huvudhandlingar och ett med bygghandlingar för att sedermera testa med vilken felmarginal utfallet för simuleringen har jämfört med redovisad teori.

7. Referenser

- Anbari, F. T., 2001. *Applications and extensions of the earned value analysis method*. Nashville, Project management institute .
- Bouayed, Z., 2016. Using monte carlo simulation to mitigate the risk of project cost overruns. *International Journal of Safety and Security Engineering*, pp. 293-300.
- Chau, K., 1995. Monte Carlo simulation of construction costs using subjective data. *Construction management and economics*, pp. 369-383.
- Clark, C., 1962. The PERT model for the distribution of an activity. *Operations Research*, Volym 10, pp. 405-406.
- Elkjaer, 2000. Stochastic Budget Simulation. *International Journal of Project Management* 18, 18(2), pp. 139-147.
- Filestead, W., 1970. *Qualitative Methodology*. 4:e upplagan red. Chicago: Markham Pub. Co.
- Fjällström, H., Miltion, G. & Sundsvik, L., 1984. *Kostnadsstyrning av byggprojekt*. 1:a upplagan red. Göteborg: Allmänna förlaget.
- Flanagan, R. & Norman, G., 1993. *Risk management and construction*. 1:a upplagan red. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Flyvbjerg, B., Holm, M. & Buhl, S., 2002. Underestimating Costs in Public Works Projects: Error or Lie?. *Journal of the American Planning Association*, 1 September, pp. 279-295.
- Flyvbjerg, B., van Bee, B. & Priemus, H., 2008. *Decision-Making on Mega-Projects*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited.
- Girmscheid, G. & Busch, T., 2007. Risikomanagement-ProzessModell für Baunternehmen – Risikobelastungsdimension.. *Bauingenieur* 82, Volym 82, pp. 53-61.
- Hansson, B., 2015. *Byggledning: Projektering*. 1:a upplagan red. Lund: Studentlitteratur.
- Hansson, B., Olander, S. & Persson, M., 2017. *Kalkylering vid bygg- och fastighetsutveckling*. 2:a upplagan red. Stockholm: Svensk Byggtjänst AB.
- Hertz, D., 1964. Risk Analysis in Capital Investment. *Harvard Business Review*, pp. 95-106.
- Hillson, D., 2007. *Understanding risk exposure using multiple hierarchies*. Budapest, Project Management Institute.

- Hillson, D., 2009. *Managing risk in projects*. 1:a red. Farnham: Gower Publishing Lm.
- Kennedy, T., 2016. *Monte Carlo Methods - a special topics course*. [Online] Available at: <https://www.math.arizona.edu/~tgk/mc/book.pdf> [Använd 22 February 2019].
- Koski, T., 2017. *Lecture Notes: Probability and Random Processes at KTH*. [Online] Available at: <https://www.math.kth.se/matstat/gru/sf2940/lectnotemat5.pdf> [Använd 22 February 2018].
- Kwak, Y. & Ingall, L., 2007. Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. *IEEE Engineering management review*, pp. 44-57.
- Larsen, A., 2007. *Metod helt enkelt – en introduktion till samhällsvetenskaplig metod*. 1:a upplagan red. Malmö: Gleerups.
- Lichtenberg, S., 2000. *Proactive Management of uncertainty using the successive principle*. 1:a upplagan red. Copenhagen: Polyteknisk press.
- Mason, J., 2002. *Qualitative researching*. 2:a upplagan red. London: Sage publications ltd.
- Marrow, E. W., 2011. *Industrial megaprojects - concepts, strategies and practices for success*. 1:a upplagan red. Hoboken(New Jersey): John Wiley & Sons Inc.
- Molin, F., 1977. *Ansvar för kalkyler - Konsultens ansvar för kostnadskalkyler*, Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- NTNU, 2019. *Concept Research Programme*. [Online] Available at: <https://www.ntnu.edu/concept/the-quality-assurance-scheme> [Använd 22 Maj 2019].
- Odeck, J., 2004. Cost overruns in road construction – what are their sizes and determinants?. *Transport Policy*, 9 Februari, pp. 43-53.
- Ottosson, H., 2015. *VAD NÄR HUR och av VEM - Praktisk projektledning inom bygg-, anläggnings och fastighetsbranschen*. 2:a upplagan red. Stockholm: Svensk byggtjänst AB.
- Owen, A., 2018. *Monte Carlo theory, methods and examples*. [Online] Available at: <http://statweb.stanford.edu/~owen/mc/Ch-intro.pdf> [Använd 22 February 2019].
- Peleskei, C., Dorca, V., R.A., M. & Popescu, S., 2015. *Risk Consideration and Cost Estimation in Construction Projects Using Monte Carlo Simulation*. Bari, ToKnow Press, pp. 613-613.
- Pries-Heje, J., 2013. *Project management multiplicity*. 1:a upplagan red. Frederiksberg: Samfundslitteratur.
- SCB, 2015. *Sveriges ekonomi - Statistiskt perspektiv*, Stockholm: SCB.
- SOU, 2015. *Sveriges ekonomi – scenarier fram till 2060*, Stockholm: Finansdepartementet.

Tan, F. & Makwasha, T., 2010. *"Best practice" Cost Estimation in Land*. Canberra, ARRB Group Ltd.

Tonnquist, B., 2016. *Projektleddning*. 6:e upplagan red. Stockholm: Sanoma utbildning.

Wall, D., 1997. Distributions and correlations in Monte Carlo simulation. *Construction Management and Economics*, 15(1), pp. 241-258.

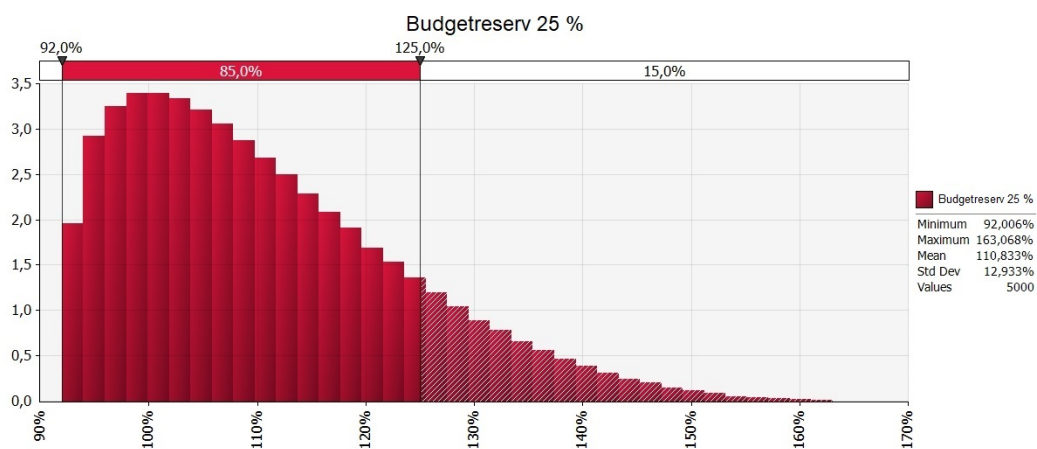
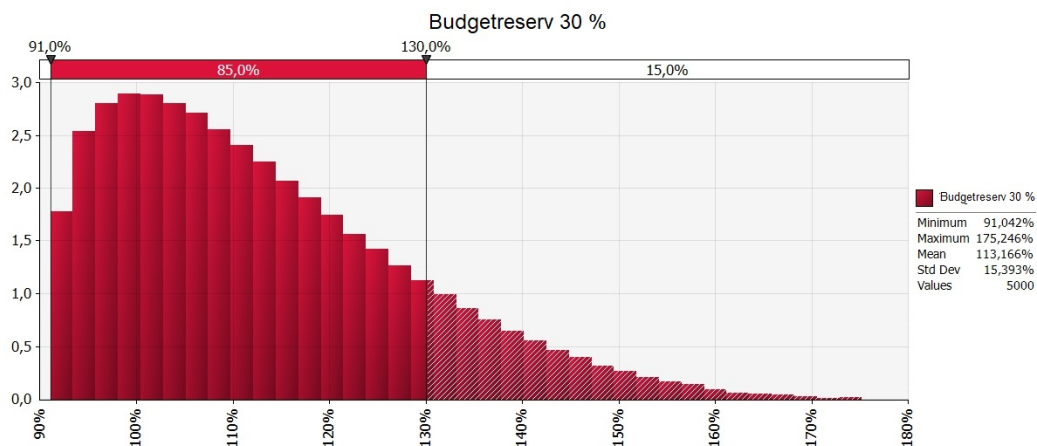
Weisstein, E. W., 2019. *Wolfram|Alpha*. [Online] Available at: <http://mathworld.wolfram.com/TriangularDistribution.html> [Använd 25 04 2019].

Vose Software, 2017. *Vose Software*. [Online] Available at: <https://www.vosesoftware.com/riskwiki/PERTdistribution.php> [Använd 26 Februari 2019].

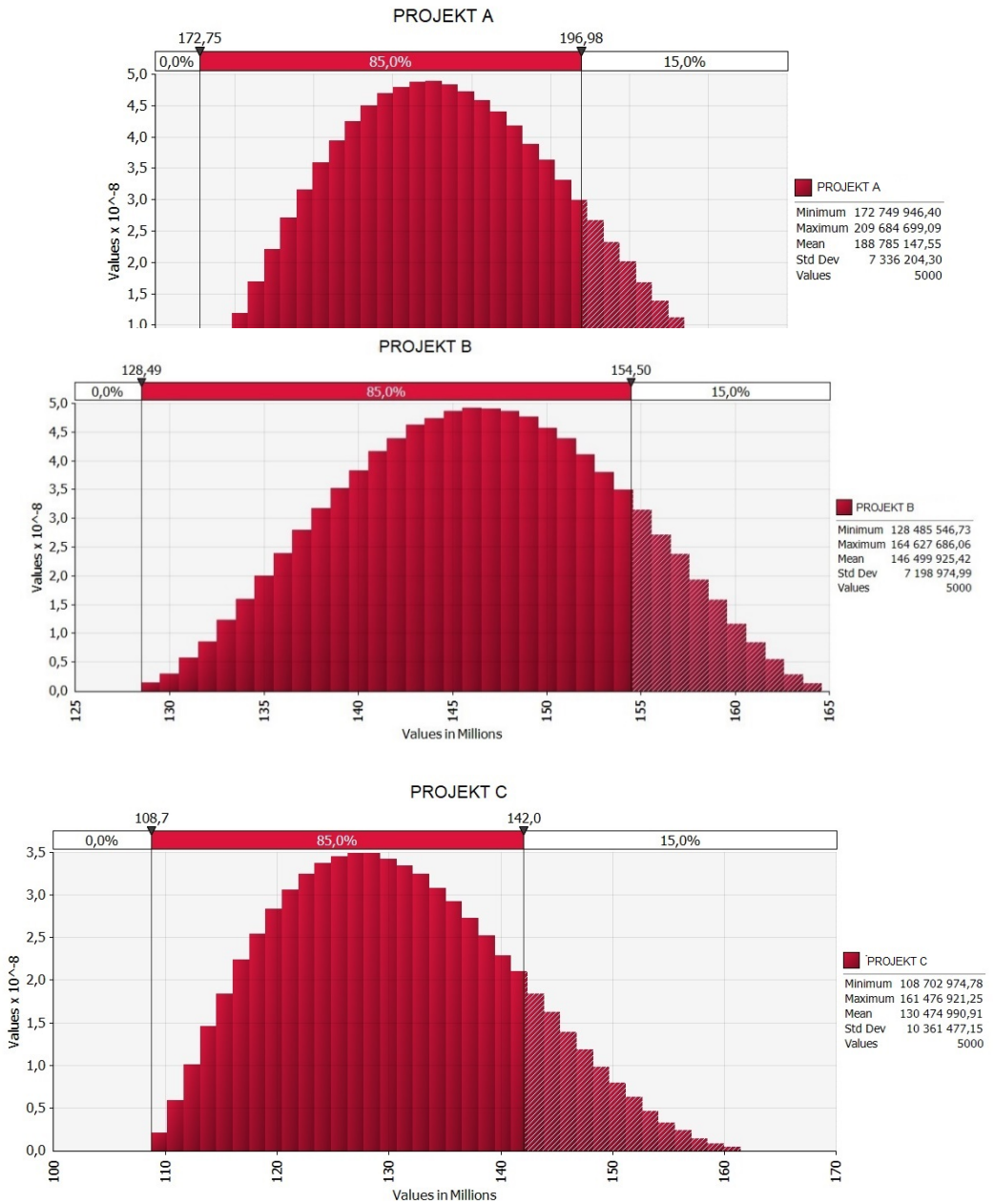
Yang, I. T., 2005. Simulation-Based Estimation for Correlated Cost Elements. *International Journal of Project Management*, Volym 23, pp. 275-282.

8. Bilagor

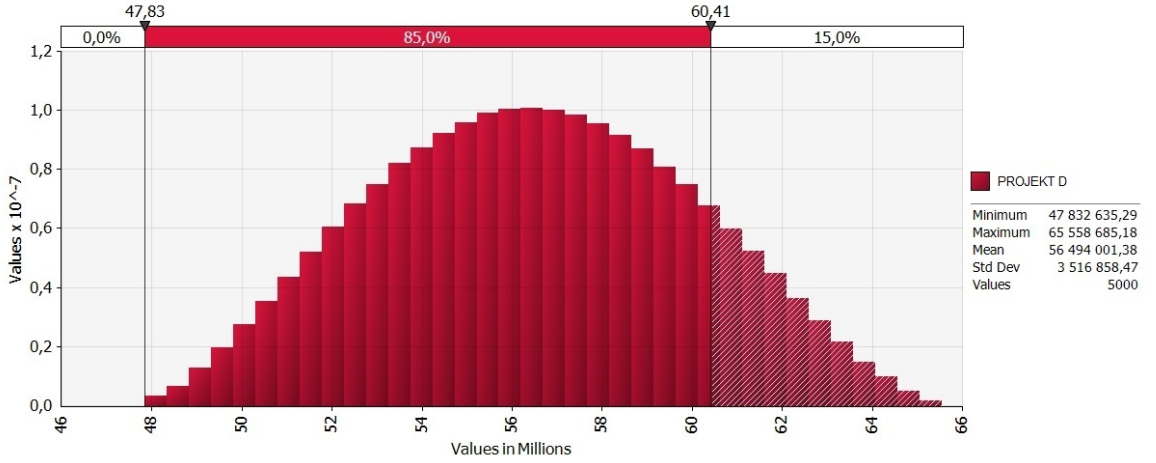
Bilaga 1: Simulering av pålagd budgetreserv på upphandlad kostnad



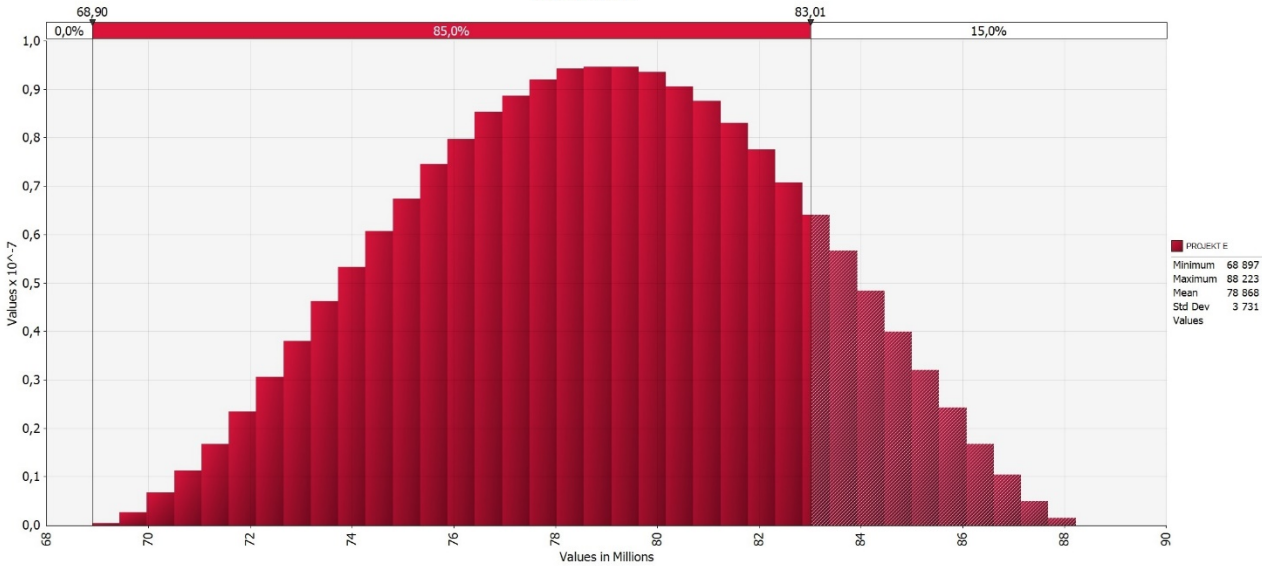
Bilaga 2: Sannolikhetsfördelningar för referensobjekt vars indata har extraherats fram med RiskOptimizer



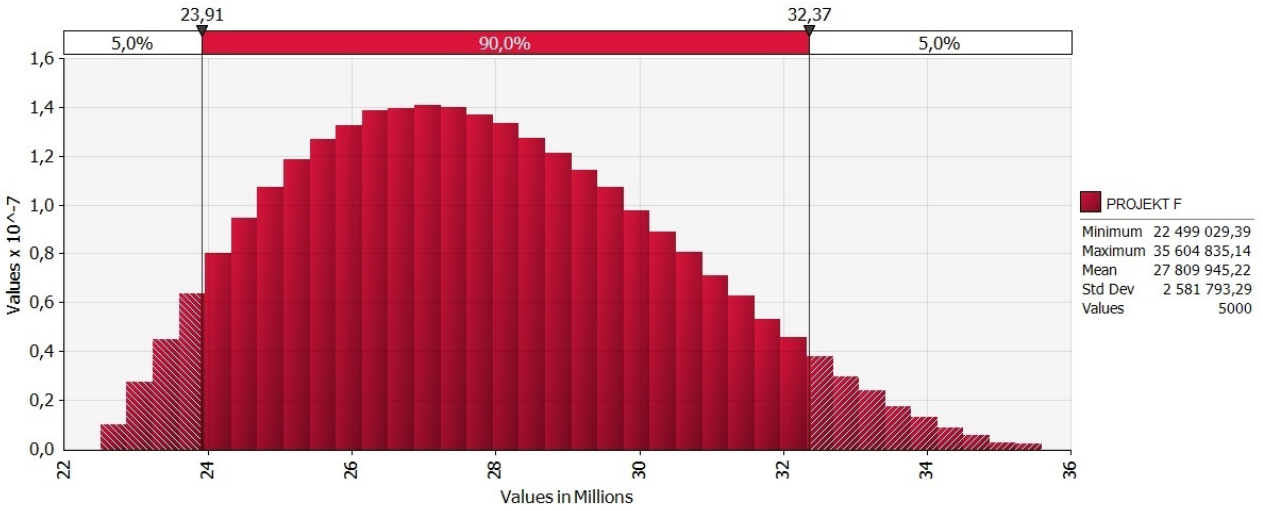
PROJEKT D



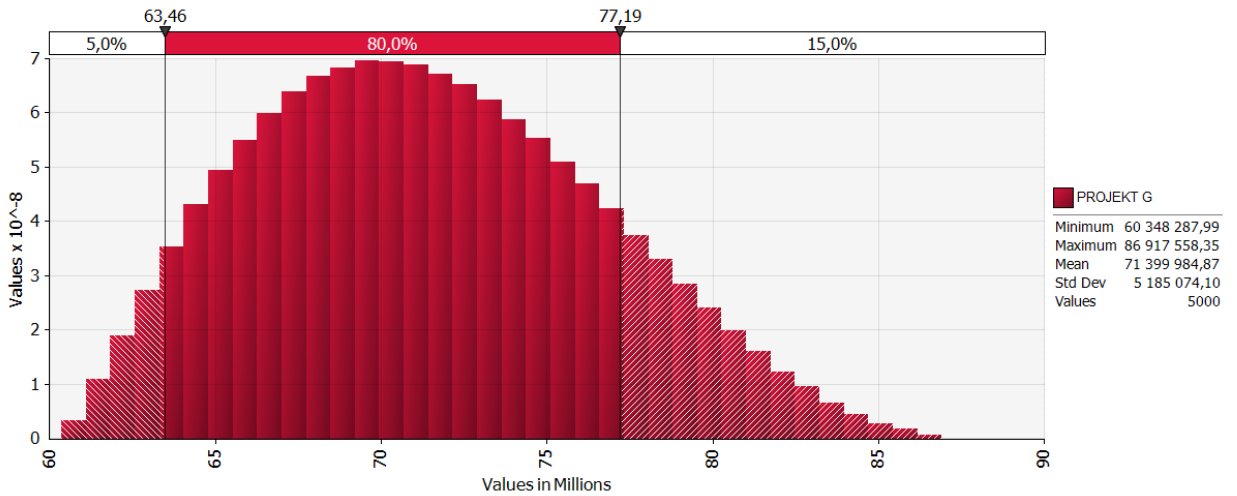
PROJEKT E



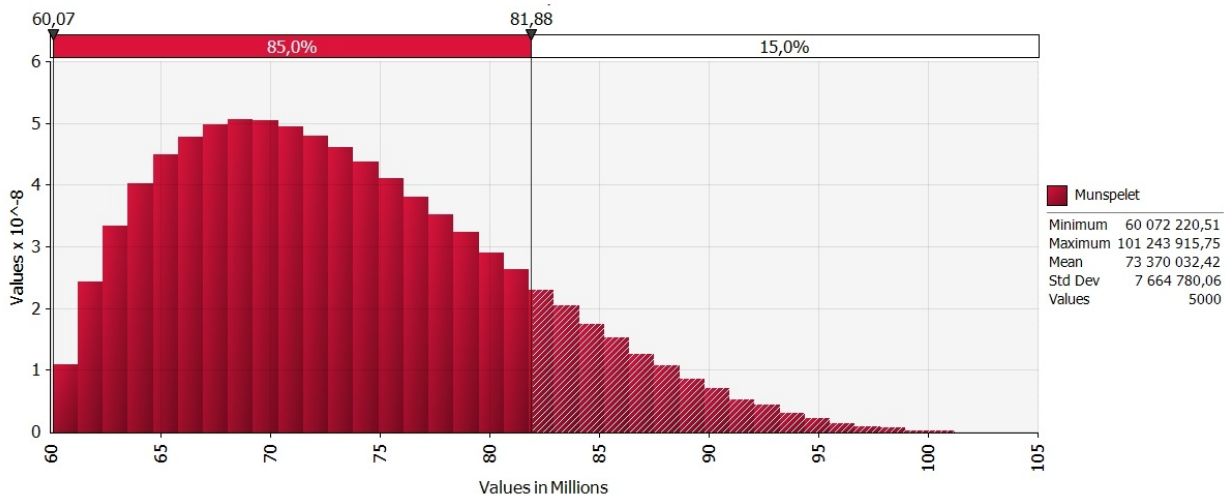
PROJEKT F



PROJEKT G



PROJEKT H



PROJEKT I

