

The impact of BIM: Project duration and cost estimation in housing projects

T.F.H.M. Manders



*“Obstacles are those frightful things you see
when you take your eyes off your goal.”* **-Henry Ford**

“If you're trying to achieve, there will be roadblocks.

I've had them; everybody has had them.

But obstacles don't have to stop you.

If you run into a wall, don't turn around and give up.

Figure out how to climb it, go through it, or work around it.” **-Michael Jordan**

“Nothing in the world can take the place of persistence. Talent will not; nothing is more common than unsuccessful men with talent. Genius will not; unrewarded genius is almost a proverb. Education will not; the world is full of educated derelicts. Persistence and determination alone are omnipotent. The slogan, ‘press on’ has solved, and always will solve, the problems of the human race.” **-Calvin Coolidge**

Cover photo: Varitronics Systems, 2015

The impact of BIM: Project duration and cost estimation in housing projects

Quantifying the impact of applying BIM

by

T.F.H.M. (Tim) Manders

Master thesis in order to obtain the degree of

Master of Science

At Eindhoven University of Technology

Researcher

T.F.H.M. Manders
Student Construction Management & Engineering
Faculty of Built Environment
Eindhoven University of Technology

Student-id: 0758118
E: timmanders89@gmail.com

Education Institute

Eindhoven University of Technology
Faculty of Built Environment
Construction Management & Engineering

De Rondom 70
5612 AP Eindhoven
Netherlands

Supervisory body

Ballast Nedam N.V.
Ballast Nedam Engineering
Departement Bouwtechniek

Limburglaan 24
5652 AA Eindhoven
Netherlands

Graduation Committee

ing. J. (Jan) Dijkstra
prof. dr. ir. B. (Bauke) de Vries
ing. J.A.M. (Johan) van Zitteren

TU/e
TU/e
Ballast Nedam N.V.

Preface

This thesis is entitled “The impact of BIM: Project duration and cost estimation in housing projects”, and is the result of a graduation research of the master track Construction Management & Engineering. The research is conducted at the Faculty of Built Environment at Eindhoven University of Technology in collaboration with Ballast Nedam.

During my bachelor I learned the basics of Building Information Modeling (BIM) and I was inspired by the bachelor graduation of a fellow student with a thesis that was related to BIM. During my master study, I had more education about BIM and this increased my interest in this topic. Therefore, I had considered a master thesis with the topic BIM. Because I am also interested in the financial aspects of a construction project, I chose a research topic that included both the BIM and financial aspect.

This research was conducted under the guidance of three very enthusiastic and benevolent mentors. The mentors came from a collaboration of the Faculty of Built Environment at Eindhoven University of Technology and Ballast Nedam, where I conducted my research. Hereby I would like to thank ing. J. Dijkstra and prof. dr. ir. B. de Vries of the Construction Management & Engineering master track, and ing. J.A.M. van Zitteren of Ballast Nedam for their input, support and interesting discussions. Besides the mentors, I would like to thank the employees of Ballast Nedam for helping me with my research in any way, and for welcoming me in the team. I also want to thank my girlfriend Vanity for her always encouraging talks and understanding, my parents Ralf & Mieke for their contribution and support throughout my study and my friend Bart for helping me whenever I got stuck during my thesis.

And finally, a thank you to the reader. You have read at least one page of my master thesis at this point, thank you for that.

Rosmalen, January 2016



Tim Manders

Summary

The concept known as Building Information Modeling (BIM) goes back thirty years and the BIM term has been circulating for fifteen years. BIM exists in all phases of a construction project, from a concept to the demolition of a building. A frequently mentioned barrier for implementation of BIM is the lack of empirical evidence on the perceived benefits of BIM (Adriaanse, 2007; Barlish & Sullivan, 2012). For top management the most important factor is costs. Providing evidence that BIM can decrease project costs will increase the chance for implementation. Therefore, the research goal for this thesis will be: *Comparing BIM with non-BIM in a case study, based on cost estimation and project duration in housing projects, in order to provide quantitative evidence for the impacts of BIM.* The research goal will be guided by the following main research question: **Can Building Information Modeling provide a decline in project duration and improve project cost estimation, compared to the traditional process?**

Previous research has shown that for many years, on-site progress data collection has mainly been paper-based and was reported as one of the major problems causing project delays and cost overruns (Tserng, Ho, & Jan, 2014). Using BIM could potentially eliminate this threat to the project duration and costs by positively influencing factors that affect project duration and cost estimation. BIM can reduce the project duration by, among other things, the cutback of rework (using automated clash detection), early coordination, 4D simulation and automation of quantity take-off. The impact on cost estimation affects both the estimating process and the quality of the cost estimation. The implementation of BIM within the construction industry still has a long way to go. To provide guidance with regard to the communication about the implementation of BIM, the Bouw Informatie Raad (BIR) came up with a model regarding the Dutch BIM levels (Bouw Informatie Raad, 2014); it represents the degree of computerization and integration of processes in the lifecycles of construction projects. Additionally, the BIR collected the major BIM applications on a poster, including benefits to different stakeholders.

This thesis employs a case study because this is the most appropriate investigation method for the business benefits of new technologies, when compared to the formal experiment and survey (Barlish & Sullivan, 2012). In this case study a BIM and a non-BIM project will be studied with the condition that these projects will be as similar as possible to ensure that the

results will be comparable. The factors identified from the literature study, pre-interviews and interviews are analyzed with the use of descriptive statistics and, where possible, statistical tests.

The results show that there are some perceivable benefits of BIM; it had a reduced amount of contract variations and showed a smaller deviation from scheduled activities and staff scheduling compared to non-BIM. Additionally, the amount of drawing versions from the BIM project was statistically significantly larger, which is a logical result due to the fact that BIM provides more insight early in the project resulting in more errors being detected which equals more design changes. On the other hand, the project [CONFIDENTIAL] the amount of contractual workable working days, compared to non-BIM. The BIM project [CONFIDENTIAL] budget while the non-BIM project [CONFIDENTIAL] budget on the main budget parts. Also both projects [CONFIDENTIAL] their contractual budget with their total expenses, but BIM was more beneficial than non-BIM. With the construction sector recuperating and the demonstrated positive impact of BIM, a bright future might be ahead. An improving construction industry will have an important impact on the entire Dutch economy, because the construction industry is one of the key players (Doelen, 2015).

Samenvatting

Het zogenaamde Building Information Modeling (BIM) concept bestaat al ruim 30 jaar en de term BIM circuleert al 15 jaar. BIM is aanwezig in alle fasen van een bouwproject, vanaf het concept tot de sloop van een gebouw. Een vaak herkende en genoemde barrière met betrekking tot implementatie van BIM, is het gemis aan empirisch bewijs van de verwachte voordelen van BIM (Adriaanse, 2007; Barlish & Sullivan, 2012). Voor het hoge management zijn kosten de belangrijkste factor. Het leveren van bewijs dat BIM kan zorgen voor een vermindering van project kosten zal de kans op implementatie vergroten. Derhalve, is het onderzoeksdoel van deze scriptie: *Het vergelijken van BIM met non-BIM in een case study, gebaseerd op kostenschatting en projectduur in woningbouwprojecten, om kwantitatief bewijs te leveren voor de effecten van BIM.* Dit onderzoeksdoel wordt begeleid door de volgende hoofdvraag: **Kan Building Information Modeling zorgen voor een verlaging in projectduur en de kostenschatting verbeteren, vergeleken met het traditionele proces?**

Eerder onderzoek heeft aangetoond dat, voor vele jaren, voortgangsdata op de bouwplaats voornamelijk op papier verzameld werd en dat werd als een van de grootste project vertraging en kostenoverschrijding veroorzakers geïdentificeerd (Tserng et al., 2014). BIM kan deze bedreiging op de projectduur en kosten mogelijk elimineren door het positief beïnvloeden van factoren die invloed hebben op de projectduur en kostenschatting. BIM kan de projectduur verkleining door onder andere, verminderen van meerwerken (door gebruik te maken van clash detection), coördinatie in een vroeg stadium, 4D-simulatie en geautomatiseerd hoeveelheden bepalen. De invloed van BIM op de kostenschatting heeft zowel betrekking op het kostenschattingsproces als de kwaliteit van de kostenschatting. De implementatie van BIM in de bouwindustrie heeft nog een lange weg te gaan. Om richtsnoeren te geven met betrekking tot de communicatie over de implementatie van BIM, heeft de Bouw Informatie Raad (BIR) een model voor BIM-levels bedacht (Bouw Informatie Raad, 2014); het vertegenwoordigt de mate van automatiseren en integratie van processen in de levenscycli van bouwprojecten. Bovendien, heeft de BIR ook de belangrijkste BIM toepassingen verzameld op een poster, inclusief de voordelen voor de verschillende belanghebbenden.

Deze scriptie maakt gebruik van een case study omdat dit de meest geschikte onderzoeks methode is om bedrijfskundige voordelen door nieuwe technologieën te bestuderen, vergeleken met het formele experiment en enquête (Barlish & Sullivan, 2012). In

deze case study wordt een BIM en non-BIM project onderzocht met de voorwaarde dat beide projecten zoveel mogelijk overeenkomsten hebben om te waarborgen dat de resultaten vergelijkbaar zijn. De te onderzoeken factoren, welke geïdentificeerd zijn uit de literatuurstudie, pre-interviews en interviews, worden geanalyseerd met behulp van beschrijvende statistische gegevens en, waar mogelijk, statistische tests.

De resultaten bevestigen een aantal verwachte voordelen van BIM; het zorgde voor een kleinere hoeveelheid meerwerken en een kleinere afwijking in geplande activiteiten en personeelsplanning, vergeleken met non-BIM. Daarnaast was het aantal tekeningen versies van het BIM project statistisch significant groter, maar dit is logisch te verklaren doordat BIM vroegtijdig in het project meer inzicht verschafft en meer fouten gedetecteerd worden, wat resulteert in meer ontwerp veranderingen. Anderzijds, [CONFIDENTIAL] het BIM project de contractuele werkbare werkdagen, vergeleken met non-BIM. Het BIM project [CONFIDENTIAL] budget terwijl het non-BIM project [CONFIDENTIAL], op basis van de hoofdonderdelen van de begroting. Tevens [CONFIDENTIAL] beide projecten met hun totale kosten [CONFIDENTIAL] het contractuele budget, maar het BIM project was hierin voordeliger dan het non-BIM project. Nu de bouwsector herstellende is en de positieve impact van BIM aangetoond is, kan de toekomst wellicht nog rooskleuriger zijn. Een verbetering van de bouwsector zal een grote invloed hebben op de gehele Nederlandse economie omdat de bouwsector een van de grootste spelers hierin is (Doelen, 2015).

Table of Contents

Preface.....	iv
Summary	v
Samenvatting.....	vii
1. Introduction.....	1
1.1. Problem definition.....	2
1.2. Research question.....	3
1.3. Research design.....	5
1.4. Expected results.....	6
1.5. Thesis outline	6
2. Literature review	8
2.1. Introduction	8
2.2. Impact on project duration	10
2.3. Impact on cost estimation.....	15
2.4. BIM implementation within a construction company.....	20
2.5. Conclusion.....	21
3. Research methodology.....	23
3.1. Semi-structured interviews.....	23
3.2. Case study method	25
3.3. Validation and reliability.....	26
3.4. Analyzing the results	29
4. Model design.....	33
4.1. BIM level.....	33
4.2. BIM applications	35
4.3. Case study	36
4.4. Model description.....	37

5.	Case study input	39
5.1.	Project duration	39
5.2.	Cost estimation.....	41
5.3.	Hypotheses	43
5.4.	Collecting data.....	44
6.	Results.....	47
6.1.	BIM level and applications	47
6.2.	Project duration impact	50
6.3.	Cost estimation impact.....	56
7.	Discussion	59
7.1.	Impact of the results	59
7.2.	Limitations of the study.....	61
8.	Conclusion	63
8.1.	Research questions	63
8.2.	Societal relevance.....	67
8.3.	Scientific relevance	67
8.4.	Beneficiary relevance.....	68
8.5.	Future research	69
	References.....	71
	Appendices.....	76
	Appendix A: Interview design	76
	Appendix B: Interviews	79
	Appendix C: Detailed description of the influential factors	115
	Appendix D: Matrices of the interviews	120
	Appendix E: Statistical tests	123

List of Figures

Figure 1: 3D, 4D and 5D BIM	2
Figure 2: 2D CAD vs 3D BIM cost estimation.....	18
Figure 3: Types of validation	26
Figure 4: Realms of validation.....	27
Figure 5: BIM levels	34
Figure 6: BIM applications	35
Figure 7: The visualized model.....	38
Figure 8: BIM applications in project [CONFIDENTIAL]	47
Figure 9: Aspect models merged into one coordination model	48

List of Tables

Table 1: Impact of BIM on project duration	12
Table 2: Measurement input for project duration	14
Table 3: Impact of BIM on cost estimation	18
Table 4: Measurement input for cost estimation.....	20
Table 5: Factors limiting BIM implementation	21
Table 6: Factors influencing the project duration	22
Table 7: Cohen's benchmarks for interpreting effect size estimates.....	32
Table 8: Project [CONFIDENTIAL]	36
Table 9: Project [CONFIDENTIAL]	37
Table 10: Factors influencing project duration ranked in descending frequency.....	39
Table 11: Factors influencing project duration and their use in the case study	40
Table 12: Quantification of factors influencing project duration	41
Table 13: Factors influencing cost estimation ranked in descending frequency	42
Table 14: Factors influencing cost estimation and their use in the case study	42
Table 15: Quantification of factors influencing cost estimation.....	43
Table 16: Project duration alternative hypotheses	43
Table 17: Cost estimation alternative hypotheses.....	44
Table 18: Results of the statistical tests regarding design changes	50
Table 19: Staff members schedule non-BIM project.....	52
Table 20: Staff members schedule BIM project	52
Table 21: Contract variations and their ratio with respect to the total project costs.....	53
Table 22: Planned and realized project activities non-BIM project	54
Table 23: Planned and realized workable working days non-BIM project	54
Table 24: Planned and realized project activities BIM project.....	55
Table 25: Planned and realized workable working days BIM project.....	55
Table 26: Exceedance on budget items non-BIM project.....	56
Table 27: Exceedance on budget items BIM project	56
Table 28: Exceedance on subparts of the cost estimate non-BIM project	57
Table 29: Difference between contract price and realized costs non-BIM project.....	57
Table 30: Exceedance on subparts of the cost estimate BIM project	57
Table 31: Difference between contract price and realized costs BIM project.....	57

Table 33: Project duration factors ranked in descending frequency and their source per participant	120
Table 34: Cost estimation factors ranked in descending frequency and their source per participant	122

1. Introduction

The concept known as Building Information Modeling (BIM) goes back thirty years and the BIM term has been circulating for fifteen years. Charles M. Eastman published a description of a working prototype called ‘Building Description System’ in 1975, which was the first document to define the concept currently known as BIM. For the last 10 years the software supporting BIM has matured and been expanded (Het Nationaal BIM Platform, 2015). BIM is a process involving the generation and management of digital representations of physical and functional characteristics of a facility. Furthermore, BIM is an acronym for the Building Information Model, which is a shared knowledge resource of information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as existing from earliest conception to demolition. BIM is known and has been used in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry for several years. Nevertheless, it is still not fully implemented by all parties. BIM is not only 3D, although it is an important aspect of it. People consider BIM as 3D modelling, collaboration, using multiple dimensions like 3D, 4D (3D plus schedule) and 5D (4D plus costs), using Revit/Civil3d, virtual reality, 3D coordination, clash detection and information management (Koppula, 2013). It shows that people have different perspectives of BIM, while BIM actually is all of the above combined. To successfully implement BIM, all aspects should be considered as a whole. BIM exists in all phases of a construction project, from a concept to the demolition of a building.

4D BIM is visualization and simulation of operating processes by linking objects from the 3D BIM model to the dimension of time (e.g. activities in a schedule). The objects from the 3D model are linked with planning rules of the performance schedule. Objects are provided with a planned start date and deadline belonging to a construction activity. This generates a schedule linked to a collection of objects that are part of the BIM model. (den Heijer, 2012)

5D BIM is adding quantities and costs to the 4D BIM. The 5D BIM is used for estimating and calculating based on the generated object quantities and specifications from the 3D model (den Heijer & Adriaanse, 2011).

A representation of the three BIM dimensions useful for this study, is shown in Figure 1.

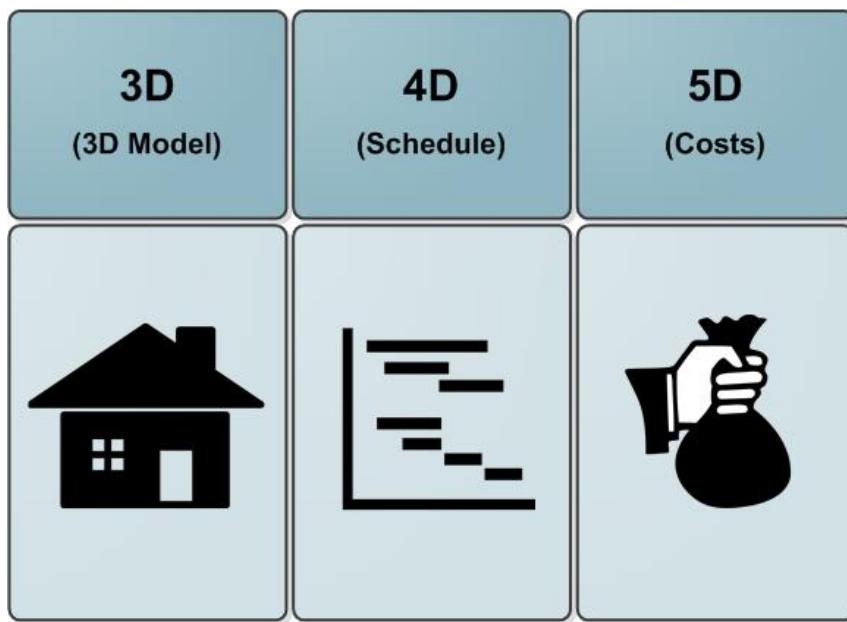


Figure 1: 3D, 4D and 5D BIM

1.1. Problem definition

The economic crisis has played a big role in why BIM implementation has been so slow-paced. Due to the stagnating economy there was less demand for housing and other buildings, and a cut back on investments in infrastructure (CBS, 2015a). Because there were many bankruptcies, money for investments was scarce and limiting the growth of BIM. Another frequently mentioned barrier for implementation of BIM is the lack of empirical evidence on the perceived benefits of BIM (Adriaanse, 2007; Barlish & Sullivan, 2012). Adriaanse (2007) also explains that the way BIM is used by actors (like contractors, architects and clients), is heavily influenced by clear knowledge of the perceived benefits (Adriaanse, 2007). The research goal of Barlish & Sullivan (2012) was to develop a more complete methodology to analyze the benefits of BIM; they apply recent projects to this methodology to quantify outcomes, resulting in a more holistic framework of BIM and its impacts on project efficiency. There seems to be a void regarding the measurement of project changes and outcomes with respect to BIM utilization (Barlish & Sullivan, 2012). A problem identified within Ballast Nedam is that executives and a lot of the employees do not recognize the benefits of BIM yet. This lack of recognition restrains implementation of BIM. The difficulty is to convince these mentioned people that traditional practices work, but that BIM improves practices: it is a matter of changing a habit. Stephanie Castillo (2014) quotes Wendy Wood, a psychology professor at the University of Southern California in Los Angeles, and says that "our minds don't always integrate in the best way possible. Even when you know the

right answer, you can't make yourself change the habitual behavior". So even when employees and executives would recognize BIM's benefits, it is not easy to shift from the traditional practice towards BIM instantly without any problems. Stephanie Castillo also quotes Charles Duhigg, a reporter for The New York Times and author of The Power of Habit with: "What we know from lab studies is that it's never too late to break a habit" (Castillo, 2014). Quantifiable evidence for the advantages of BIM, or in other words the impact of BIM, will be needed to help convince executives to stimulate implementation.

The mindset of the construction industry needs to change in order to stimulate implementation of BIM. As Williams (2010) states in her article, that "inherent challenges, in addition to the need for a fundamental change of mindset, are staff training, required upgrades to hardware and software and standardization of systems and procedures." (Williams, 2010, p. 1). She also quotes Al Prowse, who is president of H. Griffiths Co. Ltd., with: "It isn't simply a case of taking a twodimensional AutoCAD draftsman and teaching him to draw in three dimensions" (Williams, 2010, p. 1). Additionally, change management (CM) will also play an important role with regard to implementing BIM. To successfully implement BIM, people, teams and the organization has to change; CM is an approach that is capable of transitioning the employees, teams and entire organization towards a reshaped company. Providing quantitative evidence for the impacts of BIM could help implementation by getting support from top management.

1.2. Research question

As mentioned earlier, a problem identified within Ballast Nedam is that employees and executives need to have their mindsets changed in order to successfully implement BIM. A specific problem is the lack of quantitative proof of the impacts of BIM. The executives and most of the employees within the company are not convinced that BIM brings advantages compared to traditional practices. For top management the most important factor is costs. Providing evidence that BIM can decrease project costs will increase the chance for implementation. Barlish & Sullivan (2012) consulted 600 resources of information for their research, but no data existed on the methodology with which to calculate returns on other projects and how to form a valid comparison of Non-BIM versus BIM methods to extract benefits (Barlish & Sullivan, 2012).

The original research goal for this study was to develop a benchmark instrument for cost estimation and project duration in engineering projects, in order to provide quantitative evidence for the impacts of BIM. During the study a problem with regard to data collection occurred, that was needed for statistical reasons such as clarification of comparison of non-BIM vs. BIM. The data was not available, archived and/or difficult and time-consuming to retrieve. The BIM projects were mainly affected by this problem, but to a lesser extent the non-BIM projects were too. This misfortune resulted in considering a different approach. This approach involves comparing an in-depth look at a specific BIM project with a similar non-BIM project; in which the same factors for the comparison of non-BIM vs. BIM can be used. Therefore a case study will be used and the research goal will be: *Comparing BIM with non-BIM in a case study, based on cost estimation and project duration in housing projects, in order to provide quantitative evidence for the impacts of BIM.* The research goal will be guided by the following main research question:

Can Building Information Modeling provide a decline in project duration and improve project cost estimation, compared to the traditional process?

A main hypothesis for this research is that *BIM reduces project duration and increases the quality of cost estimation, compared to traditional processes.* This main hypothesis will be tested, based on other hypotheses which will be defined later on in this study.

The research will be guided by the following sub-questions, which will result in answering the main research question:

1. *What is BIM and how will it be used in this research?*
2. *Why is BIM not fully implemented yet within the AEC industry?*
3. *What have previous studies on quantifying the impacts of BIM shown, with regard to project duration and cost estimation?*
4. *What factors determine/influence project duration?*
5. *What factors determine/influence the cost estimation process?*
6. *How can BIM and Non-BIM housing projects be compared with each other, regarding project duration and cost estimation?*

1.2.1. Research objectives and limitations

Results of this research contribute in providing quantitative evidence for the impacts of BIM in the AEC industry, from the contractor's point of view. The results obtained from this

research could be used by Ballast Nedam to help further implementation of BIM within the company. Barlish & Sullivan (2012) included a table in their research article that showed the most mentioned benefits of BIM in literature (Barlish & Sullivan, 2012). For this research project duration and project cost estimation will be studied due to limited available time; they belong to the top most mentioned benefits in literature and Ballast Nedam is interested in the impact of BIM on project costs. Cost estimating is a process of predicting the project costs based on the required materials, time constraints and activities; this is critical in construction projects for both scheduling and budgeting. The scope of this research is based on housing projects only. Two projects, a BIM project and a non-BIM project, will be studied and compared based on important identified factors within the case study.

1.3. Research design

The research will be done in stages, which combined will generate a solid foundation for the outcome. The first stage provides a theoretical background by conducting a literature study resulting in the literature review found in chapter 2. The literature study includes current knowledge and existing approaches that contribute to the research topic. From the literature study the most important factors influencing project duration and cost estimation are derived. These factors are qualitative criteria, regarding the benefits of BIM on project duration and cost estimation. The second stage of the research consists of validation of the factors derived in stage one. This is done by checking the consistency of the factors with the views of experts. The validation process will be done with the use of expert interviews. These interviews will be guided by an interview framework, which will be designed by means of pre-interviews. By these pre-interviews, the right questions can be obtained, resulting in a more efficient and effective interview. This validation process will provide information for the conceptual model. The third stage covers the design of the case study. Data will be collected to compare a BIM with a non-BIM project with respect to project duration and cost estimation, based on the factors that will be selected after the interviews with experts. Descriptive statistics will be used to compare BIM with non-BIM, and, where possible, statistical tests will be performed in comparing BIM and non-BIM. The final stage of the research is comprised of the discussion of the results from the case study, followed by the conclusion and recommendations.

1.4. Expected results

BIM has been increasingly used over the last decade. The introduction of COINS, a BIM container-exchange format used for the exchange of information between Rijkswaterstaat and its partners, in 2010 has helped implementation of BIM when working with the government (Rijkswaterstaat, 2010). According to the many qualitative researches done with regard to the impacts of BIM, it is expected that BIM projects and non-BIM projects will differ significantly; in particular resulting in longer project duration for non-BIM projects and a more representative cost estimation for BIM projects. The case study provides the ability to compare a BIM project with a comparable non-BIM project and to test this. In addition, the case study will contribute to quantitative evidence to answer the main research question of this thesis.

1.5. Thesis outline

This first chapter presents the problem with the implementation of BIM in construction companies. The importance of quantifying the added value of BIM with regard to project duration and cost estimation is emphasized. In addition, the research design is explained, including the problem statement, research questions, boundaries and methodology, ending with the expected results.

In chapter two, a literature review is presented. The literature study starts with an abstract, followed by an introduction that, among other things, defines BIM and BIM projects. The introduction is followed by an analysis of the impacts of BIM on the topics project duration and cost estimation, the problems with regard to implementation of BIM within a construction company, and finally a conclusion. The literature review describes prior research and the current situation of the problem and how this research will address this problem.

The third chapter describes the research methodology used for this research. It describes the use of interviews, the case study methodology, how validation and reliability is covered in this research, followed by the analysis methods used.

Chapter four describes the research model used in this thesis. First a description of the concepts in the model will be given, namely the BIM level and BIM applications, followed by an explanation of the two projects used in the case study.

Chapter five uses the data gathered from the literature review and interviews to identify the factors that will be used as input for the case study and defines hypotheses that will be tested in the case study.

The sixth chapter shows the results derived from the conducted case study. These results are discussed in the next chapter, followed by chapter eight, which contains the answers to the research question and sub-questions. After answering the sub-questions, the main research question will be answered, followed by a clarification of the societal, scientific and beneficiary relevance of this research. This chapter will be concluded with recommendations for future research.

2. Literature review

Project duration and cost estimation in housing projects: What is the added value of BIM?

Abstract

There are a lot of definitions of BIM because most researchers try to define BIM in their own terms. In this thesis, the BIM definition incorporates 1) the use of BIM to digitally represent a facility with physical and functional characteristics attached in 3D, 2) the ability to use BIM during the entire lifecycle and 3) a process to reduce errors and improve project success compared to traditional ways. For many years, on-site progress data collection has mainly been paper-based and was reported as one of the major problems causing project delays and cost overruns (Tserng et al., 2014). The design decision-making on building projects critically needs accurate and timely cost feedback. Using BIM could potentially eliminate this threat to the project duration and costs by positively influencing factors that affect project duration and cost estimation. A lot of research has been done on the impact of BIM on project duration and cost estimation, mostly in a qualitative way. BIM can reduce the project duration by, among other things, the cutback of rework (using automated clash detection), early coordination, 4D simulation and automation of quantity take-off. The impact on cost estimation affects both the estimating process and the quality of the cost estimation. Studies have shown that BIM can reduce the process time up to 80% in comparison with the traditional process and generate a more accurate quantity take-off. The implementation of BIM within the construction industry still has a long way to go, mainly due to a lack of knowledge and the conservativeness of the AEC industry.

Keywords: BIM impact, project duration, cost estimation, BIM implementation.

2.1. Introduction

The snowball method/sampling was the main method used in the literature study, where new sources were identified from the reference list of the original sources (Noy, 2008). Besides the snowball method, literature was identified through the use of specific keywords and synonyms to gather as much available literature as possible. The perceived impacts are assessed, followed by a determination of the validity and reliability tests and finally an

analysis into the statistical testing methods which are required in this research is made. Before the assessments are performed, a clear definition of BIM for this study is presented; as such a definition is important in view of the philosophy of the development and is used in assessing what concepts should be measured.

There are a lot of definitions of BIM because most researchers try to define BIM in their own terms. To establish a clear definition of BIM that fits the goal of this research, a combination of BIM defined by The US National Building Information Model Standard Project Committee (2015) and Zuppa, Issa, & Suermann (2009) was used:

"BIM is a 3D digital representation of physical and functional characteristics of a facility. A BIM is a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as the possibility to exist from earliest conception to demolition, and a process for visualizing and coordinating AEC work and avoiding errors and omissions."

This definition is a good representation of the features of BIM as it is considered in this thesis, namely 1) the use of BIM to digitally represent a facility with physical and functional characteristics attached in 3D, 2) the ability to use BIM during the entire lifecycle and 3) a process to reduce errors and improve project success compared to traditional ways. The 3D benefit is important because this is the basis for the 4D and 5D BIM, which represent the scheduling and cost factor integrated in BIM.

In addition, it is appropriate to provide a definition of a BIM-project to show a housing project is considered as a BIM-project. Without such a definition it is not clear which projects are considered as BIM-projects and can be used in this study. This BIM-project definition is the starting point in this thesis and partly based on the views of specialized employees of the BIM & GIS Centrum of Ballast Nedam:

"An engineering project that uses a 3D model for visualization and information exchange through an international IFC-standard within the company and among project stakeholders is considered a BIM-project."

With the international standard IFC (Industry Foundation Classes), BIM can be used multifunctional; parties with different software can therefore process the same data. IFC is a neutral and open file format used for the exchange of construction information. Because IFC is independent, one is not bound by one or more software providers.

2.2. Impact on project duration

For many years, on-site progress data collection has mainly been paper-based and was reported as one of the major problems causing project delays and cost overruns (Tserng et al., 2014). Using BIM could potentially eliminate this threat to the project duration and costs by positively influencing factors that affect project duration and cost estimation. This section reviews literature to determine the impact of BIM on project duration.

2.2.1. Theoretical foundation

An impact of the utilization of BIM on project duration has been mentioned in many sources. Barlish & Sullivan (2012) conducted a literature study of 21 sources, which showed that schedule impacts is the top mentioned impact of BIM implementation (Barlish & Sullivan, 2012). Another literature study of 13 sources showed project duration as the only benevolent impact of BIM (Qian, 2012). A study of 18 leading commercial general contracting firms shows that schedule and cost benefits are in the top 3 mentioned BIM benefits (Farnsworth, Beveridge, Miller, & Christofferson, 2015). The previously mentioned literature studies do not provide any suggestion to the main cause of the reduction of project duration mentioned in the studied sources. Questionnaires among professionals in the AEC industry also often mention the reduction of project duration as an impact of BIM. A survey among 424 respondents working in the AEC industry, which were asked about the impacts of BIM, showed that 58% of the respondents mentioned a decrease in project duration between 0% and 50% (Becerik-Gerber & Rice, 2010). This means, despite the considerable range, that more than half of the respondents experienced a project duration reduction when utilizing BIM. Also, no causes of the reduction are mentioned in this survey. An analysis by the authors does show that schematic and conceptual design phases take remotely longer with the utilization of BIM, but the detailed design phase duration is reduced. A motive for this phenomenon is not given by the authors, but it indicates that the reduction is caused by an increase in activities in the earlier phases. An earlier survey among 2.228 AEC professionals strengthens the findings and analysis of the afore mentioned survey (McGraw Hill Construction, 2009). The respondents of this survey were more inclined to claim that BIM rose project time in the schematic and conceptual design phases, and 42% of the respondents experienced a decline in duration of the detailed design phase. Most of the respondents (63%) experienced a decline of total project duration at the end, but again no cause is mentioned. Nonetheless, the survey report also shows a case study of two towers where schedule optimizations where believed to be realized by a cutback of rework, early coordination and

4D simulations. A literature review by Liu, Al-Hussein, & Lu (2015) shows that scheduling was done by either applying construction sequencing rules to BIM or by performing simulation-based scheduling where BIM delivers quantity take-offs to the process simulation model (Liu et al., 2015). The former approach has an imperfection that resource constraints are generally ignored or implicitly dealt with. Additionally, the simulation-based approach has not yet thoroughly capitalized on the rich product information in BIM models, which results in a substantial amount of human judgement and intervention when sequencing construction and simulation model development (Liu et al., 2015).

The causes mentioned in the case study support the suggestion made earlier, and reveals one of the main causes for project duration reduction with the utilization of BIM, namely the integration and early coordination of work processes. This integration and early coordination is also a main cause for time reduction effects in work methodologies like: concurrent engineering, early supplier involvement and collaborative engineering. Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston (2011) conducted a case study which supports this concept (Eastman et al., 2011). By the utilization of BIM to support early collaboration, constructability analysis and prefabrication, the design of the project was amended which in turn caused an improved field productivity, reduced field effort, and significant reductions in the overall construction schedule.

The surveys show that in practice, the time reduction benefits of integration manifest themselves more strongly as the project progresses, and require supplementary efforts in the early phases. In the current market of engineering projects it is still unconventional to use BIM in the schematic and conceptual design phases, which would designate that the benefits will have to be obtained from the detailed design phase. The scope of this research is fixated on the core business of Ballast Nedam, which is in the detailed design, engineering and construction phases of a project. This denotes that benefits which manifest in later stages will still directly have impact on Ballast Nedam.

The case studies presented another cause for project duration reduction with the utilization of BIM, namely the optimization of work processes themselves. For example: the construction schedule can be enhanced with the use of 4D simulations (Becerik-Gerber & Rice, 2010; Eastman et al., 2011; McGraw Hill Construction, 2009), quantity take-off can be automated which reduces the arduous task of manual extraction of these quantities from 2D drawings (Eastman et al., 2011; Hartmann, Van Meerveld, Vossebeld, & Adriaanse, 2012) and

automated clash detection reduces the time probing for clashes between different disciplines (Eastman et al., 2011).

Findings of the impact of BIM on project duration are summarized in Table 1.

Table 1: Impact of BIM on project duration

Impact of BIM on project duration	Source
Reduction in project duration	(Barlish & Sullivan, 2012), (Qian, 2012), (Farnsworth et al., 2015), (Eastman et al., 2011)
Reduction of the detailed design phase	(Becerik-Gerber & Rice, 2010), (McGraw Hill Construction, 2009)
Cutback of rework (automated clash detection)	(McGraw Hill Construction, 2009), (Eastman et al., 2011)
Early coordination	(McGraw Hill Construction, 2009), (Eastman et al., 2011)
4D simulation	(Becerik-Gerber & Rice, 2010), (Eastman et al., 2011), (Liu et al., 2015), (McGraw Hill Construction, 2009)
Automation of quantity take-off	(Eastman et al., 2011), (Hartmann et al., 2012)

2.2.2. Case study input

The literature from the previous section shows that it is likely that measurements of the impacts of BIM are mostly based on personal experiences. Data is retrieved from individual sources by means of qualitative interviews, surveys among industry professionals or the personal experience of the authors. These methods empower the researcher to identify if an impact of BIM on project duration can be postulated without having to go into detailed project and process specifics. The individual reports all give similar conclusions, leading to validation of the results. The approach however is prone to a form of bias or subjectivities, because the result strongly depends on the type and formulation of questions, the recollection of events by the subjects and the sampling technique used. Additionally, the method does not show empirical data on the extent to which BIM impacts project duration. Gilligan & Kunz (2007) suggest that the perception of great value by BIM users in qualitative methods, in the face of a general lack of quantitative data, is a by-product of the complex nature of the construction process (Gilligan & Kunz, 2007, p. 13). However, the lack of empirical data, and the subjectivity of personal experience results in a form of uncertainty, which causes dilemmas for users regarding the decision to utilize BIM or not (Barlish & Sullivan, 2012).

It is interesting that there have been few endeavors to consistently measure the impact of BIM on project duration in order to present empirical and clear data. Quantifiable results might not be completely replicable on every project, but this should not demoralize researchers or companies to make those endeavors. Birx (2005) presents in his article the impact of BIM on the amount of man-hours for projects in his architectural firm; his data however is based on a one-time experience and therefore of little scientific value. Giel, Issa, & Olbina (2010) performed two comparative case studies in which they analyzed the return of investment of BIM, and used “BIM preventable time overrun” in their calculations. However, the scope of the research was not to analyze the impact of BIM on the project duration, and so an accurate evaluation of the causes for the time overrun within the projects is not included. In the case study done by Azhar, Hein, & Sketo (2008), participants estimated the schedule impacts based on the amount of conflicts resolved during 3D coordination meetings (Azhar et al., 2008). Unfortunately, the framework on which the estimations were based is not mentioned. Barlish & Sullivan (2012) also discovered a lack of consistency in empirical data concerning BIM impacts, and developed a framework to measure the most quantifiable impacts. The impact of BIM on schedule change was one of the impacts measured. The authors applied this framework on multiple similar case studies, some implementing BIM and some executed by the use of traditional methods. As measurement method the authors used the actual duration versus the standard duration of projects. They report the values in percentage change, in order to promote a valid comparison with further research (Barlish & Sullivan, 2012). A similar approach was used by Gilligan & Kunz (2007) in their case study to assess the reduction in project duration (Gilligan & Kunz, 2007). Although this method does result in empirical data, some points of attention should be noted.

The first complication with the method is that projects are never identical; therefore, standard project duration does not exist. Nevertheless, design, engineering and construction projects are heavily depended on the expected duration, as the duration plays a big role in the estimated costs and the proposed payment schedule. Currently, estimates are used to generate the expected duration of projects, which in turn are based on the accumulated knowledge of different disciplines within the company. A project leader will be assigned when a company decides to tender for a proposal. The project leader will use different disciplines within the company to collect the estimates of the work to be done and forms the final estimation and offer (lavèn & Costermans, 2012). The resulting estimate is interpreted as the best

prognostication of the actual project duration, and could therefore be defined as the standard project duration for that particular project when executed by the estimating company. With this interpretation, the method used by Barlish & Sullivan (2012) should be changed to actual duration versus estimated duration, where the estimated duration is the project duration based on company and project team experience without the utilization influence of BIM. This also complies with the method used in Gilligan & Kunz's (2007) case study. However, the terminology or interpretation does not change the fact that estimation is not impeccable, and can still be deficient.

A second difficulty is that implementation of BIM is not the only factor that impacts the actual project duration. Gilligan & Kunz (2007) state “There are simply too many variables to be able to attribute success on a single project to one specific part of that project” (Gilligan & Kunz, 2007, p. 13). Other factors could include social and environmental changes, but also strategic decisions or financial decisions. The impact of these factors are difficult to quantify, and therefore difficult to account for in the analysis.

It is however possible to mitigate both of these difficulties within statistical analysis, when sufficient empirical data is collected. By using valid assumptions and careful evaluation, the probability of an impact of BIM on the individual project duration can be increased until enough data is collected for statistical justification. The measurement input for project duration is show in Table 2. The input is based on both (Barlish & Sullivan, 2012) and (Gilligan & Kunz, 2007) and slightly modified as mentioned earlier in this section.

Table 2: Measurement input for project duration

Measurement input	Based on
Comparing the estimated project duration with the actual project duration	(Barlish & Sullivan, 2012) & (Gilligan & Kunz, 2007)

2.2.3. Factors influencing project duration

The previous sections show approaches for analysis on how to measure the impact of BIM on project duration. From this analysis, a proposal to compare the estimated project duration made by the company with the actual project duration was defined. This comparison would result in a graph which would show the variation of actual project duration vs. the estimated project duration. This comparison would then be executed for both BIM and non-BIM projects and the two resulting graphs would be analyzed on difference to see how BIM impacts the variations of project duration versus the estimation. Besides this overall

approach, specific factors influencing project duration should be compared. Mezher & Tawil (1998) identified cash problems during construction, design changes and availability of drawings as main factors influencing project duration (Mezher & Tawil, 1998). A survey among 130 public projects showed that 106 out of 130 projects were delayed due to poor designs, change orders, weather, site conditions, late delivery, economic conditions and increases in quantity (Al-Momani, 2000). Elinwa & Joshua (2001) conducted a study in Nigeria which revealed that the mode of financing and payment for completed works, improper scheduling and under estimation of project duration were among important factors causing delays in project duration (Elinwa & Joshua, 2001). A study by Kumaraswamy and Chan (1998) indicated that six common significant factors for both building works and civil engineering projects were poor site management and supervision, low speed of decision making involving all project teams, client initiated variations, necessary variations of works and inadequate contractor experience (Kumaraswamy & Chan, 1998; Othman, Torrance, & Hamid, 2006). Construction speed was claimed to increase with an increase in project size, and project standard ($\text{€ building construction costs/m}^2$ gross external floor area) also being a relevant driver, but these statements were only supported by assumptions and interpretation (Stoy, Dreier, & Schalcher, 2007). Communication is also a frequently mentioned benefit of BIM and is also a potential influential factor.

To make sure there are enough BIM projects available for analysis, the central limit theorem is consulted for normal approximations. This theory implies that if the sample size is larger than 30, the distribution is approximately normal. This theory is important because it allows researchers to approximate the distribution of certain statistics, even when they know very little about the underlying sampling distribution (The University of Alabama, 2015). This will be elaborated later when describing the statistical assumptions.

2.3. Impact on cost estimation

The design decision-making on building projects critically needs accurate and timely cost feedback. During the early phases of a design, the design often contains incomplete information and is still evolving and changing, which is why the job of an assessor is challenging (Lawrence, Pottinger, Staub-French, & Nepal, 2014). As mentioned earlier, BIM could potentially eliminate threats to the project duration and costs by positively influencing

factors that affect project duration and cost estimation. This section reviews literature to determine the impact of BIM on cost estimation.

2.3.1. Theoretical foundation

Integration of 3D design and the cost estimation process is another often mentioned impact of BIM. A survey shows that 41% of the frequent users of BIM (four or more projects) experience added value with the use of BIM for cost estimation (McGraw Hill Construction, 2009). With the integration of design and costs, the existing electronic information embedded in the design is utilized more efficient, which improves the cost estimation process (Staub-French & Fischer, 2001). As mentioned earlier, a study of 18 leading commercial general contracting firms shows that schedule and cost benefits are in the top 3 mentioned BIM benefits (Farnsworth et al., 2015). Cost estimations made by using BIM are found to be more accurate (Azhar et al., 2008; Gilligan & Kunz, 2007; Gao & Fisher, 2008; Eastman et al., 2011; Shen & Issa, 2010) and done much quicker (Azhar et al., 2008; Gao & Fisher, 2008; Staub-French & Fischer, 2001; Niknam & Karshenas, 2015) than with traditional methods. With utilization of BIM, assessors can focus more on the core tasks like calculation of cost effects due to change instead of time consuming tasks like quantity counting, due to the ability of BIM to automate the estimation process (Peterson, Fischer, & Tutti, 2009). Additionally, BIM allows for estimates to be more accurate earlier in the process, and can therefore be used in the design process as a tool to evaluate design decisions based on costs (Eastman et al., 2011; Staub-French & Fischer, 2001).

The cost estimation is a specific process and product within construction projects, and can have far reaching consequences. A decline in risk for overpaying or getting underpaid and making better supported design decisions, are due to an increase in estimation precision. Research is mainly focused on this aspect of the BIM impact. The estimation process in general consists of four steps (Staub-French & Fischer, 2001). First, 2D drawings and specifications are analyzed to determine the scope of work and identify critical design properties that affect the costs. Second, cost as assemblies are made corresponding to the to-be-estimated components. For example, the component “paintwork” could have an assembly with materials, labor and equipment costs per square meter. Third, the quantity of the different components is calculated and estimated using the specifications and drawings. This is known as the quantity take-off. The total project costs can then be estimated with the quantity take-off and cost assemblies, and elements like profit, overhead and risk added. A picture from Fallon & Palmer (2007) illustrates the 2D vs. 3D cost estimating for a project,

shown in Figure 2. This process is similar to the estimation process of Ballast Nedam, and shows the two major components of cost estimation, namely: the quantity take-off and the cost assemblies. In most traditional projects, the goal of the cost estimation made is to be a reference against cost estimations made by other contractors. Contractors are able to make different cost assemblies based on their internal schedule or agreements with sub-contractors and suppliers. The quantity take-off directly represents the work to be made in such projects, and is therefore less affected by the contractor's choices. So the major impact of BIM on the estimation process would be the automation of the quantity take-off.

The survey mentioned earlier also found that 51% of the frequent users of BIM (four or more projects) experience added value with the use of BIM for quantity take-off, and that engineers are most likely to experience benefits of utilizing BIM for the quantity take-off (McGraw Hill Construction, 2009; Farnsworth et al., 2015). Computer generated quantities are more precise, less prone to human error and the process is faster (Staub-French & Fischer, 2001; Cha & Lee, 2015; Ma, Wei, & Zhang, 2013; Zhiliang, Zhenhua, & Xiude, 2011; Marzouk & Hisham, 2014). Another benefit is that the quantity take-offs can be used more easily in validation and verification processes. Quantities are directly extracted from the model and therefore represent all the elements described in the model, which can be used as validation of design intent (Staub-French & Fischer, 2001; Gilligan & Kunz, 2007).

Findings of the impact of BIM on cost estimation are summarized in Table 3.

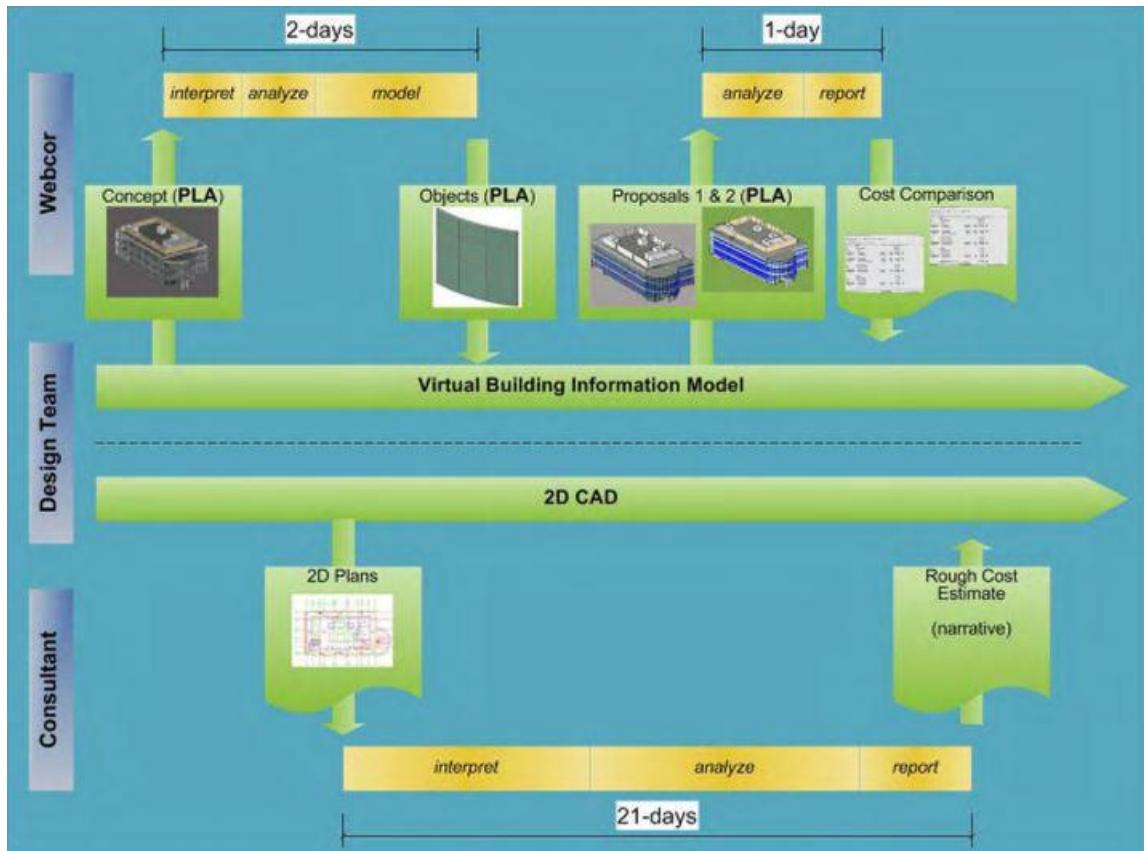


Figure 2: 2D CAD vs 3D BIM cost estimation (Fallon & Palmer, 2007)

Table 3: Impact of BIM on cost estimation

Impact of BIM on cost estimation	Source
Improved cost estimation process	(McGraw Hill Construction, 2009), (Staub-French & Fischer, 2001), (Peterson et al., 2009)
More accurate cost estimation	(Azhar et al., 2008), (Gilligan & Kunz, 2007), (Gao & Fisher, 2008), (Eastman et al., 2011), (Shen & Issa, 2010), (Staub-French & Fischer, 2001), (Cha & Lee, 2015), (Ma, Wei, & Zhang, 2013), (Zhiliang, Zhenhua, & Xiude, 2011), (Marzouk & Hisham, 2014)
Reduction in required cost estimating time	(Azhar et al., 2008), (Gao & Fisher, 2008), (Staub-French & Fischer, 2001), (Niknam & Karshenas, 2015), (Cha & Lee, 2015), (Ma, Wei, & Zhang, 2013), (Zhiliang, Zhenhua, & Xiude, 2011), (Marzouk & Hisham, 2014)
Improved quantity take-off	(McGraw Hill Construction, 2009), (Farnsworth et al., 2015)
Easier use of quantity take-offs in validation and verification processes	(Staub-French & Fischer, 2001), (Gilligan & Kunz, 2007)

2.3.2. Case study input

From the theoretical foundation it is predicted that BIM will impact the estimation process time and the estimation accuracy, with the quantity take-off accuracy in particular. Several articles describe studies about measurement of the impact on the estimation process. These articles report a reduction of time up to 80% in comparison with the traditional process (Azhar et al., 2008; Staub-French & Fischer, 2001). For this research, the impact on time will be explored together with other impacts on cost estimation. Furthermore, case studies reveal a correlation between the project complexity and the impact of BIM on the estimation process time (Meerveld, Hartmann, Adriaanse, & Vermeij, 2009; Shen & Issa, 2010). As project complexity varies per project, the impact on the estimation process time would vary, but this effect is expected to be less for accuracy measurements. The possibility to explore different design alternatives is also limited according to Staub-French & Fischer (2001), as only a change in quantities or cost assemblies can be measured.

Besides the time factor, several articles also studied the measurement of the impact of BIM on the accuracy of the cost estimation. The measurement is usually done in relation to the actual project costs. Reports show an accuracy of the estimation between 0.6% and 3% of the actual costs (Gilligan & Kunz, 2007; Azhar et al., 2008). Gao & Fisher (2008) propose to measure the accuracy of cost estimation by measuring the variation between cost items and the final cost within a 95% confidence interval. Shen & Issa (2010) also propose to measure the deviation from the correct value, but determine the percentage of the cost items that fall into a similar category, divided into 5% intervals. However, cost variations between the estimation and the real value can also be caused by unforeseen events at the time of the estimation process. This is one of the reasons why contingency costs are integrated in a final estimation. It can be argued that it is more meaningful to know how accurate the cost estimation represents the final design than how accurate it represents the final costs, especially for a construction engineering firm like Ballast Nedam. The accuracy of such an estimation would highly depend on how well the quantity take-off represents the final design. Staub-French & Fischer (2001) do mention that in their case study they did find “several quantity take-off errors in comparison with the traditionally generated estimate” (Staub-French & Fischer, 2001, p. 52-53). Other examples of measuring the accuracy of quantity take-offs are not known. Another benefit of acquiring accurate computer based quantities is that the quantity take-off becomes more transparent and is reproduced easier. The

measurement input for project duration is shown in Table 4. The input is based on (Gilligan & Kunz, 2007; Azhar et al., 2008; Gao & Fisher, 2008; Shen & Issa, 2010).

Table 4: Measurement input for cost estimation

Measurement input	Based on
Comparing the estimated costs with the final costs	(Gilligan & Kunz, 2007), (Azhar et al., 2008), (Gao & Fisher, 2008), (Shen & Issa, 2010)

2.3.3. Factors influencing cost estimation

The previous section analyzes the approaches to measure the impact of BIM on cost estimation. It proposes that the most appropriate way to measure this impact in an engineering firm is by analyzing if the quantity take-off from a BIM model represents the final design better than through traditional methods. This analysis should be done through an approach similar to Staub-French & Fischer (2001), which means comparing the quantity take-off made from a BIM to the quantity take-off made through traditional methods.

A limitation to this approach is that it will remain unknown what the “true” quantity take-off from a design is. Both BIM and traditional methods of quantity take-off require human work, and are therefore both affected by human errors. A BIM take-off is only as good as the model from which it is made, which is made by humans, and a traditional method is only as good as the person doing the quantity take-off. When a direct comparison between a BIM take-off and a traditional take-off is made, like Staub-French & Fischer (2001) did, it already assumes that the BIM take-off is closer to the “true” take-off than the traditional method.

2.4. BIM implementation within a construction company

Based on the previous sections of the literature review, interviews conducted within Ballast Nedam and opinions gathered within the department of Bouwtechniek of Ballast Nedam Engineering, several arguments for BIM not being fully implemented yet can be identified. Table 5 shows the limiting factors for BIM implementation, the sources they were identified from and the frequency of mentioning in the interviews and by conversations with employees.

Table 5: Factors limiting BIM implementation

Factor	Literature	Interviews/ opinions (I/O)	Frequency I/O
Lack of knowledge about BIM and its advantage	✓	✓	15
No sense of the financial impact of BIM, or a limited one (due to among others, the learning curve at first implementation, which increases costs at start but decreases over time)	✓	✓	12
Client restrictions: the client can choose to not use BIM (implementation within a company is just one step, ideally the entire industry should implement BIM)		✓	8
Conservativity of the AEC industry	✓	✓	6
Not enough capital available to invest in BIM		✓	5
Generation gap; older employees struggling more with switching their ways of working, compared to younger employees		✓	4
Not enough support at board level		✓	3
BIM as a threat to jobs; nescience that jobs could change when BIM is implemented		✓	2

2.5. Conclusion

A lot of research has been done on the impact of BIM on project duration and cost estimation, mostly in a qualitative way. BIM can reduce the project duration by, among other things, the cutback of rework (using automated clash detection), early coordination, 4D simulation and automation of quantity take-off. The impact on cost estimation affects both the estimating process and the quality of the cost estimation. Studies have shown that BIM can reduce the process time up to 80% in comparison with the traditional process and generate a more accurate quantity take-off.

The impact of BIM on project duration can be measured in several ways. One way is by comparing the estimated project duration with the actual project duration. Besides this comparison, factors influencing project duration have been identified, that can be used to measure the impact of BIM. These factors have been identified in section ‘2.2.3 Factors influencing project duration’, and are listed on the left side of Table 6. The first filtering of

factors to be used for the interviews has been done based on the measurability of the factors. In addition, some factors have been merged. The result is shown on the right side of Table 6.

Table 6: Factors influencing the project duration

Factors prior to filtering	Factors after filtering
Cash problems during construction	Design changes
Design changes	Availability of drawings
Availability of drawings	Contract variations
Change orders	Weather
Weather	Late delivery
Late delivery	Bad or underestimated scheduling
Site conditions	Low speed of decision making
Economic conditions	Communication
Increase in quantity	
Bad or underestimated scheduling	
Mode of financing and payment	
Poor site management and supervision	
Low speed of decision-making	
Contract variations	
Inadequate contractor experience	
Communication	



The impact of BIM on cost estimation can be measured in three ways: 1) by analyzing the length of the cost estimation process, 2) by comparing how well the quantity take-off represents the final design and 3) by comparing the estimated costs with the final costs.

The implementation of BIM within the construction industry still has a long way to go, based on the literature and interviews within Ballast Nedam. The main limitations seem to be the lack of knowledge about BIM and its financial impact, which is linked to absence of support at board level. Besides the lack of knowledge, the restrictions a company has with regard to its project partners and the client play significant role. Being the only one working with BIM, while the other project partners are working in a traditional way, will not generate many benefits and might even raise costs rather than decreasing costs, apart from the client not wanting to work with BIM as a standard. This is a typical example of how conservative the AEC industry actually is.

3. Research methodology

The literature study identified the impact of BIM on project duration and cost estimation and also identified factors that influence project duration and cost estimation. These factors will be validated and possibly complemented with other factors. This chapter describes how semi-structured interviews play their role in this task. Additionally, the case study method will be elucidated, validation and reliability of the data is explained and the way of analyzing the results from the case study is elaborated on.

3.1. Semi-structured interviews

In section ‘1.3 Research design’, the use of interviews with experts was defined. Interviews can be divided into different types like informal interviewing, unstructured interviewing, semi-structured interviewing and structured interviewing (Bernard, 2006). Informal interviewing is done without any control or structure where the researcher tries to remember as much possible from conversations during a specific time period. This method is mostly used at the beginning of participant observation fieldwork and in ethnographic studies. A more formal way of interview is the unstructured interviewing, which is based on a clear plan with a minimum of control over responses of the interviewees. A common field of application of this method is ethnographic studies and situations with plenty of available time and possibilities to interview people on many separate occasions. For situations where it is not possible to interview a person multiple times, the semi-structured interviews are used. This type of interviewing is based on the use of an interview guide. This guide contains all questions and topics that need to be covered in the interview in a particular order, but there is room for discretion to follow leads during the interview. The last method of interviewing is the structured interview. Interviewees should respond to a nearly identical as possible set of stimuli, based on an interview schedule. A frequently used way of structured interviews is an orally administered questionnaire (Bernard, 2006).

For this research only semi-structured and structured interviews are potentially useful. The structured interview is a quantitative research method. The interview requires a fixed set of questions that usually involve a number of arbitrary answers which the interviewee has to choose from. The structured interview resembles a self-administered questionnaire, but includes the advantage to clear out any queries utilizing the interviewer (Cachia & Millward,

2011; Bernard, 2006; Cornell, Johnson, & Schwartz, 2013). The collected data can be easily quantified and compared between respondents (Cachia & Millward, 2011; Cornell et al., 2013). However, this method is not suitable for an inductive approach since the areas of exploration are limited to the topics included in the interview schedule (Cachia & Millward, 2011).

The semi-structured interview is, opposed to the structured interview, a qualitative research method and is actually characterized by elements of both structured and unstructured interviews. A fixed set of sequential questions is used as an interview guide but additional questions can be introduced to promote further analysis of issues brought up by the interviewee, therefore almost taking the form of a managed conversation (Cachia & Millward, 2011; Sankar & Jones, 2015). Farr (1984) describes it as “a peculiar form of conversation in which the ritual of turn-taking is more formalized than in the commoner and more informal encounters of everyday life” (Farr, 1984, p. 182). The data gathered with a semi-structured interview is more flexible than data gathered from strictly quantitative studies. The data can run the spectrum from statistical to descriptively and in-depth (Sankar & Jones, 2015). Besides trying to collect as much information on the examined circumstance as possible, the role of the interviewer is to put the interviewee at ease, establishing rapport while maintaining control of the discussion (Brewerton & Millward, 2001).

The semi-structured interview will be used in this research because this method supports the research goal best. It will give the interviewee and interviewer more freedom and the different staff members will possibly have a different opinion about some subjects and might have some extra information supporting their point of view. The interview design is added in Appendix A: Interview design.

To select the right people as experts, expert sampling is applied. Expert sampling is an example of purposive sampling and is a non-probability method. The sampling method is used to gather a group of persons with known and provable experience and expertise in a specific area. Expert sampling is often used for two reasons, namely to elicit views of people with specific expertise or for validation (Trochim, 2006). For this study the experts are consulted for both reasons. Their views are used to define factors not found in literature and to test if the factors from the literature study correspond with the expert's view.

The selection criteria for choosing the experts to interview are:

- Must have at least 8 years of experience in his/her field of work;
- Must be recommended by the Ballast Nedam supervisors as an experienced person;
- Experience must be in the field of construction;
- Experts must be geographically distributed on a national level, to cover different markets/regions;
- Expert functions should preferably (not mandatory) be distributed at national level (e.g. not having two assessors at the same company location).

3.2. Case study method

The case study methodology (CSM) has had a long history in many disciplines (Freeman, Baumann, Fisher, Blythe, & Akhtar-Danesh, 2012). A case study is the most appropriate investigation method for the business benefits of new technologies, when compared to the formal experiment and survey (Barlish & Sullivan, 2012). Some consider CSM as a qualitative method, which is not entirely true because CSM utilizes both qualitative and quantitative research methods (Bryar, 2000). It can be used for data driven decision making and analysis of complex real world scenarios. A major strength is its reliance on multiple data collection techniques and data sources, which increase the validity of findings (Ridenour & Newman, 2008). Some consider case study as a methodology, others as a choice of what is to be studied. The former is how it is seen in this research. CSM has been given multiple definitions and the term case study is used inconsistently in scientific literature. Thomas (2011) defines case studies as “... analyses of persons, events, decisions, periods, projects, policies, institutions, or other systems that are studied holistically by one or more methods. The case that is the subject of the inquiry will be an instance of a class of phenomena that provides an analytical frame — an object — within which the study is conducted and which the case illuminates and explicates.” (Thomas, 2011, p. 513). This definition best fits the goal of this research.

The ideal scenario for the case study would be to study a project that has been realized using BIM and the same exact project realized without any knowledge of BIM. Obviously this is not a realistic scenario, because this would result in high costs. Therefore a project realized with BIM and a comparable project realized without the use of BIM will be studied. To ensure that the results will be comparable, the two projects selected for the case study should

be as similar as possible in terms of the type of contract, construction type, size, scope and project costs.

3.3. Validation and reliability

3.3.1. Validation

Validation is checking whether a conclusion, inference or proposition corresponds to reality. Four types of validity can be identified; conclusion, internal, construct and external validity. See Figure 3 for an illustration of the four validity types. It is also common to have conclusion validity as part of internal validity, resulting in three validity types.

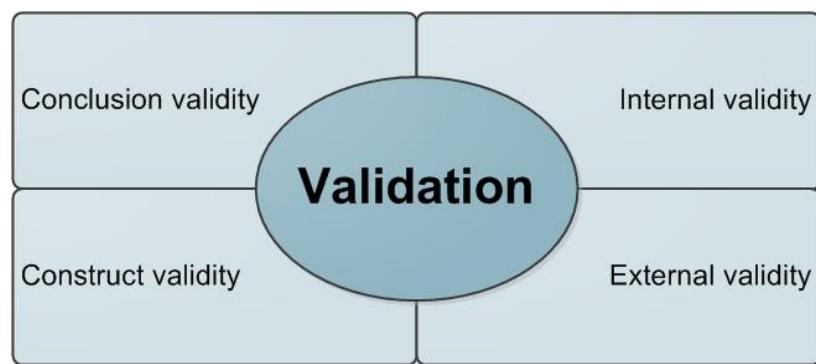


Figure 3: Types of validation

When validating in research, two realms are involved. The first one is the realm of theory, which goes on in the mind of the researcher and is about how certain things work according to the researcher's theory. The second one is the realm of observation, which translates the theory of the researcher. Figure 4 shows a schematic representation of these two realms and their cohesion. The operationalization describes the process of translating the construct into its manifestation.

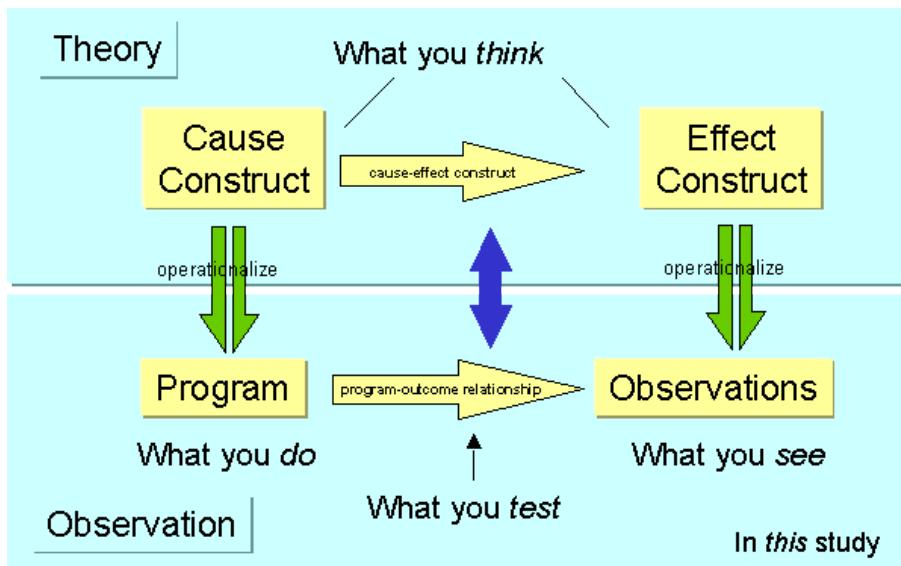


Figure 4: Realms of validation (Trochim, 2006)

External validity

The external validation is part of sampling validity and refers to generalizing the findings within the sample group, towards a larger population. It refers to how the conclusions from the study would hold for other studies with different parameters. External validity will become stronger the more times a study is replicated (Trochim, 2006).

For this research, the case study methodology is used. One BIM project and one non-BIM project will be studied and compared. Because it is only based on one comparison, no generalizations can be made towards the entire population and therefore there will be no external validity.

Construct validity

Construct validation is part of measurement validity and is the estimated truth of the conclusion that your operationalization accurately reflects its construct. It is somewhat similar to external validation, in the way that it is about generalization. The difference is in what is generalized; in external validation it is about generalizing from your study context towards other people, places or times, the construct validity generalizes from the program or measures to the concept of the program or measures. There are several ways to demonstrate different aspects of construct validity. Trochim (2000) divides construct validity into two validity types, namely translation validity (face and content validity) and criterion-based validity (predictive, concurrent, convergent and discriminant validity) (Trochim, 2006). Face and content validity focus on whether the operationalization is a good reflection of the

construct. The criterion-based validity focusses on whether the operationalization behaves the way it should, given the theory of the construct.

For face validity, the researcher looks at the operationalization and determines whether it “looks” like a good translation of the construct. This way of validating is very subjective and therefore the weakest way of demonstrating construct validity. A way to improve the quality of face validity is by expert judgement. Content validity checks the operationalization against the content domain for the construct. The operationalization should contain all the criteria determined in the construct (Trochim, 2006).

Predictive validity assesses whether the operationalization is able to predict something it should theoretically be able to predict. Concurrent validity assesses if the operationalization is able to distinguish between groups it should theoretically be able to distinguish between. Convergent validity assesses the degree to which the operationalization is similar to another operationalization that it theoretically should be similar to. Discriminant validity assesses the degree to which the operationalization is not similar to another operationalization that it theoretically should not be similar to. Convergent and discriminant validity work together, which means that if there is evidence of both convergent and discriminant validity, there is evidence for construct validity. But, neither one alone is enough for confirming construct validity. To rate the degree to which two measures are related to each other, the correlation coefficient is used. The correlation between theoretical similar measures should be high, while the correlation between theoretical dissimilar measures should be low. A problem that could occur is the values represented by “high” and “low”. It could be said that convergent correlations should always be higher than discriminant correlations (Trochim, 2006).

Construct validity will not be analyzed in this thesis because the factors that will be used are identified from the literature study and interviews with experts. Therefore these factors are assumed to be correct thanks to previous published studies and the expertise of the interview participants.

Internal validity

Internal validation is used to assess the estimated truth about conclusions regarding causal relationships, which means this validity is only relevant in studies that try to confirm a causal relationship. The goal of internal validity is whether the observed changes can be associated to the cause and not to other possible causes (Trochim, 2006).

Conclusion validation is part of the internal validity and is used to assess the degree to which conclusions reached about relationships in the data are reasonable. Conclusion validity is only concerned with whether there is a relationship given the data, and does nothing with possible causes. This means that it is possible, for example, to have conclusion validity but miss internal validity (a confirmed relationship between BIM and outcome, but the outcome caused by some other factor than BIM) (Trochim, 2006).

For this research only the design changes can be internally validated, which will be discussed later. A test statistic (Mann-Whitney U) will be used to check the internal validity claim.

3.3.2. Reliability

The reliability represents the quality of measurements in the way that it shows the consistency or repeatability of the measures (Trochim, 2000; Helms, Henze, Sass, & Mifsud, 2006). This means the results should remain the same as long as that what is being measured is not changing. Because the data used in the case study are actual results from completed projects, with complete access to this data, it is considered to comply with reliability.

3.4. Analyzing the results

This section describes how the results of the statistical tests are analyzed, what assumptions are made and how and if they are met.

3.4.1. Assumption of normality

The T-test requires the data to be normally distributed. The central limit theorem implies that if the sample size n is “large”, then the sample mean is approximately normal. The central limit theorem is of fundamental importance, because it means that we can approximate the distribution of certain statistics, even if we know very little about the underlying sampling distribution. Of course, the term “large” is relative. Roughly, the more abnormal the basic distribution, the larger n must be for normal approximations to work well. The rule of thumb is that a sample size n of at least 30 is usually sufficient if the basic distribution is not too weird; although for many distributions smaller n will do. (The University of Alabama, 2015)

Testing the normality of a distribution can be done by several approaches:

- Graphical review of the distribution
- Analyzing the skewness and kurtosis
- Statistical testing

The graphical testing can be done by the use of a histogram, QQ plot and box plots. The histogram-test simply consists of looking at the histogram and observing whether it approximates the bell curve of a normal distribution. A QQ plot is a scatter diagram of the data set with a diagonal line. The scatter diagram is in ascending order and if these points on the scatter plot align with the diagonal line, the data set matches the distribution. Box plots cannot actually test normality, but can be used for testing symmetry, which often is a sufficient substitute for normality. These graphical tests are still somewhat prone to bias and should therefore not be used exclusively.

Another form of testing for normality is by analyzing the skewness and kurtosis. Skewness is used to measure symmetry, or the lack of symmetry. A distribution, or data set, is symmetric if it looks the same to the left and right of the center point. Kurtosis is a measure of whether the data are peaked or flat relative to a normal distribution. Thus, data sets with high kurtosis tend to have an apparent peak near the mean, decline rather rapidly, and have heavy tails. Data sets with low kurtosis on the other hand, tend to have a flat top near the mean rather than a sharp peak. In a normal distribution these two parameters have a value of zero. If the distribution is tested for normality, these values should be close to zero. Negative values for the skewness indicate data that are skewed left and positive values for the skewness indicate data that are skewed right. Negative values for the kurtosis indicate a flat top, whereas positive values of kurtosis indicate a sharp peak of the distribution. Field (2009) suggests calculating the Z-scores of both skewness and kurtosis. This is done by dividing the skewness or kurtosis by its standard error (SE) (see Equation 1). These scores can be used to assess if the data is significantly skewed or shows kurtosis. These scores are compared to the significance scores of the z-distribution, which is +/- 1.96 for a two-tailed significance value of $p = 0.05$. This significance value is common in scientific literature. Therefore, the skewness and kurtosis z-scores should range between -1.96 and 1.96 to comply with the assumption of normality, meaning the data is not skewed or showing kurtosis.

$$Z_{skewness} = \frac{skewness}{SE_{skewness}} \quad Z_{kurtosis} = \frac{kurtosis}{SE_{kurtosis}} \quad (\text{Equation 1})$$

The most well-known statistical tests for normality are the Kolmogorov-Smirnov test and the Shapiro-Wilk test. Howell (2012) warns that using these methods could provide wrong results, especially the Kolmogorov-Smirnov test, which is old and not reliable (Howell,

2012). Therefore, this research will test the assumption of normality graphically and by the use of z-scores of skewness and kurtosis.

3.4.2. Assumption of homogeneity of variance

Another requirement for a T-test is that both groups should have the same or similar variances. The F-statistic is used and is robust to the assumption, as long as group sizes are equal, and is extremely sensitive to the normality assumption (Parra-Frutos, 2009). If group sizes are highly unequal and homogeneity of variance is violated, then the F-statistic is considered liberal when large sample variances are associated with small group sizes. When this occurs, the statistic value (p-value) exceeds the level of significance (α). This indicates that the null hypothesis is being falsely rejected. On the other hand, the F-statistic is considered too conservative if large variances are associated with large group sizes. This would mean that the actual p -value is less than the level of significance. This does not cause the same problems as falsely rejecting the null hypothesis; however, it can cause a decrease in the power of the study.

A common statistical test for homogeneity of variance is the Levene's test (Howell, 2012; Field, 2009; Parra-Frutos, 2009). Levene's test is a parametric test and is presented with the F-statistic to compare the absolute difference between an observation and the group mean. The null hypothesis states that the variances between the groups are equal. When the p -value is less than 0.05, it indicates a violation of the assumption of homogeneity of variance. The independent samples T-test in SPSS has a built in correction for when the assumption of homogeneity of variance is violated. This ensures that T-test reliable with and without equal variances.

3.4.3. Assumption of independence

The assumption of independence indicates that there is no relation between occurrence of one event and that of another. If the assumption is met it is assumed that the events are retrieved independently from one another. For this research, a project done via traditional methods and a project that used BIM are studied. These projects are entirely independent from each other and therefore this assumption is met.

3.4.4. Effect size

The effect size tells the researcher something about the raw difference between group means, or absolute effect size, as well as standardized measures of effect, which are calculated to transform the effect to an easily understood scale. Effect size is the main finding of a

quantitative study (Sullivan & Feinn, 2012). The statistical significance (*p*-value) as a result of a comparison shows the researcher whether an effect is significant or not, but will not reveal the size of that effect. The effect size is also known as the substantive significance. While statistical significance depends on both sample size and effect size, effect size is independent of sample size. For this reason, *p*-values are considered to be confounded. This enables the possibility that results may show significance but only because of a very large sample size, while in fact the difference in outcomes between the groups is negligible (Sullivan & Feinn, 2012). Some authors are nowadays insisting on reporting an effect size (Howell, 2010, p. 104).

A general distinction can be made between two types of effect size measures. One type measures the mean difference effect size; the other type measures the covariation between variables of interest effect size. For this study, the mean difference effect size is required, which is “calculated as the difference between the means on the same measure (obtained under different conditions) divided by the standard deviation for the mean scores which yields a standardized effect size” (Dunst & Hamby, 2012, p. 92). The most frequently used measure for mean difference effect size is Cohen’s *d* (Dunst & Hamby, 2012; Howell, 2010). Cohen classified the effect sizes from small to large for increasing *d* values (see Table 7) (Dunst & Hamby, 2012; Sullivan & Feinn, 2012).

Table 7: Cohen's benchmarks for interpreting effect size estimates

Benchmarks	Mean difference effect size (<i>d</i>)
Insignificant	0.00 – 0.019
Small	0.20 – 0.49
Medium	0.50 – 0.79
Large	0.80 +

4. Model design

The literature study resulted in factors that influence the impact of BIM. These impacts will be validated by semi-structured interviews with experts. The results of the interviews and therefore the input for the case study with regard to the variables/factors, will be discussed in chapter 5. First, a description of the concepts in the model will be given, namely the BIM level, BIM application and the case study. This chapter ends with a model description.

4.1. BIM level

To provide guidance with regard to the communication about the implementation of BIM, the Bouw Informatie Raad (BIR) came up with a model regarding the Dutch BIM levels (Bouw Informatie Raad, 2014). This model is a translation of the BIM maturity model, established by the UK BIM Taskforce, into the Dutch context. The UK maturity model has been increasingly adopted in other European countries. The Dutch model is a growth model for BIM in contrast to the many maturity models for organizations. Figure 5 shows the model of the BIR. The graph line represents the degree of computerization and integration of processes in the lifecycles of construction projects.

The adjusted BIR model distinguishes four levels of BIM, ranging from 0 to 3. Each level contains a different method: other types of data, (software) tools, ways of cooperation and culture. To get to the next level, the previous lower level(s) should be completed. These levels and their characteristics will be discussed in the next section.

The levels identified by the BIR will be used to rank the projects used in the case study.

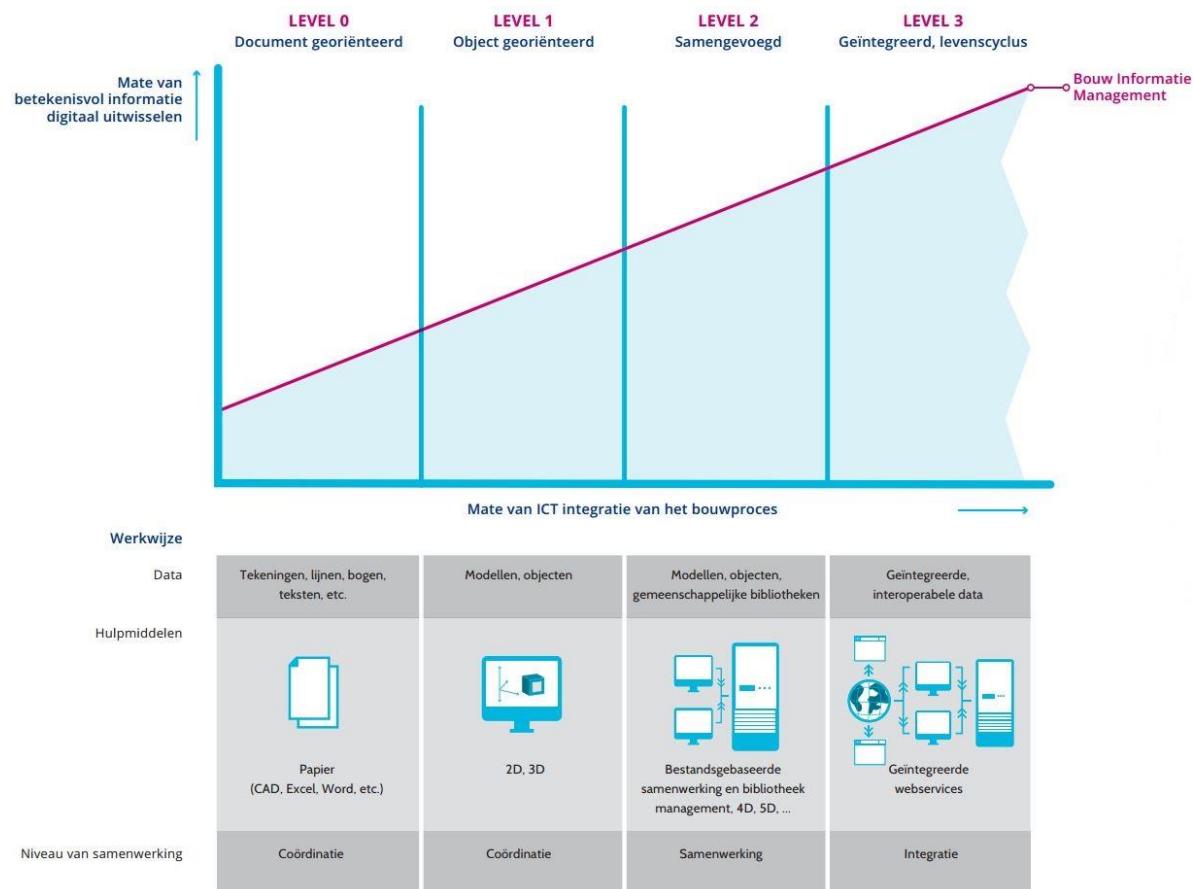


Figure 5: BIM levels (Bouw Informatie Raad, 2014)

4.1.1. Level 0: Document oriented

The first and lowest level of BIM is level 0. This level represents the traditional way of working where information in the form of text and 2D drawings is processed digitally on a document level. Examples are drawings made with CAD programs and calculations made in Microsoft Excel. This is considered ‘non-intelligent’ information; no digital objects are applied or used in the process. The information shared during a formal handover is limited and are mainly paper based drawings and documents. There is no collaboration, only coordination at this level (Figure 5). This level of BIM is therefore not considered a BIM approach.

4.1.2. Level 1: Object oriented

The first step towards implementation of BIM is to start working with objects. This is often associated with working with 3D objects placed in a design program in a virtual environment. However, 3D is not a premise; even 2D objects are viable and even objects without any geometrical description. What characterizes this level is the application of uniform objects to which information (intelligence) can be linked. There is, at this level, no integration between

different disciplines or aspects (Figure 5). Hence, there is no connection yet between the 3D-model and, for instance the dimension of time (4D) or costs (5D).

4.1.3. Level 2: Merged BIM

At this level it is possible to share the object models built in level one. Collaboration takes place based on the basis of a collection of autonomous databases (Figure 5). Each has its own model; all these models are combined in one view model to work together on a project on a file-based way. Applications such as schedules (4D) and cost estimations (5D) are to be linked to the model. The parties sharing information are often within a controllable or manageable organizational unit.

4.1.4. Level 3: Integrated BIM

This is the level where BIM information is shared between different (un)known parties, not just within a single organizational unit, through interoperable Open BIM standards (IFC). This is for example possible within an integrated web service environment (SharePoint, Docstream). The exchange is based on objects, not on files. The construction process is fully integrated into the circuit. At the end of level 3, the information is shared across the lifecycle in the integrated environment. This results in a strong relationship with facility management and asset management.

4.2. BIM applications

The BIR has collected the major BIM applications on a poster, including benefits to different stakeholders (Bouw Informatie Raad, 2015). The content of this poster is partly based on the publication "The Uses of BIM" from Penn State University in the United States. The poster aims to provide a guide directed to the use and application of BIM. It divides the uses of BIM into five categories: collect, generate, analyze, communicate and produce. These categories are then subdivided into smaller parts, shown in Figure 6.

Collect	Generate	Analyze	Communicate	Produce
1.1 Capture	2.1 Prescribe	3.1 Coordinate	4.1 Visualize	5.1 Fabricate
1.2 Quantify	2.2 Arrange	3.2 Forecast	4.2 Transform	5.2 Assemble
1.3 Monitor	2.3 Size	3.3 Validate	4.3 Draw	5.3 Control
1.4 Qualify			4.4 Document	5.4 Regulate

Figure 6: BIM applications

The BIM poster will be used to identify which applications were used in the BIM project and how it has been implemented.

4.3. Case study

This chapter describes the two projects that will be studied. As mentioned before, the two projects selected for the case study will be as similar as possible in terms of the type of contract, construction type, size, scope and project costs, to ensure that the results will be comparable. The main difference between these projects is therefore, as much as possible, limited to the presence or absence of BIM.

4.3.1. BIM project

The project [CONFIDENTIAL] (from now on referred to as the project) consists of the construction of 57 family homes. The project consists of several blocks on which both rental and owner-occupied housing is realized. For this case study only the 32 owner-occupied terraced houses will be studied, which is block [CONFIDENTIAL] of the project. Several important project partners and project information is shown in Table 8.

Table 8: Project [CONFIDENTIAL]

Project information	Organisation / Company
Client	[CONFIDENTIAL]
Architect	[CONFIDENTIAL]
	[CONFIDENTIAL]
Contractor	Heddes Bouw & Ontwikkeling (subsidiary of Ballast Nedam)
BIM manager	[CONFIDENTIAL]
Project location	[CONFIDENTIAL]
Contract type	[CONFIDENTIAL]
Contract price (excl. VAT)	[CONFIDENTIAL]

All blocks are constructed with prefabricated concrete piles, foundation beams and a concrete hull. The façade consists of masonry and synthetic window frames. The buildings of block 8 and 10 have gabled roofs with ceramic roof tiles (design by [CONFIDENTIAL]), whereas the buildings of block 7 and 11 have a flat roof (design by [CONFIDENTIAL]).

4.3.2. Non-BIM project

The project [CONFIDENTIAL] (from now on referred to as the project) consists of the construction of 33 owner-occupied terraced houses. Several important project partners and project information is shown in Table 9.

Table 9: Project [CONFIDENTIAL]

Project information	Organisation / Company
Client	Ballast Nedam Ontwikkeling
Architect	[CONFIDENTIAL]
Contractor	Ballast Nedam Bouw
Project location	[CONFIDENTIAL]
Contract type	[CONFIDENTIAL]
Contract price (excl. VAT)	[CONFIDENTIAL]

The project is a traditionally executed construction project built on a pile foundation, cantilevered ground floor, load-bearing walls of limestone, wide slab flooring, a roof construction of prefabricated roof elements, window frames from hardwood, walls of traditional masonry, big projecting gutters and a roof of ceramic tiles. The inside walls are aerated concrete panels with adjustable steel window frames and rebated doors. All walls are ready for wallpaper with the exception of the bathrooms and toilets; these are equipped with tiling and painting.

4.4. Model description

Based on the previous sections of this chapter, the research model can be developed. This model is shown in Figure 7. The first phase is the selection phase in which phase the parameters for the projects are established. For this research these parameters were chosen to be: type of contract, construction type, size, scope and project costs, as mentioned in section 3.2. Based on these parameters, the BIM and non-BIM project are chosen so that both projects are comparable on as many factors as possible and only have BIM as the main factor differentiating the projects. The next step is to rank the projects, mainly the BIM project, in the ranking phase based on BIM level and BIM application (see section 4.1 and 4.2). In this thesis only two projects are compared. When more BIM and non-BIM projects are studied, the BIM level and applications can be used to study how this relates to the outcomes. When the selection and ranking phases have been completed, the research can be conducted. Establishment of the analysis, analyzing the data and interpreting the results are the main parts of this phase.

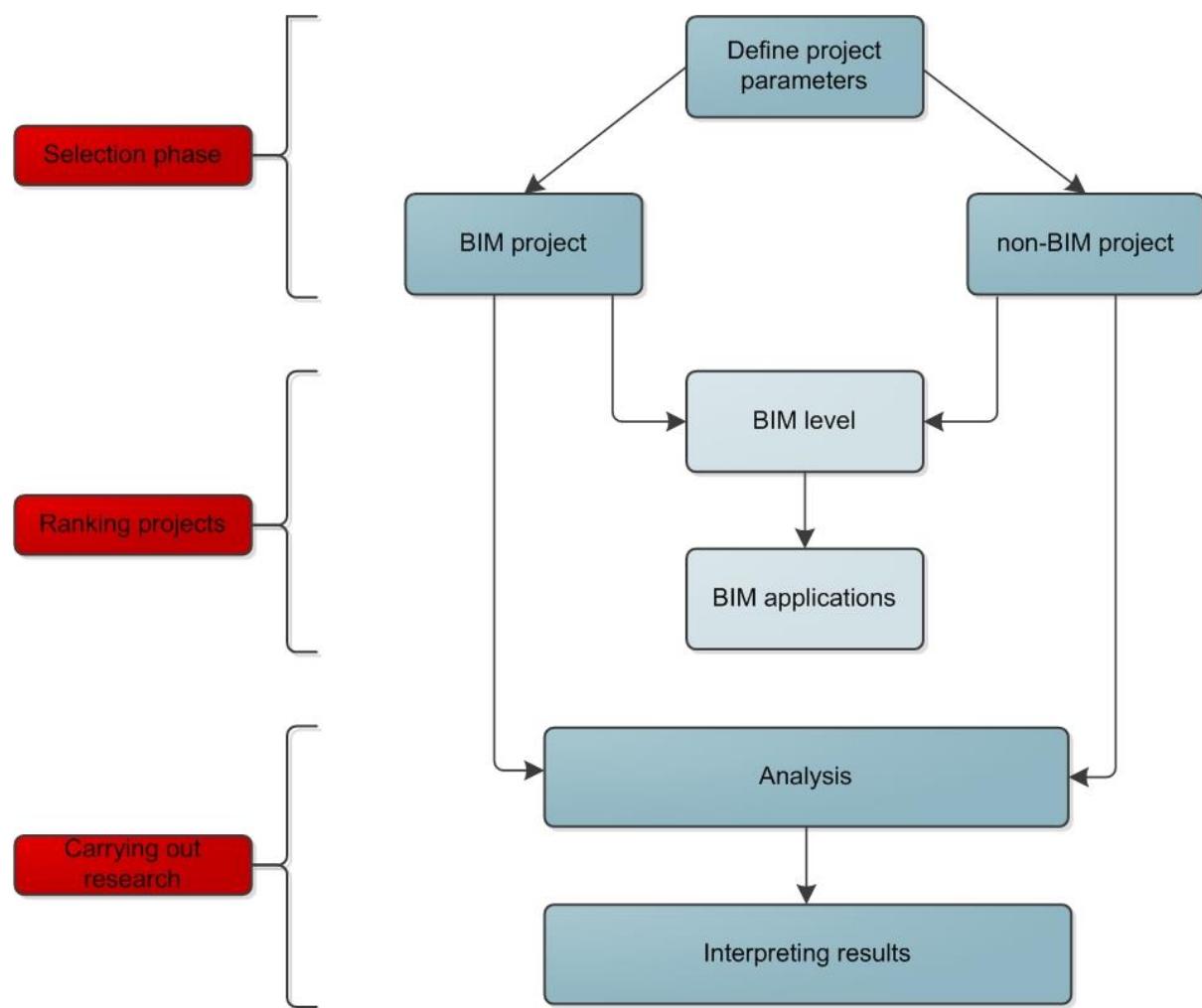


Figure 7: The visualized model

5. Case study input

This chapter describes the factors that will be used for the comparison in the case study, based on the literature study and the semi-structured interviews. The interviews have been recorded and scripted (Appendix B: Interviews).

5.1. Project duration

The most common factors mentioned in literature were identified in the literature review. These factors were validated by using the views of experts. The results of the interviews show that factors from literature are shared with the views of the consulted experts and other factors were identified from the interviews. Table 10 shows the factors influencing project duration which were identified from the interviews, the frequency of occurrence in the interviews and the source of which the factor designates from. A detailed description of these factors is given for clarification (Appendix C: Detailed description of the influential factors) and matrices have been designed to show which questions led to what factors in the interviews (Appendix D: Matrices of the interviews).

Table 10: Factors influencing project duration ranked in descending frequency.

Project duration		Frequency	Source
Factor			
1	Late deliveries by suppliers	6	Literature
2	Change in client demand	6	Literature
3	On-time information	6	Pre-interviews
4	Slow / late decision-making	6	Literature
5	Project complexity	5	Pre-interviews
6	Poor preparation by the contractor	5	Interviews
7	Bad or underestimated scheduling	5	Literature
8	On-time drawings	5	Literature
9	Information only known by one specific employee	4	Pre-interviews
10	Contract variations	4	Literature
11	Poor preparation by the subcontractors / suppliers	3	Interviews
12	Quality of the information	2	Pre-interviews
13	Stakeholders	2	Interviews
14	Season of the year	2	Literature
15	Obligations with regard to the selection of subcontractors / suppliers	2	Interviews
16	Quality of the drawings	2	Pre-interviews

17	Fragmentation of information	2	Interviews
18	Communication	1	Literature
19	Insufficient labor capacity	1	Interviews
20	Presence or absence of permits	1	Interviews
21	Employee motivation	1	Interviews
22	Starting the realization too early	1	Interviews
23	No show of subcontractors / suppliers	1	Interviews
24	The delay of third parties	1	Interviews

The higher the frequency of a factor, the more important the factor is with respect to influence. For project duration the first ten factors are selected for examination to determine which factors will be used for the case study. These ten factors have a frequency range of 4 to 6. Besides the factors from Table 10, the overall project duration will be used in the case study, as discussed in section 2.2 of the literature review.

From the interviews the ten most frequently mentioned factors, with a frequency range of 4 to 6, will be used to determine which of these factors will be used as case study input and how they will be quantified. Table 11 shows, ranked from highest to lowest frequency, the ten factors and if they are will be used for the case study input.

Table 11: Factors influencing project duration and their use in the case study

Factor	Frequency	To be used as case study input?
Late deliveries by suppliers	6	No
Change in client demand	6	Yes
On-time information	6	No
Slow / late decision-making	6	No
Project complexity	5	No
Poor preparation by the contractor	5	No
Bad or underestimated scheduling	5	Yes
On-time drawings	5	No
Information only known by one specific employee	4	No
Contract variations	4	Yes

Due to time restrictions for this master thesis and other factor specific reasons, not all factors will be used for the case study input. Because the data regarding the project duration factors will be collected by analyzing completed projects, a limiting factor is the data that is available. Due to this limiting factor, some factors are not able to be studied and are therefore left out of this research:

- **Late deliveries by suppliers**

There is no data available on this factor, therefore it cannot be measured.

- **On-time information**

There is no data stored about this matter.

- **Slow / late decision-making**

There is no data stored about this matter.

- **Project complexity**

This is not unequivocal measurable among the projects.

- **Poor preparation by the contractor**

There is no data available on this factor, therefore it cannot be measured.

- **Information only known by one specific employee**

There is no data available on this factor, therefore it cannot be measured.

- **On-time drawings**

There is no data stored about this matter.

Factors that will be used for the case study input, including the overall project duration, and how they will be quantified are listed in Table 12.

Table 12: Quantification of factors influencing project duration

Factor	Quantification
Change in client demand	Analyzing how many official design changes have been made during the realization phase with regard to engineering drawings (in Dutch: werktekeningen).
Bad or underestimated scheduling	Analyzing the difference in hours of assigned employees between the estimate and the realized amount.
Contract variations	Analyzing how much contract variations have been submitted during a project.
Project duration	Analyzing the difference between the estimated project duration and the actual project duration.

5.2. Cost estimation

Table 13 shows the factors influencing cost estimation which were identified from the interviews, plus the frequency they were mentioned. A detailed description of these factors is given for clarification (Appendix C: Detailed description of the influential factors).

Table 13: Factors influencing cost estimation ranked in descending frequency

Cost estimation		Frequency	Source
Factor		Frequency	Source
1	Quantity take-off	7	Literature
2	Quality of the information	7	Pre-interviews
3	Quality of the drawings	7	Pre-interviews
4	On-time information	4	Pre-interviews
5	Experience of the assessor	3	Interviews
6	On-time drawings	2	Pre-interviews
7	Project complexity	1	Interviews
8	Presence of the contract documents	1	Interviews
9	Choice of material	1	Interviews
10	Mistakes	1	Interviews
11	Unit price	1	Interviews

The higher the frequency of a factor, the more important the factor is with respect to influence. For cost estimation the first four factors are selected for examination to determine which factors will be used in the case study. These four factors have a frequency range of 7 to 4. Besides the factors from Table 13, the total project cost overrun will be used for the case study, as discussed in the literature review.

From the interviews the ten most frequently mentioned factors, with a frequency range of 7 to 4, will be used to determine which of these factors will be used as input for the case study and how they will be quantified. Table 14 shows, ranked from highest to lowest frequency, the ten factors and if they are will be used for the case study input.

Table 14: Factors influencing cost estimation and their use in the case study

Factor	Frequency	To be used as case study input?
Quantity take-off	7	Yes
Quality of the information	7	No
Quality of the drawings	7	No
On-time information	4	No

The same limiting factors apply to the factors with regard to cost estimation. Therefore, some factors are not able to be studied and are therefore left out of this research:

- **Quality of the information**

Measuring quality is difficult and a study in itself.

- **Quality of the drawings**

Measuring quality is difficult and a study in itself.

- **On-time information**

There is no data stored about this matter.

Factors that will be used for the case study input, including the overall project duration, and how they will be quantified are listed in Table 15. The quantity take-off will not be done for all elements of a cost estimate because this would simply not be feasible within the available time. Therefore, a random sample of quantities will be taken to use as input for the comparison.

Table 15: Quantification of factors influencing cost estimation

Factor	Quantification
Quantity take-off	Analyzing how the random sample of quantities of the cost estimate deviates from the actual quantities.
Total cost overrun	Analyzing the difference between the estimated costs and the actual costs.

5.3. Hypotheses

Based on the literature study, several hypotheses are established per factor that will be used in the analysis. These hypotheses for project duration and cost estimation are shown in Table 16 and Table 17 respectively and are not null hypotheses.

Table 16: Project duration alternative hypotheses

Factor	Hypothesis from literature
Change in client demand	<i>The amount of design changes is higher for the project executed with BIM than the project executed without BIM.</i>
Bad or underestimated scheduling	<i>The deviation of the estimated hours/days per employee from the actual hours/days per employee is larger for the non-BIM project than for the BIM project.</i>
Contract variations	<i>The amount of contract variations is less for the project executed with BIM than the project executed without BIM.</i>
Project duration	<i>The deviation of the estimated project duration from the actual project duration is larger for the non-BIM project than for the BIM project.</i>

Table 17: Cost estimation alternative hypotheses

Factor	Hypothesis from literature
Quantity take-off	<i>The deviation of the estimated quantities from the actual quantities is larger for the non-BIM project than for the BIM project.</i>
Total cost overrun	<i>The deviation of the calculated costs from the actual costs is larger for the non-BIM project than for the BIM project.</i>

5.4. Collecting data

In the previous sections the factors of both project duration and cost estimation to be used as input for the case study, were identified. Afterwards, the alternative hypotheses based on these factors were established. This paragraph describes how the data will be collected.

5.4.1. Project duration

Four factors influencing project duration have been identified and will be used in the case study to compare non-BIM with BIM, as well as the total project duration itself. The next sections will describe how each factor will be measured with the use of the available project data.

5.4.1.1. *Change in client demand*

To measure the change in client demand during a project, the amount of design changes are identified. A mentioned benefit of BIM is that errors can be identified early in the process by the use of clash detection within the 3D BIM model and early collaboration. An extra advantage is that a client has a clear picture of what will be built due to visualization, enabling the client to make changes to the design early in the process. These factors combined should result in an increase in the amount of design changes for BIM projects, compared to non-BIM projects.

The design changes will be measured based on the number of revisions/versions per drawing. BIM has the potential to eliminate errors early in the process, where traditional projects miss this advantage and therefore results in more design changes. Thus, the engineering drawings from all parties will be studied.

5.4.1.2. *Bad or underestimated scheduling*

Measuring bad or underestimated scheduling could be done by examining what the deviation of the estimated project duration from the actual project duration is. Although this could be

linked to a bad or underestimated schedule, there are more factors that could result in a deviation in time (e.g. bankruptcies of subcontractors, bad weather conditions, accidents on the construction site). The factors identified from the literature study and interviews, all claim to influence the project duration significantly. Bad or underestimated scheduling is therefore better measured as the deviation of the estimated hours/days from the actual amount of hours/days each internal project team employee (like project managers and planning engineers) has been active on that project. These hours or days are estimated based on the amount of work a project requires and the project deadline. Exceedance in the amount of hours or days is therefore chosen as the measure for bad or underestimated scheduling.

5.4.1.3. *Contract variations*

The amount of contract variations is a factor identified from the literature study and was frequently recognized as an influencing factor during the interviews. Therefore, the contract variations will be measured by amount. Additionally, the total contract variation costs will be compared to the total project costs in order to gain an understanding of the percentage of contract variations as part of the total project costs.

5.4.1.4. *Project duration*

As mentioned before, the project duration is influenced by many different factors, but several factors have been identified that have a strong influence on project duration. Besides these factors described in the previous sections in this paragraph, the total project duration will also be studied. This will be done by comparing start dates of some important parts of the schedule with the realized starting dates. Additionally, the amount of workable working days part of the contract will be compared to the amount of realized workable working days. Through this comparison, insight will be gained into the total amount of days estimated and worked, instead of for example only checking if the project deadline has been exceeded or not and if there was a deviation in the start date of the project. This is done because the possibility exists that for example, several days of the weekend have been included in the workweek or night shifts have been added to make up for a delay. Identifying the exact amount of days estimated and worked, makes sure that the data studied is reliable and it limits data being overlooked.

5.4.2. Cost estimation

One factor influencing cost estimation has been identified and will be used in the case study to compare non-BIM with BIM, as well as the total project costs. The next sections will

describe how both the factor and total project costs will be measured with the use of the available project data.

5.4.2.1. *Quantity take-off*

The quantity take-off is a factor identified from the literature study and was frequently recognized as an influencing factor, according to the interviews with experts. This factor is also the main factor that separates BIM from non-BIM projects, on the basis of cost estimations, according to several studies. The literature study states that quantity take-off with BIM is more precise, done more quickly and less prone to human error. Therefore, the estimated quantities will be measured for several randomly selected parts of the cost estimate and compared to the actual quantities for these parts.

5.4.2.2. *Total cost overrun*

Besides the quantity take-off, BIM could be of influence to more things related to costs. Therefore, the total project costs will be studied also. The total estimated costs will be compared to the actual project costs, to examine if there is a deviation and how large this deviation is.

6. Results

This section describes the results of the case study. First the BIM level and applications have been assessed and are discussed. The next section entails the statistical tests followed by the other factors that have been studied in the case study. Every factor studied ends with the hypothesis and either accepting or rejecting the hypothesis based on the results.

6.1. BIM level and applications

The project [CONFIDENTIAL] is a traditionally performed construction project. The project shared information through text, used 2D CAD drawings and processed both digitally on a document level. The calculations are made in either Microsoft Excel or some other calculation program. This project is therefore considered to be a level 0 BIM project. Due to the project being a traditional construction project, no BIM applications have been used.

The BIM project used in the case study, [CONFIDENTIAL], is considered a level 2 BIM project. The BIM information is shared between different known parties through interoperable Open BIM standards (IFC), where each party creates their own 3D model which are combined into one general model. The project partners use an integrated web service environment, namely [CONFIDENTIAL], to exchange the files between each other. The exchange is based on objects. The construction process is fully integrated into the circuit.

The applications of BIM, based on the poster by the BIR (**Error! Reference source not found.**), within the project [CONFIDENTIAL] are shown in Figure 8.

Collect	Generate	Analyze	Communicate	Produce
1.2 Quantify	2.2 Arrange 2.3 Size	3.1 Coordinate 3.3 Validate	4.1 Visualize 4.2 Transform 4.3 Draw	5.1 Fabricate 5.2 Assemble 5.4 Regulate

Figure 8: BIM applications in project [CONFIDENTIAL]

1.2 Quantify

This BIM application is about determining quantities. Quantity take-off is done through the BIM and calculations are made using these quantities. This was an application goal described in the BIM protocol of the project.

2.2. Arrange

BIM is used to determine the location, appearance of and relationships between objects within a system or building. The model is used to decompose various components like architectural, structural and installations.

2.3 Size

This application is about using BIM for quantity take-off. The budgets made by the budgeting department are based on the quantity take-off from the BIM model, done by the BIM manager of the project. The architect and suppliers provide the model information, from which the BIM manager generates the quantities. Because the dimensions of objects are determined based on coherence and interdependence, dimensional and fitting problems during construction are reduced (failure cost reduction).

3.1 Coordinate

This application is about different disciplines working together in one model. The different disciplines made their own models (aspect models) and these models were merged and aligned into one coordination model (Figure 9).

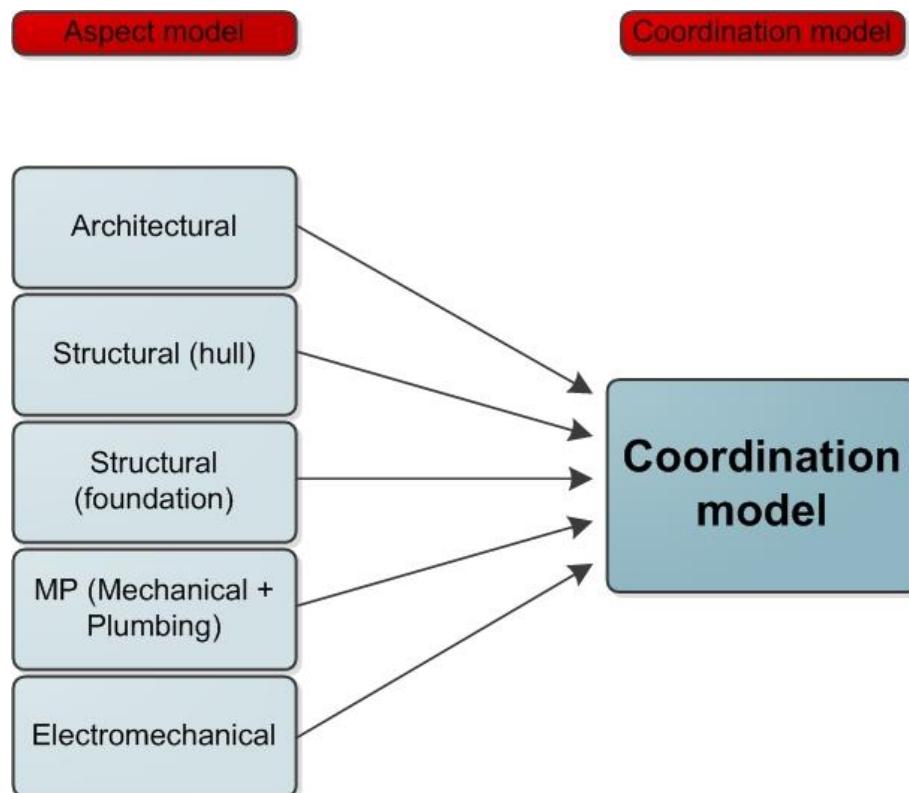


Figure 9: Aspect models merged into one coordination model

The objects within the coordination model have been aligned spatially and technically by the use of clash detection. Due to this coordination, an efficient reconciliation process is created

in which spatial conflicts between objects within the structure are detected and solved forehand. Therefore these problems will not manifest themselves during construction. This BIM application is the perfect example of collaboration.

3.3 Validate

This BIM application is about checking, proving and verifying. The application is only partially applied during this project. The use of space to the program of requirements has been tested real-time during the design process. Additionally, the facility has been checked on legal levels through the use of BIM, to ensure it is complaint with legal codes and standards (the national building decree).

4.1 Visualize

This BIM application is about using the BIM for visualization. The 3D model has been used to increase the understanding of the client, future users and construction partners in the spatial quality of the design. The 3D model allows project partners and other stakeholders to review the design in an accessible way and provide comments, including non-technical stakeholders like the future users.

4.2 Transform

A lot of different software has been used among the project partners, like Autodesk Revit, Vectorworks, Tekla Structures, Allplan, Logikal, Solibri Modelchecker and HSB-CAD. To ensure that data is exchangeable among the different project partners and allow for interoperability between different systems, IFC is used as exchange format. Through IFC, each project partner is able to choose and use his own software (the best tool for the job).

4.3 Draw

The 2D drawings and other documents have been generated through a dynamic automated process from the BIM. Because these documents originate from one central data source, the documents are always mutually consistent. The costs for producing drawings are also reduced significantly due to only producing what needs to be produced whilst increasing the quality.

5.1 Fabricate

The 3D BIM model has been used during the engineering phase of the suppliers. For instance, the company that manufactured the prefabricated hull has used the exact shapes from the BIM model for their production of the individual elements.

5.2 Assemble

The order of execution and assembling are simulated to optimize the logistical execution process. Therefore, the manufacturing and supply of materials and components are scheduled

with the use of BIM. This led to an increase in prefabrication and a reduction in in-situ construction techniques, resulting in advantages like a reduction in waste and less time needed for construction.

5.4 Regulate

The BIM model has been linked to the maintenance schedule / program for the client. This is known in Dutch as a meerjarenonderhoudsplanning (MJOP). By linking the BIM model to a program, in this case O-prognose, an element can be selected and it will show what maintenance has been planned. Additionally, the client is able to determine, per year, which components need to be maintained and in what state of condition the various building elements are at any given time.

6.2. Project duration impact

6.2.1. Design changes

The full statistical tests can be found in Appendix E: Statistical tests. The design changes have been studied based on the complete collection of data and the architectural, subcontractor and installation drawings. Only nonparametric tests have been used, namely the Mann-Whitney U test, to analyze the available data. When a result is not statistically significant, it is not relevant to know an effect size. Therefore, for insignificant results the Cohen's *d* value does not apply (n/a). The results of the statistical analyses are shown in Table 18.

Table 18: Results of the statistical tests regarding design changes

	Statistical test	α-value	z-value	<i>p</i>-value	Cohen's <i>d</i>
Total drawing versions	Mann-Whitney U	0.05	8.007	0.000	0.30
Architectural versions	Mann-Whitney U	0.05	1.394	0.163	n/a
Subcontractor versions	Mann-Whitney U	0.05	1.567	0.117	n/a
Installation versions	Mann-Whitney U	0.05	2.391	0.017	0.20

The only significant results, based on an α -value of 0.05, are the total drawing versions and installation versions ($p < 0.05$). The Cohen's *d* values are both in the small effect range. This indicates that the significant difference for these test variables is small, based on Cohen's *d* effect size.

6.2.1.1. Hypotheses

The Mann-Whitney U test assumes for the null hypothesis that there are no differences between both groups. Based on the statistical test results, these hypotheses can be rejected or accepted.

Hypothesis (H0): The amount of design changes is not statistically different for the project executed with BIM and the project executed without BIM.

- Test statistic: $z = 8.007, p = 0.000 (\alpha = 0.05)$
- Mean ranks: 426.93 (BIM) and 314.16 (non-BIM)
- The BIM group had a statistically significant higher mean rank score than the non-BIM group, so the **hypothesis (H0) is rejected**.

Hypothesis (H0): The amount of architectural design changes is not statistically different for the project executed with BIM and the project executed without BIM.

- Test statistic: $z = 1.394, p = 0.163 (\alpha = 0.05)$
- Mean ranks: 150.75 (BIM) and 141.78 (non-BIM)
- The difference between the BIM and non-BIM group was not statistically significant, so the **hypothesis (H0) is accepted**.

Hypothesis (H0): The amount of subcontractor design changes is not statistically different for the project executed with BIM and the project executed without BIM.

- Test statistic: $z = 1.567, p = 0.117 (\alpha = 0.05)$
- Means ranks: 106.64 (BIM) and 94.57 (non-BIM)
- The difference between the BIM and non-BIM group was not statistically significant, so the **hypothesis (H0) is accepted**.

Hypothesis (H0): The amount of installation design changes is not statistically different for the project executed with BIM and the project executed without BIM.

- Test statistic: $z = 2.391, p = 0.017 (\alpha = 0.05)$
- Mean ranks: 76.32 (BIM) and 60.02 (non-BIM)
- The BIM group had a statistically significant higher mean rank score than the non-BIM group, so the **hypothesis (H0) is rejected**.

6.2.2. Bad or underestimated scheduling

6.2.2.1. Non-BIM project

The staff cost estimates are part of the detailed budget. These costs are based on a fixed amount per unit per type of staff. The estimated days and costs, and the realized days and costs are shown in Table 19. The difference between the estimated and realized amount is also added.

Table 19: Staff members schedule non-BIM project

[CONFIDENTIAL]

Both the head executor and planning engineer spent significantly less days on the project, while the assistant executor spent significantly more days and the days spent by the project manager were about equal. Overall it shows that the staff costs have stayed under budget and, on average, staff spent less days on the project.

6.2.2.2. BIM project

The staff cost estimates are part of the detailed budget. These costs are based on a fixed amount per unit per type of staff. The estimated hours and costs, and the realized hours and costs are shown in Table 20. The difference between the estimated and realized amount is also added.

Table 20: Staff members schedule BIM project

[CONFIDENTIAL]

The executors spent significantly less hours on the project, while the planning engineer and project manager spent significantly more hours. Overall it shows that the staff costs have stayed near budget, except for the project manager. The costs per unit for the realized amount have changed in contrast to the non-BIM project, where it remained the same. The total costs stayed relatively close to the budgeted costs, with a slight overshoot.

6.2.2.3. Hypothesis

Hypothesis: The deviation of the estimated hours/days per employee from the actual hours/days per employee is larger for the non-BIM project than for the BIM project.

- Average absolute deviation: [CONFIDENTIAL] (BIM) and [CONFIDENTIAL] with

and without the assistant executor respectively (non-BIM).

- The BIM group had less extreme deviations and a smaller average deviation from the estimated hours/days and total costs than the non-BIM group, so the **hypothesis is accepted**.

Because the assistant executor in the non-BIM project had such an extreme deviation, this deviation could influence the outcome in such a way that it is both included and omitted in calculating the average absolute deviation. This showed that in both situations the average absolute deviation is lower in the BIM project and conclusions with regard to the hypothesis therefore remain the same.

6.2.3. Contract variations

Both projects had contract variations which resulted in supplemental work and were refuted from the construction company towards the client. Table 21 shows the amount of contract variations and their costs per project. Additionally, the percentage of total contract variation costs with respect to the contract price is calculated.

Table 21: Contract variations and their ratio with respect to the total project costs

[CONFIDENTIAL]

The non-BIM project had almost five times as many contract variations along with a higher percentage of contract variations compared to the contract price.

6.2.3.1. *Hypothesis*

Hypothesis: The amount of contract variations is less for the project executed with BIM than the project executed without BIM.

- Amount: **[CONFIDENTIAL]** (BIM) and **[CONFIDENTIAL]** (non-BIM).
- Contract variations / contract price (%): **[CONFIDENTIAL]** (BIM) and **[CONFIDENTIAL]** (non-BIM)
- The BIM group had less contract variations and a smaller percentage ratio than the non-BIM group, so the **hypothesis is accepted**.

6.2.4. Scheduled vs actual project duration

6.2.4.1. Non-BIM project

The actual start date for construction was set to [CONFIDENTIAL] by a contractual document, which meant the start of the first activities on the construction site. By contract Ballast Nedam had [CONFIDENTIAL] workable working days to complete the project, starting from the moment the first ground floor is placed. This differs from the earlier mentioned start date. Therefore both start dates were taken into account during the analysis. Table 22 shows the analysis of the planned and realized days with regard to scheduled activities.

Table 22: Planned and realized project activities non-BIM project

[CONFIDENTIAL]

The main construction activities included in the overall schedule resulted in mostly positive differences, meaning the realized dates deviate from the scheduled dates. However, this does not directly mean the project results in a deviation from the final finishing date or more working days are used. The finishing date of the project was contractually established at [CONFIDENTIAL] workable working days. Table 23 shows the contractual and realized workable working days.

Table 23: Planned and realized workable working days non-BIM project

[CONFIDENTIAL]

From the day Ballast Nedam started placing the ground floors until the last house was officially transferred to the owner, [CONFIDENTIAL] working days have passed. During this time [CONFIDENTIAL] days were unworkable due to weather conditions and [CONFIDENTIAL] days were either holidays or mandatory vacation days. This resulted in [CONFIDENTIAL] realized working days, which is [CONFIDENTIAL] days less than the amount that was part of the contract.

6.2.4.2. BIM project

The start date for construction was set [CONFIDENTIAL] by a contractual document, which meant the start of the first activities on the construction site. By contract Heddes Bouw & Ontwikkeling had [CONFIDENTIAL] workable working days to complete the project, starting from the moment the excavations started. This differs from the earlier mentioned start

date. Therefore both start dates were taken into account during the analysis. Table 24 shows the analysis of the planned and realized days with regard to scheduled activities.

Table 24: Planned and realized project activities BIM project

[CONFIDENTIAL]

The main construction activities included in the overall schedule resulted in mostly positive differences, meaning the realized dates deviate from the scheduled dates. However, this does not directly mean the project results in a deviation from the final finishing date or more working days are used. The finishing date of the project was contractually established at [CONFIDENTIAL] workable working days. Table 25 shows the contractual and realized workable working days.

Table 25: Planned and realized workable working days BIM project

[CONFIDENTIAL]

From the day Hedes Bouw & Ontwikkeling started the excavations until the last house was officially transferred to the owner, [CONFIDENTIAL] workable working days have passed. The amount of elapsed unworkable working days, vacation days and holidays could not be identified. The project resulted in [CONFIDENTIAL] realized working days, which is [CONFIDENTIAL] days more than the amount that was part of the contract.

6.2.4.3. Hypothesis

Hypothesis: The deviation of the estimated project duration from the actual project duration is larger for the non-BIM project than for the BIM project.

- Average absolute deviation: [CONFIDENTIAL] (BIM) and [CONFIDENTIAL] (non-BIM) days.
- The BIM project had a smaller average absolute deviation than the non-BIM project, but the BIM project suffered a delay in contrast to the non-BIM project. Therefore the **hypothesis is rejected**.

The average absolute deviation is based on the deviation from the schedules activities. In addition the deviation from contractual workable working days is compared between both projects.

6.3. Cost estimation impact

6.3.1. Quantity take-off

For both the BIM and non-BIM project, only the quantity data from the cost estimate was available and the realized quantities were absent. Because the quantities are directly linked to the price per item, main parts of the cost estimate that are present in both projects are used for the analysis. Table 26 and Table 27 show the randomly selected main parts of the cost estimate that were present in both projects, including the budgeted costs, realized costs and the exceedance of the realized costs as a percentage of the budget.

Table 26: Exceedance on budget items non-BIM project

[CONFIDENTIAL]

Table 27: Exceedance on budget items BIM project

[CONFIDENTIAL]

In both cases the frames were close to the budget, which makes sense because it is rather difficult to miscalculate the amount of frames needed, compared to for instance the m^3 concrete needed. The non-BIM project exceeded the budget on all other parts but the tiling, whereas the BIM project stayed under budget on all other parts.

6.3.1.1. Hypothesis

Hypothesis: The deviation of the estimated quantities from the actual quantities is larger for the non-BIM project than for the BIM project.

- Average deviation: [CONFIDENTIAL] (BIM) and [CONFIDENTIAL] (non-BIM).
- The BIM project had a greater average deviation than the non-BIM project, so the hypothesis is rejected.

6.3.2. Total cost overrun

To analyze the total cost overrun, both the subparts of the cost estimate and the total costs have been analyzed. The subparts of the cost estimates are not exactly the same for both projects, which is mainly due to the BIM project not being fully completed yet at the department of administration. There are still some bills that need to be received and processed.

6.3.2.1. *Non-BIM project*

Table 28 shows the subparts of the cost estimate and their calculated and realized amounts, plus the exceedance as percentages.

Table 28: Exceedance on subparts of the cost estimate non-BIM project

[CONFIDENTIAL]

All of the subparts of the cost estimate exceeded the budget. An average exceedance is calculated from Table 28 and has a value of **[CONFIDENTIAL]%**. The difference between the contract price and the realized costs is shown in Table 29. It shows that, although the subparts of the cost estimate have been exceeded, the project remained **[CONFIDENTIAL]** the amount of the contract price with **[CONFIDENTIAL]%**.

Table 29: Difference between contract price and realized costs non-BIM project

[CONFIDENTIAL]

6.3.2.2. *BIM project*

Table 30 shows the subparts of the cost estimate and their calculated and realized amounts, plus the exceedance as percentages.

Table 30: Exceedance on subparts of the cost estimate BIM project

[CONFIDENTIAL]

All of the subparts of the cost estimate stayed under budget. An average exceedance is calculated from Table 30 and has a value of **[CONFIDENTIAL]%**, which means the project actually stayed under budget based on these cost estimate subparts. The difference between the contract price and the realized costs is shown in Table 31. It shows that the project remained **[CONFIDENTIAL]** the amount of the contract price with **[CONFIDENTIAL]%**.

Table 31: Difference between contract price and realized costs BIM project

[CONFIDENTIAL]

6.3.2.3. *Hypothesis*

Hypothesis: The deviation of the calculated costs from the actual costs is larger for the non-BIM project than for the BIM project.

- Average subpart deviation: [CONFIDENTIAL]% (BIM) and [CONFIDENTIAL]% (non-BIM).
- Project costs overrun: [CONFIDENTIAL]% (BIM) and [CONFIDENTIAL]% (non-BIM) under budget.
- The BIM project [CONFIDENTIAL] budget more than the non-BIM project. Therefore the **hypothesis is accepted**. Additionally, the BIM project showed a higher average deviation on the cost estimate subparts but stayed under budget in contrast to the non-BIM project.

7. Discussion

In the previous chapter, the results of the case study were presented. In this chapter the impacts of the statistical tests and the exploration of the data is shown. Also limitations to the study will be present. Finally, the recommendation for future research is provided.

7.1. Impact of the results

- The main hypothesis derived from literature for design changes was that projects executed with BIM would have more design changes than projects executed traditionally. The results show that the BIM project had a statistically significant higher mean amount of design changes than the non-BIM project. This effect was found to be small according to the Cohen's d value. In addition, the specific design changes like architectural, subcontractor and installations showed a higher mean amount of design changes for the BIM project, where only the difference for installation drawings was statistically significant and this effect was found to be small. The use of BIM provides more insight in the facility, and mainly due to clash detection, more errors are detected and corrected, resulting in more design changes.
- The staff costs have been linked to bad or underestimated planning. The hypothesis was that deviation of the estimated hours/days per employee from the actual hours/days per employee is larger for the non-BIM project than for the BIM project. Based on the results, this hypothesis is accepted. The BIM project showed a smaller average absolute deviation from the estimated amounts and costs. It shows that BIM provides more insight in the project at an earlier stage, resulting in more accurate (smaller deviations) information. Although the hypothesis is confirmed, most of the deviations of the BIM project are negative, meaning the amount has been exceeded, while for the non-BIM project most of the deviations are positive, meaning they have stayed within budget. This could be explained by the fact that the BIM learning curve is still steep and the way of working is still very new compared to the known traditional way.
- The amount of contract variations is stated to be less for projects executed with BIM than projects executed without BIM. This hypothesis was found to be true and was accepted. The amount of contract variations that arose from the BIM project was smaller ([CONFIDENTIAL]) than the amount from the non-BIM project ([CONFIDENTIAL]). Additionally, the total costs of these contract variations as part of the contract price was

also smaller for the BIM project ([CONFIDENTIAL]%) than the non-BIM project ([CONFIDENTIAL]%). BIM could increase the information provision early in the project lifecycle, resulting in less design changes made by the client and problems that need to be covered by the client during construction, which results in less contract variations for project executed with BIM.

- For comparing the deviation from the estimated project duration, the hypothesis stated that the deviation of the estimated project duration from the actual project duration is larger for the non-BIM project than for the BIM project. Results show that the BIM project had a smaller average absolute deviation based on important scheduled activities but the project suffered a delay of [CONFIDENTIAL] days compared to the contractual workable working days. The non-BIM project on the other hand needed fewer days than the contractual workable working days, although it had a higher average absolute deviation. The fact that BIM suffered a delay could be due to several unknown reasons like bad weather conditions or problems with subcontractors or suppliers. Therefore, the hypothesis was not accepted. However, it does show the trend that BIM is capable of eliminating errors early in the project and thereby limiting errors occurring during the execution phase. This could explain the lower average absolute deviation based on scheduled activities.
- One of the biggest advantages of BIM was found to be its accuracy with regard to quantities. Using BIM would improve the quantity take-off in a way that the quantities are more representative towards that what eventually is realized. The hypothesis was that the deviation of the estimated quantities from the actual quantities is larger for the non-BIM project than for the BIM project. This hypothesis was rejected because the BIM project had a larger deviation ([CONFIDENTIAL]%) compared to the non-BIM project ([CONFIDENTIAL]%). Although the hypothesis is rejected and the BIM quantities showed a bigger deviation, it should be noted that the BIM project stayed under budget on all budget items that were studied, while the non-BIM project exceeded the budget on all but one budget item. The difference between both projects is pretty substantial at 14.4%. The larger deviation in the BIM project could be due to the fact the assessor perhaps budgeted more to reduce the risk of the project. The fact that BIM stayed under budget on the budget items studied could be due to numerous factors like luck, good purchase results or more leeway with the contract price and/or client.
- The BIM project showed a higher average deviation with regard to the studied budget items, but stayed [CONFIDENTIAL] budget. For the total project costs comparison, the

hypothesis stated that the deviation of the calculated costs from the actual costs is larger for the non-BIM project than for the BIM project. The exceedance on subparts of the cost estimate, like for example material costs, general expenses and subcontracting, have been studied and results show that the BIM project [CONFIDENTIAL] budget on all subparts but with a larger average deviation ([CONFIDENTIAL]%) than the non-BIM project that [CONFIDENTIAL] budget on all items and had an average deviation of [CONFIDENTIAL]%. The BIM project [CONFIDENTIAL] budget more than the non-BIM project. Additionally, the difference between the realized costs and contract prize was more positive for the BIM project ([CONFIDENTIAL]%) than the non-BIM project ([CONFIDENTIAL]%). Therefore the hypothesis is accepted. The difference between the budget subparts for both projects is substantial at 27.39%.

7.2. Limitations of the study

Because this study conducted a case study consisting of two projects that were compared, generalizing is not allowed. Besides this there are some other aspects that provide a limitation to the study.

- This study conducts a case study where two projects are compared. Additionally, the study is conducted at a single company. Both conditions result in a lack of external validity and generalizing is not allowed. However, the research approach can easily be used in other companies as well and the basic work processes in projects can be assumed similar for other engineering and construction companies.
- The data required for the case study was sometimes difficult to gather for several reasons, like:
 - The data was not documented;
 - The documenting was not done consistently;
 - Employees that were part of the project team were no longer working at Ballast Nedam, making it impossible to retrieve certain data;
 - Data was archived in hard copy and very difficult to retrieve.

The vast majority of required data was retrieved and available, with some missing data occasionally. The study was done with the data which was available and as a result, very occasionally it was not possible to generate the most optimal results.

- Due to limited available time to do the research and the change in research method as mentioned in the introduction, only two projects were compared in the case study.

8. Conclusion

The AEC industry is looking for an alternative to the traditional building process in order to reduce the time and costs needed to implement a building project. Reducing the required time and costs associated with building projects is a major goal of stakeholders in the AEC industry. Therefore, alternatives to the traditional method of working are sought. BIM is an alternative that is said to provide a reduction in time and costs, among other benefits such as improved communication. Qualitative benefits of BIM have been widely recognized in literature. However, quantified benefits of the impact of BIM are still scarce. Parties active in the AEC industry, like contractors, had to decide whether to implement BIM in their processes based on promised benefits, without any idea of the financial impact. The goal of this thesis was to answers the main research question: *Can Building Information Modeling provide a decline in project duration and improve project cost estimation, compared to the traditional process?* In this section the answers to the associated sub questions, followed by the main research question, are presented. Next, the societal, scientific and beneficiary relevance of this thesis is elaborated, followed by recommendations for future research.

8.1. Research questions

8.1.1. What is BIM and how will it be used in this research?

Before starting the literature study, a BIM definition was established as well as a definition for a BIM project. BIM in this study was defined as:

“BIM is a 3D digital representation of physical and functional characteristics of a facility. A BIM is a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as the possibility to exist from earliest conception to demolition, and a process for visualizing and coordinating AEC work and avoiding errors and omissions.”

A BIM project in this study was defined as:

“An engineering project that uses a 3D model for visualization and information exchange through an international IFC-standard within the company and among project stakeholders is considered a BIM-project.”

Based on both definitions, BIM in this study was used as a working method based on cooperation and information sharing, which means that all relevant information about a project is stored throughout the lifecycle, used and managed, supported by one or more 3D building models. All parties involved in the construction process, work with the same information in a transparent environment. The information is always up to date and continuously available to all involved.

8.1.2. Why is BIM not fully implemented yet within the AEC industry?

Section 2.4 describes the implementation of BIM within a construction company. Based on the literature study, interviews with experts and conversations with employees of the department Bouwtechniek of Ballast Nedam Engineering, several items have been identified. There are a lot of factors that withhold companies from implementing BIM. These factors are merged, resulting in the factors shown in Table 5 (section 2.4).

The most important and most frequently identified factors are related to a lack of knowledge about BIM in combination with its advantage, especially on a financial level. The latter has to do with the learning curve involved with implementing new work processes or software. This results in a higher investment compared to known and traditional ways and is the main thing people see. Although a learning curve decreases over time and therefore also costs decrease, people still hold on to the higher investment at start, and therefore also ignoring the future cost decreasing potential.

Besides the lack of knowledge, or limited view on the impact of BIM, the AEC industry is very conservative. Conservatism means people tend to cling to tradition and are skeptical towards new developments. It is easier to not change anything, because people are used to their way of working. Changing this would mean more effort and a disruption of their habits. The combination of both the conservatism of the AEC sector and the lack of knowledge, or limited view on the impact of BIM, is the main factor limiting implementation of BIM within a company, but also industry wide.

One way of overcoming these limiting factors is by providing more quantitative evidence of the impacts of BIM to improve the implementation and by improving the dissemination of information.

8.1.3. What have previous studies on quantifying the impacts of BIM shown, with regard to project duration and cost estimation?

A lot of research has been done on the impact of BIM on project duration and cost estimation, mostly in a qualitative way. BIM can reduce the project duration by, among other things, the cutback of rework (using automated clash detection), early coordination, 4D simulation and automation of quantity take-off. The impact on cost estimation affects both the estimating process and the quality of the cost estimation. Studies have shown that BIM can reduce the process time up to 80% in comparison with the traditional process and generate a more accurate quantity take-off.

The impact of BIM on project duration can be measured in several ways. One way is by comparing the estimated project duration with the actual project duration. The impact of BIM on cost estimation can be measured in three ways: 1) by analyzing the length of the cost estimation process, 2) by comparing how well the quantity take-off represents the final design and 3) by comparing the estimated costs with the final costs.

8.1.4. What factors determine/influence project duration?

Factors influencing project duration have first been identified from the literature study and are shown in Table 6 (section 2.5). Based on the measurability of the factors in this thesis, the first filtering of factors has been done. Additionally, factors influencing the project duration have been identified from both the pre-interviews and interviews. All factors identified from literature, after filtering, and pre-interviews and interviews are shown in Table 10 (section 5.1). The most frequently mentioned factors are: late deliveries by suppliers, change in client demand, on-time information and slow/late decision-making.

8.1.5. What factors determine/influence the cost estimation process?

Factors influencing cost estimation have first been identified from the literature study. Additionally, factors have been identified from both the pre-interviews and interviews. These factors identified from literature, pre-interviews and interviews are shown in Table 13 (section 5.2). The most frequently mentioned factors are: quantity take-off, quality of the information, quality of the drawings and on-time information.

8.1.6. How can BIM and Non-BIM housing projects be compared with each other, regarding project duration and cost estimation?

To optimize the comparison between the BIM and non-BIM project in the case study, the projects needed to have as many similarities as possible. The projects were selected to be similar in: type of contract, construction type, size, scope and project costs.

The factors for comparison have been chosen based on availability and factor specific reasons, which can be found in section 5.1 and section 5.2. The comparison based on project duration has been done by studying the factors: change in client demand, bad or underestimated scheduling, contract variations and project duration. The comparison based on cost estimation has been done by studying the factors: quantity take-off and total cost overrun. The elaboration on these factors is found in section 5.4.

8.1.7. Can Building Information Modeling provide a decline in project duration and improve project cost estimation, compared to the traditional process?

This thesis shows that there are some perceivable benefits of BIM; it had a reduced amount of contract variations and showed a smaller deviation from scheduled activities and staff scheduling compared to non-BIM. Additionally, the amount of drawing versions from the BIM project was statistically significantly larger, which is a logical result due to the fact that BIM provides more insight early in the project resulting in more errors being detected which equals more design changes. On the other hand, the project [CONFIDENTIAL] the amount of contractual workable working days, compared to non-BIM. Results also show that there is a substantial difference between the budget parts cost overrun between BIM and non-BIM. The BIM project [CONFIDENTIAL] budget while the non-BIM project [CONFIDENTIAL] budget on the main budget parts, with a difference between both of 27.39%. Also, both projects [CONFIDENTIAL] their contractual budget with their total expenses, but BIM was more beneficial than non-BIM.

While BIM still has a steep learning curve and is a fairly new method for most departments of Ballast Nedam, it already shows improvements on certain areas over traditional methods. Mainly in the area of costs, where the difference on the main budget parts between both projects was substantial and the incurred costs compared to the contractual budget, both in favor of BIM. Although the difference in costs is quite large in this case study, this result should be interpreted with caution. As stated in the limitations section, this case study consisted of one BIM and one non-BIM project, which therefore has a lack of external

validity. Other studies might show different numbers in the difference (more on this in section 8.5 Future research).

8.2. Societal relevance

The construction sector realized a production worth over € 80 billion in 2014 and is therefore of great importance to the Dutch economy (Doelen, 2015). In a press release, Statistics Netherlands stated that especially the housing sector was recovering, where the amount of permits granted increased in 2014 and the investments in new housing increased by 11% in the fourth quarter of 2014 (CBS, 2015b). The upsurge persisted and revenues of the entire construction sector increased with 10% in the second quarter of 2015, compared to last year (CBS, 2015c).

With the construction sector recuperating and the demonstrated positive impact of BIM, a bright future might be ahead. When certain companies start to improve their business, others will try to follow their lead, resulting in a profit for the entire sector. An improving construction industry will have an important impact on the entire Dutch economy, because the construction industry is one of the key players (Doelen, 2015).

8.3. Scientific relevance

The literature study showed much qualitative research has been done on the impact of BIM and the quantitative research was pretty scarce. Additionally, the literature study has well portrayed which factors are of influence on both project duration and cost estimation. These factors have been complemented by interviews with experts.

The results of this thesis comply with the trend shown by other studies; namely that BIM has a positive impact on the AEC industry by reducing costs, improving collaboration and improving profitability. The case study showed that the BIM project [CONFIDENTIAL] budget on the main budget parts, while the non-BIM project [CONFIDENTIAL] budget, with a difference between both projects of 27.39%. Additionally, the BIM project was more profitable compared to the non-BIM project. The research method in this thesis can be used to study more projects in a case study to see if these results comply with the results obtained in this thesis and it opens a path to improve BIM implementation that could result in more BIM project in the future, which in turn could provide data to do another research about the

impact of BIM. In time the expertise in BIM would increase and have its potential increased even more.

8.4. Beneficiary relevance

The beneficiary, in this case Ballast Nedam, can extract several benefits from this research. As mentioned in the first chapter of this research, the main problem identified within Ballast Nedam is the lack of support from board level with regard to BIM. This is withholding further implementation of BIM within the company. This thesis shows that there is a substantial difference between the budget parts cost overrun between BIM and non-BIM. The BIM project [CONFIDENTIAL] budget while the non-BIM project [CONFIDENTIAL] budget on the main budget parts, with a difference between both of 27.39%. Additionally, smaller deviations in staff scheduling, scheduled activities and showed less contract variations. While BIM is still at a steep learning curve and as a fairly new method for most departments of Ballast Nedam, it already shows improvements on certain areas over traditional methods in the case study conducted. Although the case study consisted of only one project comparison, the results could still be used to promote BIM implementation. With more time, and thus improving the expertise with BIM, BIM's potential might improve more in the future.

Some problems identified during the data collection were inconsistently documenting and data not being documented at all. Using the checklist can reduce the occurrence of this problem in the future. It makes sure the right data is documented and documented in the right way consistently, to enable the data to be retrieved at a later stage by any employee. If this is done for multiple projects, executed traditionally and also with BIM, gathering data for a quantitative generalizable study on the impact of BIM on project duration and cost estimation is optimized.

Besides the possibility to enable quantitative BIM studies in the future, based on aspects of project duration and cost estimation, the way of documenting and documenting the necessary data will also help retrieve data easier for different parties within the company when needed. Some examples are a recalculation at the end of a project or access to important data for the management and maintenance department.

8.5. Future research

Based on the limitations of this study, recommendations for future research are provided in this section.

- This case study used two projects in the comparison between BIM and non-BIM, resulting in a lack of external validity. To solve this, more projects could be compared via case studies to eliminate other factors that potentially played a role in the results, other than the BIM and non-BIM method.
- This thesis studied the impact of BIM within one company. For future research the same study could be done at different construction companies to compare if these results differ from the results of this thesis.
- Besides the impact of BIM on cost estimation and project duration, other factors have been identified in literature. Studying the impact of BIM based on other factors could weaken or strengthen the results of this thesis.
- Due to problems with undocumented data and data being documented inconsistently, it was not possible to conduct a large quantitative research to study the impact of BIM based on cost estimation and project duration. In order to be able to conduct a study on the impacts of BIM in the future, a checklist could be developed to help documenting the essential data and documenting it in the right way. This could help by having the right data for the research and being able to retrieve this data without any problems. This checklist contains specific data needed for the considered impact of BIM and can therefore differ per impact. For the impact on cost estimation and project duration, some examples of this checklist could be: time tracking for every staff member each day of the project, keeping track of the design changes per drawing, per company and per phase of the project, tracking the quantities used during construction to be able to compare it with the estimate and doing a recalculation at the end of the project to be able to compare this one-to-one with the estimate. Of course this checklist is not complete and should be extended to provide an as accurate as possible comparison.
- This thesis showed that mainly the lack of knowledge about BIM and its financial impact, which is linked to an absence of support at board level, are the main factors limiting BIM implementation within the AEC industry. This corresponds with the literature studied, but it is however based on the interviews within only one company. To gain clear and reliable insight into why BIM has not been widely implemented yet, a study should be conducted

among different types of companies within the AEC industry and a plurality of these companies (like construction companies, architects and engineers).

References

- Adriaanse, A. (2007). *The Use of Interorganisational ICT in Construction Projects - A Critical Perspective*. University of Twente, Enschede, Netherlands. Retrieved from http://doc.utwente.nl/58087/1/thesis_Adriaanse.pdf
- Al-Momani, A. H. (2000). Construction delay: a quantitative analysis. *International Journal of Project Management*, 18(1), 51–59. doi:10.1016/S0263-7863(98)00060-X
- Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2008). Building Information Modeling (BIM): Benefits , Risks and Challenges. In *Proceedings of the 44th ASC National Conference*. Auburn, USA: ASC. doi:10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127
- Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM - A case study approach. *Automation in Construction*, 24, 149–159. doi:10.1016/j.autcon.2012.02.008
- Becerik-Gerber, B., & Rice, S. (2010). The perceived value of building information modeling in the US building industry. *Journal of Information Technology in Construction*, 15(2), 185–201.
- Bernard, R. H. (2006). *Research methods in anthropology: qualitative and quantitative approaches*. *Sociological Research Online* (4th ed., Vol. 5). Oxford: AltaMira Press. doi:10.1525/aa.2000.102.1.183
- Birx, G. W. (2005). BIM Evokes Revolutionary Changes to Architecture Practice at Ayers / Saint / Gross. Retrieved August 19, 2015, from <http://info.aia.org/aiarchitect/thisweek05/tw1209/tw1209changeisnow.htm>
- Bouw Informatie Raad. (2014). BIR Kenniskaart nr.1: Nederlandse BIM Levels. Bouw Informatie Raad. Retrieved from <http://www.bouwinformatieraad.nl/wp-content/uploads/2014/10/kaart01-ned.pdf>
- Bouw Informatie Raad. (2015). BIM Poster. Bouw Informatie Raad. Retrieved from <http://www.bouwinformatieraad.nl/bir-kennisposter/>
- Brewerton, P., & Millward, L. (2001). *Organizational Research Methods: A Guide for Students and Researchers*. London: Sage.
- Bryar, R. M. (2000). An examination of case study research. *Nurse Researcher*, 7(2), 61–78. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.7748/nr2000.01.7.2.61.c6112>
- Cachia, M., & Millward, L. (2011). The telephone medium and semi-structured interviews: a complementary fit. *Qualitative Research in Organizations and Management: An International Journal*, 6(3), 265–277. doi:10.1108/17465641111188420
- Castillo, S. (2014). How Habits Are Formed, And Why They're So Hard To Change. Retrieved May 29, 2015, from <http://www.medicaldaily.com/how-habits-are-formed-and-why-theyre-so-hard-change-298372>
- CBS. (2015a). *De Nederlandse economie*. Netherlands.
- CBS. (2015b, February 27). CBS: Omzet bouw neemt toe, meer woningbouw. Retrieved December 3, 2015, from <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/bouwen-wonen/publicaties/artikelen/archief/2015/omzet-bouw-neemt-toe-meer-woningbouw.htm>
- CBS. (2015c, August 27). CBS: Bijna alle seinen voor de bouw op groen. Retrieved

- December 3, 2015, from <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/bouwen-wonen/publicaties/artikelen/archief/2015/bijna-alle-seinen-voor-de-bouw-op-groen.htm>
- Cha, H. S., & Lee, D. G. (2015). A case study of time/cost analysis for aged-housing renovation using a pre-made BIM database structure. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(4), 841–852. doi:10.1007/s12205-013-0617-1
- Cornell, R. M., Johnson, C. B., & Schwartz, W. C. (2013). Enhancing Student Experiential Learning With Structured Interviews. *Journal of Education for Business*, 88(3), 136–146. doi:10.1080/08832323.2012.659296
- den Heijer, M. (2012). Managementsamenvatting 4D. Ballast Nedam BIM Centrum.
- den Heijer, M., & Adriaanse, A. (2011). BIM applicatielandschap. Ballast Nedam BIM stuurgroep.
- Doelen, J. van der. (2015). Trends en ontwikkelingen Bouw en Onroerend Goed. Retrieved December 3, 2015, from <https://www.ing.nl/zakelijk/kennis-over-de-economie/uw-sector/bouw-en-onroerend-goed/trends-en-ontwikkelingen-bouw-en-onroerend-goed.html>
- Dunst, C. J., & Hamby, D. W. (2012). Guide for calculating and interpreting effect sizes and confidence intervals in intellectual and developmental disability research studies. *Journal of Intellectual and Developmental Disability*, 37(2), 89–99. doi:10.3109/13668250.2012.673575
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* (2nd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Elinwa, A. U., & Joshua, M. (2001). Time-Overrun Factors in Nigerian Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(5), 419–425. Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2001\)127:5\(419\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2001)127:5(419))
- Fallon, K. K., & Palmer, M. E. (2007). *General Buildings Information Handover Guide: Principles, Methodology and Case Studies (NISTIR 7417)*. Secretary. Retrieved from https://www.wbdg.org/pdfs/nistir_7417.pdf
- Farnsworth, C. B., Beveridge, S., Miller, K. R., & Christofferson, J. P. (2015). Application, Advantages, and Methods Associated with Using BIM in Commercial Construction. *International Journal of Construction Education and Research*, 11(3), 218–236. doi:10.1080/15578771.2013.865683
- Farr, R. M. (1984). Interviewing: the social psychology of the inter-view. In *Psychology for Managers* (2nd ed., pp. 182–200). London: Macmillan and Britich Psychological Assiciation.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3rd ed.). London: Sage.
- Freeman, M., Baumann, A., Fisher, A., Blythe, J., & Akhtar-Danesh, N. (2012). Case study methodology in nurse migration research: An integrative review. *Applied Nursing Research*, 25(3), 222–228. doi:10.1016/j.apnr.2012.02.001
- Gao, J., & Fisher, M. (2008). *Framework and Case Studies Comparing Implementations and Impacts of 3D/4D Modeling Across Projects*. Center for Integrated Facility Engineering, Report TR172. Stanford, USA. Retrieved from <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR172.pdf>

- Giel, B., Issa, R. R. a, & Olbina, S. (2010). Return on investment analysis of building information modeling in construction. In *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (p. 153). Nottingham, UK: Nottingham University Press. Retrieved from <http://www.engineering.nottingham.ac.uk/icccbe/proceedings/pdf/pf77.pdf>
- Gilligan, B., & Kunz, J. (2007). *VDC Use in 2007: Significant Value, Dramatic Growth, and Apparent Business Opportunity*. Center For Integrated Facility Engineering, Report TR171. Stanford, USA. Retrieved from <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR171.pdf>
- Hartmann, T., Van Meerveld, H., Vossebeld, N., & Adriaanse, A. (2012). Aligning building information model tools and construction management methods. *Automation in Construction*, 22, 605–613. doi:10.1016/j.autcon.2011.12.011
- Helms, J. E., Henze, K. T., Sass, T. L., & Mifsud, V. A. (2006). Treating Cronbach's Alpha Reliability Coefficients as Data in Counseling Research. *The Counseling Psychologist*, 34(5), 630–660. doi:10.1177/0011100006288308
- Het Nationaal BIM Platform. (2015). Historie - De BIM Geschiedenis. Retrieved August 27, 2015, from <http://www.hetnationaalbimplatform.nl/kenniscentrum/bim-basics/historie/>
- Howell, D. C. (2010). *Statistical methods for Psychology* (7th ed.). KY, USA: Wadsworth Publishing.
- Howell, D. C. (2012). *Statistical methods for Psychology* (8th ed.). Cengage Learning Inc.
- Koppula, S. (2013). CR2307: Implementing BIM during the Construction Phase of Highway Project. Retrieved May 4, 2015, from <http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2013/infrastructure-design-suite/cr2307>
- Kumaraswamy, M. M., & Chan, D. W. M. (1998). Contributors to construction delays. *Construction Management and Economics*, 16(1), 17–29. doi:10.1080/014461998372556
- Kvale, S. (1996). *InterViews - An introduction to qualitative research interviewing*. Thousand Oaks: Sage.
- Lawrence, M., Pottinger, R., Staub-French, S., & Nepal, M. P. (2014). Creating flexible mappings between Building Information Models and cost information. *Automation in Construction*, 45, 107–118. doi:10.1016/j.autcon.2014.05.006
- Liu, H., Al-Hussein, M., & Lu, M. (2015). BIM-based integrated approach for detailed construction scheduling under resource constraints. *Automation in Construction*, 53, 29–43. doi:10.1016/j.autcon.2015.03.008
- Ma, Z., Wei, Z., & Zhang, X. (2013). Semi-automatic and specification-compliant cost estimation for tendering of building projects based on IFC data of design model. *Automation in Construction*, 30, 126–135. doi:10.1016/j.autcon.2012.11.020
- Marzouk, M., & Hisham, M. (2014). Implementing earned value management using bridge information modeling. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1302–1313. doi:10.1007/s12205-014-0455-9
- McGraw Hill Construction. (2009). *The business value of BIM: Getting building information modeling to the bottom line*. Bedford, USA: McGraw-Hill Construction Research and Analytics. Retrieved from

- http://fiatech.org/images/stories/research/2009_BIM_SmartMarket_Report.pdf
- Meerveld, H. van, Hartmann, T., Adriaanse, A., & Vermeij, C. (2009). *Reflections on Estimating - the Effects of Project Complexity and the Use of BIM on the Estimating Process* (No. WP 6). Enschede, Netherlands. Retrieved from http://www.utwente.nl/ctw/visico/Publications/WP/WP6_Meerveld.pdf
- Mezher, T. M., & Tawil, W. (1998). Causes of delays in the construction industry in Lebanon. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 5(3), 252–260. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1108/eb021079>
- Nachar, N. (2008). The Mann-Whitney U: A Test for Assessing Whether Two Independent Samples Come from the Same Distribution. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 4(1), 13–20. Retrieved from http://www.tqmp.org/doc/vol4-1/p13-20_Nachar.pdf
- Niknam, M., & Karshenas, S. (2015). Integrating distributed sources of information for construction cost estimating using Semantic Web and Semantic Web Service technologies. *Automation in Construction*, 57, 222–238. doi:10.1016/j.autcon.2015.04.003
- Noy, C. (2008). Sampling Knowledge: The Hermeneutics of Snowball Sampling in Qualitative Research. *International Journal of Social Research Methodology*, 11(4), 327–344. doi:10.1080/13645570701401305
- Othman, A. A., Torrance, J. V., & Hamid, M. A. (2006). Factors influencing the construction time of civil engineering projects in Malaysia. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 13(5), 481–501. doi:10.1108/09699980610690756
- Parra-Frutos, I. (2009). The behaviour of the modified Levene's test when data are not normally distributed. *Computational Statistics*, 24(4), 671–693. doi:10.1007/s00180-009-0154-z
- Peterson, F., Fischer, M., & Tutti, T. (2009). *Integrated Scope-Cost-Schedule Model System for Civil Works*. Center for Integrated Facility Engineering, Working Paper WP114. Stanford, USA. Retrieved from <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/WP114.pdf>
- Qian, A. Y. (2012). *Benefits and Roi of Bim for Multi-Disciplinary Project Management*. Singapore. Retrieved from <http://www.icoste.org/wp-content/uploads/2011/08/Benefits-and-ROI-of-BIM-for-Multi-Disciplinary-Project-Management.pdf>
- Ridenour, C. S., & Newman, I. (2008). The Research Process Revealed : Mixed Methods With a Purpose-Driven Consistency. *Journal of Mixed Methods Research*, 3(2), 197–198. doi:10.1177/1558689808331033
- Rijkswaterstaat. (2010). COINS Building Objects Virtual Construction. Retrieved November 20, 2015, from <http://www.coinsweb.nl/>
- Sankar, P., & Jones, N. L. (2015). Semi-Structured Interviews in Bioethics Research. In *Empirical Methods for Bioethics: A Primer* (pp. 117–136). Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1016/S1479-3709\(07\)11006-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1479-3709(07)11006-2)
- Shen, Z., & Issa, R. R. a. (2010). Quantitative evaluation of the BIM-assisted construction detailed cost estimates. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 15, 234–257.
- Staub-French, S., & Fischer, M. (2001). *Industrial Case Study of Electronic Design, Cost, &*

- Schedule Integration. Center for Integrated Facility Engineering, Report TR122.* Stanford, USA. Retrieved from <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR122.pdf>
- Stoy, C., Dreier, F., & Schalcher, H.-R. (2007). Construction duration of residential building projects in Germany. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 14(1), 52–64. doi:10.1108/09699980710716972
- Sullivan, G. M., & Feinn, R. (2012). Using Effect Size - or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of Graduate Medical Education*, 4(3), 279–282. doi:10.4300/JGME-D-12-00156.1
- The University of Alabama. (2015). 4. The Central Limit Theorem. Retrieved September 16, 2015, from <http://www.math.uah.edu/stat/sample/CLT.html>
- Thomas, G. (2011). A Typology for the Case Study in Social Science Following a Review of Definition, Discourse, and Structure. *Qualitative Inquiry*, 17(6), 511–521. doi:10.1177/1077800411409884
- Trochim, W. (2006). *The Research Methods Knowledge Base* (2nd ed.). Cincinnati: Atomic Dog Publishing.
- Tserng, H.-P., Ho, S.-P., & Jan, S.-H. (2014). Developing BIM-assisted as-built schedule management system for general contractors. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(1), 47–58. doi:10.3846/13923730.2013.851112
- US National Building Information Model Standard Project Committee. (2015). National BIM Standard - United States. Retrieved August 26, 2015, from <https://www.nationalbimstandard.org/faqs#faq1>
- Williams, P. (2010). BIM needs a mindset change. *Journal of Commerce*, (26), 1.
- Zhiliang, M., Zhenhua, W., & Xiude, Z. (2011). Intelligent Generation of Bill of Quantity from IFC Data Subject to Chinese Standard. *Department of Civil Engineering, Tsinghua University. Glodon Co., Ltd. Beijing, China.* Retrieved from <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/S22-3.pdf>
- Zuppa, D., Issa, R., & Suermann, P. (2009). BIM's impact on the success measures of construction projects. *Computing in Civil Engineering*, 503–512. doi:10.1061/41052(346)50

Appendices

The appendices contain relevant information that also led to the result of this thesis.

Appendix A: Interview design

In the first chapter “Introduction”, the choice was made to use semi-structured interviews with experts to validate factors derived from literature and collect extra information about relevant factors. The design of the interviews, meaning the type of questions asked and the order in which these questions will be asked, is based on a well-known book by Dr. Steinar Kvale (Kvale, 1996). With these guidelines the interview guide was established for both project duration and cost estimation. These guides are in Dutch, because this is the native language and the language in which the interviews will be held:

Interview handleiding Projectduur

1. Informatie deelnemer:

- Naam:
- Geslacht: Man / Vrouw
- Leeftijd:
- Functie:
- BN Afdeling:
- BN Vestiging:

2. Introductie

- Voorstellen en welkom heten
- Vragen of het goed is om je te zeggen i.p.v. u
- Doel interview uitleggen
- De belangrijkheid van expertise/visie deelnemer aangeven
- Aangeven dat informatie behandeld wordt als vertrouwelijk
- Vragen naar goedkeuring voor opnemen interview

3. Start interview

- Voor dit interview wordt met 'projecten', uitsluitend bouwkundige projecten bedoeld.
- *Hoe lang bent u werkzaam in dit vakgebied?*
- *Hoe lang bent u werkzaam bij BN?*
- *In welke regio's bent u voornamelijk werkzaam?*

4. Vragen voor interview

- *Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de projectduur?*
- *Ik kan me voorstellen dat de complexiteit van een project invloed heeft op de duur van een project; een erg complex project zal de duur gemakkelijker kunnen verhogen dan een vrij eenvoudig project. Klopt deze aanname, en zo ja op welke manier kan de complexiteit dan zorgen voor een verhoogde projectduur?*
 - *Zo niet, waarom niet?*
- *Een klantvraag, die misschien verandert gedurende een project, of tijdsdruk kan opleveren, kan die de projectduur beïnvloeden?*
- *Op welke manieren kunnen onderaannemers of leveranciers zorgen voor een vertraging in het project? (Late leveringen)*
- *Komt het ook wel voor dat er een slechte of onderschatte planning is gemaakt, en dat deze dan, nadat de opleverdatum contractueel vastligt, aangepast wordt (wat natuurlijk ook voor problemen richting de projectduur kan leiden)?*
- *Op welke manier kan communicatie invloed uitoefenen op de projectduur?*
 - *Trage snelheid bij nemen van beslissingen*
 - *Versnippering van informatie*
 - *Persoonsgebonden informatie (slechte verspreiding van informatie onder het team)*

Checklist met punten:

- *Ontwerp veranderingen*
 - *Slecht ontwerp*
 - *Hoeveelheden vergroting*
- *Beschikbaarheid van tekeningen*
- *Meer/minderwerk*

5. BIM implementatie vraag

- Waarom denkt u dat BIM nog niet volledig, of in grote mate, geïmplementeerd is binnen Ballast Nedam/Heddes/Laudy?

6. Afsluiten interview

- Bedanken van de deelnemer
- Vragen of er nog dingen zijn die hij/zij wilt vertellen

Interview handleiding Kostenschatting

1. Informatie deelnemer:

- Naam:
- Geslacht: Man / Vrouw
- Leeftijd:
- Functie:

- BN Afdeling:
- BN Vestiging:

2. Introductie

- Voorstellen en welkom heten
- Vragen of het goed is om je te zeggen i.p.v. u
- Doel interview uitleggen
- De belangrijkheid van expertise/visie deelnemer aangeven
- Aangeven dat informatie behandeld wordt als vertrouwelijk
- Vragen naar goedkeuring voor opnemen interview

3. Start interview

- Voor dit interview wordt met ‘projecten’, uitsluitend bouwkundige projecten bedoeld.
- *Hoe lang bent u werkzaam in dit vakgebied?*
- *Hoe lang bent u werkzaam bij BN?*
- *In welke regio's bent u voornamelijk werkzaam?*

4. Vragen voor interview

- *Hoe ziet het kostenschattingsproces er uit?*
- *Waar zit de grootste tijdsfactor in dit proces? Hoe is de tijdsverdeling verdeeld over het maken van een kostenschatting, van begin tot eind?*
- *Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de kostenschatting?*
- *Hoeveelheden uittrekken is het basisproces van een kostenschatting maken, klopt dat?*
 - *Zo niet, waarom niet?*
- *De kwaliteit van de tekeningen/modellen, hoe hebben zij invloed op de kwaliteit van een kostenschatting?*
- *De kwaliteit/het detail van beschikbare informatie lijkt ook een factor die invloed uit kan oefenen op het kostenschattingsproces, klopt dit? Hoe beïnvloedt dit de kostenschatting dan?*
 - *Zo niet, waarom niet?*
- *Wat is een gemiddeld benodigde tijd om een kostenschatting op te zetten?*

5. BIM implementatie vraag

- Waarom denkt u dat BIM nog niet volledig, of in grote mate, geïmplementeerd is binnen Ballast Nedam/Heddes/Laudy?

6. Afsluiten interview

- Bedanken van de deelnemer
- Vragen of er nog dingen zijn die hij/zij wilt vertellen

Appendix B: Interviews

This appendix includes the elaborated interviews per employee. The questions asked by the interviewer are in **bold**, the answers are in regular font. The questions are arranged along the path the interview has gone through. This could differ a little per individual interview.

Informatie deelnemer:

[CONFIDENTIAL]

Na het welkom heten, het doel van het interview uitleggen en de vragen met betrekking tot werkervaring, start het interview.

1: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de projectduur?

Welk soort bewerkingen zijn het en in welk jaargetijde. Heb ik een binnenwerk dan is dat vrij standaard. De vraag is dan vaak hoeveel moet je doen in een woning zonder dat de bewoner helemaal gek wordt. Dan kan het wel eens zo zijn dat je een planning in 2 stukken moet opsplitsen. Anders is een standaard dat je gauw 15 dagen in een woning bezig bent. Tegenwoordig krijgen we vaak de vraag “one-piece-flow”. Dit betekent dat we de bewoners meer invloed moeten laten hebben op de planning. De keuzevrijheid hebben in wanneer het uitgevoerd wordt; dat is natuurlijk belangrijk voor je planning. En als je een schilrenovatie hebt, dan is het in welk jaargetijde kun je gaan werken, dat heeft een grote invloed op je werk.

2: Dat de bewoner invloed kan uitoefenen is eigenlijk vooral zo min mogelijk overlast veroorzaken voor de bewoner zodat deze zijn gang kan gaan?

Ja klopt, zo min mogelijk tijd, maar tegenwoordig ook van wanneer wil deze bewoner dat wij komen. Vroeger was het gewoon wij beginnen morgen bij jou, en de buurman is de dag erop aan de beurt. Daar gaan ze een beetje van af. Het is nu steeds meer: ik heb graag dat je in februari komt, en de buurman wil graag in maart bijvoorbeeld. Dat is een beetje het spanningsveld wat er op het moment leeft.

3: En als ik ga kijken naar factoren die een project kunnen vertragen, of wellicht versnellen, wat zijn dan belangrijke factoren hiervoor?

De bewoners, dat ze thuis zijn; er moet toegang verkregen worden tot de woning. En het weer, dat zijn de 2 hoofdmotoren.

4: Ik kan me voorstellen dat de complexiteit van een project invloed heeft op de duur van een project; een erg complex project zal de duur gemakkelijker kunnen verhogen dan een vrij eenvoudig project. Klopt deze aanname?

Dat klopt ja.

5: Op welke manier kan de complexiteit dan zorgen voor een verhoogde projectduur?

Bij een complex werk, kijk als je een flat gaat doen dan heb je zeker bij de schil hele andere zaken waar je tegenaan gaat lopen: balkonhekken, komt er wel of geen steiger bij de achterzijde van het gebouw, allemaal dat soort dingen. Dus de complexiteit kan zeker effect hebben op de projectduur, het ligt er ook aan wat voor keuzes er gemaakt worden. Ben je bijvoorbeeld verplicht om bepaalde partijen in te schakelen of heb je daar meer vrijheid in? Zijn er nog vergunningen nodig, dat kan bijvoorbeeld roet in het eten gooien. Ga je asbest tegenkomen?

6: Dus eigenlijk ook de huidige conditie waarin het bouwwerk verkeert, en contractueel hoe vast je zit aan onderaannemers en leveranciers?

Ja, die kunnen inderdaad allemaal invloed hebben.

7: Bij sommige projecten heeft een vertraging van 1 maand pas negatieve gevolgen, terwijl bij een ander project een vertraging van 1 dag al negatieve gevolgen heeft voor de projectduur. Komt u dit tegen?

Ja, ik heb nu ook een werk in renovatie met een vaste einddatum en die hebben we niet gered, dan heb je een groot probleem. En daar heeft het weer heel veel invloed op gehad. Er zat een gevelisolatie met steen strips. De isolatie kun je nog vrij lang plakken, maar voor de mortelweefsellaag en de steen strips, de lijm, mag het niet onder de 5°C zijn. Dus als je daar last van krijgt, dan heb je een probleem naar het eind toe, en zeker als je van tevoren al voor een heel hoog tempo gekozen hebt. Op een gegeven moment houdt het op en kun je niet meer sneller.

8: Een klantvraag, die misschien verandert gedurende een project, of tijdsdruk kan opleveren, kan die de projectduur beïnvloeden?

Ja, bij het project wat ik net beschreef was het voornamelijk de 6% BTW regeling die was voor de opdrachtgever heel belangrijk. Dat gaat uiteindelijk ook in ons contract mee dus zo'n factor heeft wel een groot effect ja.

9: Daardoor heb je dus minder speling inderdaad waardoor je tijdsdruk vergroot?

Ja, inderdaad.

10: Op welke manieren kunnen onderaannemers of leveranciers zorgen voor een vertraging in het project?

Sowieso de levertijden, bijvoorbeeld te laat leveren. Het kan ook onze financiële situatie zijn nu, die heeft op het moment ook effect waardoor sommige partijen het risico niet durven nemen of je moet eerst betaald hebben, of een bankgarantie, of wat dan ook. Soms hebben ook keuzes van je opdrachtgever er mee te maken: de kleuren zijn laat bekend of noem maar op, dat kunnen duizend en een dingen zijn.

11: Dus dat is ook de aanwezigheid van informatie wanneer deze nodig is, en de aanwezigheid van tekeningen/modellen?

Ja, dat speelt inderdaad ook een rol mee zoals ik al aangaf, dat de keuzes van je opdrachtgever ook van grote invloed kunnen zijn.

12: Komt het ook wel voor dat er een slechte of onderschatte planning is gemaakt, en dat deze dan, nadat de opleverdatum contractueel vastligt, aangepast wordt (wat natuurlijk ook voor problemen richting de projectduur kan leiden)?

Jazeker, ik denk dat je dat ook zeker in de renovatie tegenkomt. Wij maken vooraf een planning per woning. Vaak wordt er een modelwoning gemaakt door een andere aannemer, dan mag je dan als een van de partijen die het werk mogen gaan maken, gaan kijken. Je neemt een werk aan, dan ga je pas uitbesteden. Je gaat dan heel vlug starten, zeker bij een renovatie en dan gunnen we ons meestal niet de tijd. Eigenlijk moet je een aantal woningen maken, stoppen, optimaliseren en dan door. Eigenlijk moet je dus optimaliseren en een nieuwe start maken. Maar wat wij doen, wij starten, je gaat volle snelheid door en dan kom je dingen tegen die uiteindelijk blijken anders te zijn in het werk of tegenvallen. En dan krijg je dat bijna niet meer opgelost, dus we komen dat wel regelmatig tegen. Bij het ene werk ius dat weer erger dan bij het ander.

13: Dus zoiets zou je dan weer kunnen koppelen aan de complexiteit van een project?

Ja kijk als je alleen een badkamer, keuken, toilet moet maken, dat is gesneden koek. Dan is er minder risico daarin. Maar zeker als je kijkt naar als er asbest in een woning zit. Een werk dat ik laatst heb gehad had hele slechte daken en dat heeft echt zijn effect gehad op het werk. Dan heeft complexiteit wel een effect ja.

14: En als er dan gekeken wordt naar dat asbest in de woning, is dat van tevoren dan wel bekend bij het maken van de planning of treedt zoiets daarna pas op?

Dat was toen niet bekend, het kwam daarna. Het was dus echt iets onvoorzien.

15: Op welke manier kan communicatie invloed uitoefenen op de projectduur?

Ja, ook. Het werk waar ik nu aan bezig ben is een UAV-GC werk. Daar is eigenlijk alles bij ons neergelegd, nu is dat wel een moeilijke opdrachtgever moet ik zeggen. Dus als er op een gegeven moment dat soort verrassingen komen zoals, slechte daken, asbest in de schoorsteen, noem het allemaal maar op, dan moet je daar ook alle communicatie voor gaan doen. Ondanks dat dat eigenlijk een probleem van de opdrachtgever was, want zij zeiden dat er geen asbest aanwezig was: de daken zouden niet zo slecht zijn, enzovoorts enzovoorts. Maar goed dan heeft dat wel effect op jou team ja. Dan krijg je er een hele hoop werk bij.

16: En staat dat dan in contract vast van tevoren, dat het asbest er niet zou zijn.

Nee, je hebt wel een rapport waarin staat dat er niks te verwachten is. Maar als jij in volle productie zit en je bent aan het slopen dan is er geen stop meer want die bewoner zit daar, je moet door. Zeker in een renovatie, omdat je in een bewoonde toestand zit, maakt dat het heel lastig. Bij een leegstaande flat en je gaat renoveren, dan stop je bij wijze van, maar dat gaat in zo'n geval gewoon niet.

17: En trage snelheid bij nemen van beslissingen in het traject van het project, is dat iets wat u tegenkomt?

Ja zeker, als je in een bewoonde woning bezig bent kan het zijn dat er vandaag iets gebeurt en dat je er dan ook vandaag antwoord op moet hebben omdat je er anders morgen last van hebt, of de bewoner heeft er last van. Bij de meeste corporaties is dat geen probleem, maar bij deze in dit geval wel en dan heeft de bewoner er last van en dat is uiteindelijk de klant he. Als de klant vervelend wordt hebben wij er last van maar de opdrachtgever ook. Dan is dat een hele cirkel waarin je terecht gaat komen. Dus dat gebeurt zeker ja, dat beslissingen sneller genomen moeten worden.

18: En versnippering van informatie die intern en extern verspreid wordt, levert zoiets wel eens problemen op?

Zoets is in renovatie heel erg beperkt. Er zijn veel minder tekeningen, minder informatie, dus versnippering zal heel zelden optreden. Het technische is meestal niet zo spannend, maar het sociale wordt steeds belangrijker; de klant.

19: Als er gekeken wordt naar persoonsgebonden informatie, komt het voor dat er slechte verspreiding van informatie onder het team is, dat persoonlijke informatie bij de persoon blijft en dat dit problemen kan geven als die persoon er niet is?

Ja, als iemand ziek wordt kan dat een probleem zijn. Onze teams zijn wel niet zo groot, dus als ik ziek wordt staan mijn mappen hier, maar er zijn ook zaken die ik op de computer op de C-schijf opsla. Daar kan niemand anders dus bij dus dat is ook niet goed, dus dat gebeurt zeker wel ja. En dat is met informatie in de bouwkeet, onze netwerken zijn vaak traag, dus veel uitvoerders werken gauw op de C-schijf en zetten het eens in de zoveel tijd op het netwerk. Als iemand dan acuut ziek wordt kun je daar zeker last van hebben.

20: De beschikbaarheid van informatie en tekeningen is al ter sprake gekomen eerder en die oefenen invloed uit op de projectduur. En eventuele ontwerp veranderingen, kunnen die problemen creëren met betrekking tot je projectduur?

Heel beperkt, dat gebeurt bij ons heel erg weinig.

21: Meer- en minderwerken, hoeveelheden die veranderen, komt dit vaak voor?

Dat hebben wij heel erg veel. Het verschil met een nieuwbouw wat wij vaak zeggen is dat je bij nieuwbouw een zak geld hebt die is al gevuld als je gaat starten. Dan is het ook heel

duidelijk. Als je een renovatie gaat maken, wij geven een begroting af, bijvoorbeeld een toilet betegelen en de bovenkant van de tegels die kitten we af. Als er in zo'n modelwoning dan toch net anders gewerkt wordt, wordt dat weer verrekend. Je hebt wel een zak geld, dan gaan we daar vanuit dat er 75 keukens mee doen, maar uiteindelijk zijn het er 40, of 100. Wij hebben heel veel te verrekenen en heel veel meer- en minderwerken.

22: En dat gebeurt voornamelijk in de beginfase van het project?

Gedurende het hele traject, maar we hopen wel dat we in de beginfase voorkomende dingen getackled hebben.

23: Hoe ziet het kostenschattingsproces er uit van begin tot eind?

Dat ligt er een beetje aan wat voor soort werk het is. Ik heb een ketensamenwerking, dan krijgen wij een budget van de opdrachtgever en we denken dat we dat en dat gaan doen. Dan gaan wij kijken en zeggen bijvoorbeeld ik zou de kozijnen niet vervangen die zijn nog niet, die moet je een keer schilderen. Dan zijn wij al vanaf het ramen of investeringsbudget van de opdrachtgever aan het meebepalen tot en met de specifieke begroting. Bij een aanbesteding krijg je hoeveelheden, tekeningen, dan ga je door de wijk heen en ga je dingen afprijsen op basis van hoeveelhedenstaat.

24: Als er dan gekeken wordt naar het proces van kostenschatting bij een aanbesteding, waar zit de grootste tijdfactor in dit proces?

Ik denk dat er bij de afdeling calculatie de meeste tijd zit in het uitrekken en aanvragen doen bij onderaannemers. Het bepalen van de prijs van de hoeveelheden.

25: Hoe is de tijdsverdeling verdeeld over het maken van een kostenschatting, van begin tot eind?

Bij renovatie moet alles van prijs voor de start van het werk duidelijk zijn. Gemiddeld zal er een week of 6 aan de kostenschatting gewerkt worden.

26: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de kostenschatting?

Als we van tevoren te horen krijgen van we moeten iets doen, en dan blijkt dat we het toch niet hoeven te doen, dat er werkzaamheden wegvalLEN. In een renovatie staat er dan vaak je moet 10 meter kitwerk doen, en uiteindelijk doordat we slimmer zijn doen we het voegje inwassen en je hebt alleen nog vloer kitwerk, daardoor verdien je geld. Een leidingwerk dat in plaats van 50x50, 20x20 wordt, dat is voor ons snel verdiend natuurlijk. Dus het wegvalLEN van werk en dat je op een gegeven moment slimmer wordt door ervaring.

27: Wat heeft invloed op hoe goed een kostenschatting het eindproduct representeert?

Bij ons bij de renovatie is het meestal als je iets niet berekend hebt, of iets niet gezien hebt. Als er bijvoorbeeld tegels in de badkamer overlijmd mogen worden, maar in bestek staat dat ze afgehakt moeten worden, dan heb je een probleem. Technisch is een renovatie niet zo moeilijk, maar bij dingen over het hoofd zien of informatie die ontbreekt op het moment dat het nodig is ontstaan problemen.

28: Hoeveelheden uittrekken is het basisproces van een kostenschatting maken, klopt dat?

Ja, vanuit de hoeveelheden wordt dan weer de prijs bepaald en die bepaald uiteindelijk je kostenschatting.

29: De kwaliteit van de tekeningen/modellen, hoe hebben zij invloed op de kwaliteit van een kostenschatting?

Die kunnen er zeker invloed op hebben. Kijk als je van tevoren weet waar je tegenaan gaat lopen, als dat goed uitgewerkt is, dan kun je een goede prijs maken. Het detail van de tekeningen is zeker belangrijk. Dit geeft ons ook kansen. Als wij slechte tekeningen krijgen bijvoorbeeld, dan kunnen er andere voorstellen gedaan worden naar de opdrachtgever.

30: De kwaliteit/het detail van beschikbare informatie lijkt ook een factor die invloed uit kan oefenen op het kostenschattingsproces, dit is net al ter sprake gekomen en beïnvloed de kostenschatting.

Ja, klopt.

31: Wat is een gemiddeld benodigde tijd om een kostenschatting op te zetten? Ook dat hebben we al besproken en was gemiddeld 6 weken?

Inderdaad.

32: Waarom denkt u dat BIM nog niet volledig, of in grote mate, geïmplementeerd is binnen Ballast Nedam?

Ik persoonlijk denk dat het voor ons hartstikke goed zal zijn, maar dat je je onmisbaar maakt voor je opdrachtgevers. Als wij alle gegevens hebben, eigenlijk kunnen ze dan niet meer om je heen, zo zie ik dat. Ik denk dat dat opdrachtgevers dan ook soms wel tegenhoudt. Je kunt BIM in allerlei gradaties doen en ik denk niet dat iedereen daar al aan toe is, je moet keuzes maken welke partijen daar in mee gaan. Dat heeft weer invloed op je kostenverhaal. Bij simpele nieuwbouw waar je met een kleine installateur op pad zou kunnen gaan, of je moet dan naar een grote club gaan die dan weer duurder zijn. Willen en kunnen andere partijen wel aan BIM meewerken en de vrijheid van de opdrachtgever die denk ik belemmerd wordt omdat ze dan altijd naar een specifieke partij moeten omdat zij alle gegevens hebben.

33: Is er verder nog iets dat u wilt vertellen of aanvullen?

Zo even niet, ik denk dat er bij ons steeds meer verschuiving is naar de sociale kant. Daar zijn wij wellicht ook nog steeds niet zo goed om, om dat qua tijd te benoemen. De klantvraag blijft belangrijk.

Informatie deelnemer:**[CONFIDENTIAL]**

Na het welkom heten, het doel van het interview uitleggen en de vragen met betrekking tot werkervaring, start het interview.

1: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de projectduur?

In mijn beleving is dat de maatgevende factoren zijn de kwaliteit van de informatie, wanneer die goed is. Vervolgens in hoeverre er gedurende het bouwproces nog zaken moeten worden bijgesteld.

2: De kwaliteit en beschikbaarheid van informatie en tekeningen wanneer deze nodig zijn kunnen dan dus invloed uitoefenen op de projectduur?

Precies, maar vervolgens heb je ook opdrachtgevers die een aanbesteding uitschrijven van ik wil gebouw X hebben en dan eigenlijk er al achter zijn dat het eigenlijk X-plus wordt en gedurende het bouwen zijn aan het bedenken wat dat “plus” is en dan op een gegeven moment zeggen van: hey, wat moet ik nou? Als je precies kan bouwen hetgeen wat een opdrachtgever wilt heb je het geheel zelf in de hand. Externe factoren zijn meestal daarin bepalend.

3: Op welke manieren kunnen onderaannemers of leveranciers zorgen voor een vertraging in het project?

Als ze hun afspraken niet nakomen hebben ze aardig invloed op de projectduur, maar dat is een kwestie van goed selecteren, goed contracteren. Ook met betrekking tot late leveringen; als jij je voorbereiding niet op een rij hebt staan en niet weet wat je moet maken dan heeft dat invloed. Maar zo’n levertijd is altijd moeilijk om een opdrachtgever ervan te overtuigen dat hij gewoon 3 maanden van tevoren moet zeggen dit wordt het nu. Als hij dan zegt maar zover zijn jullie nog niet, dan kun je zeggen nee maar wacht even, kijk, ik moet nu mijn bestelling plaatsen en dan heb ik over 3 maanden dat stuk aan het werk. En als jij nu niet je ei legt hebben we over 3 maanden een probleem.

4: Hoe ziet het kostenschattingsproces er uit van begin tot eind?

Ik kom vanuit de projectontwikkeling kant, en je begint daar heel grof. Misschien nog wel grover als m^2 BVO, je doet misschien een inschatting van wat zou dat in verhouding van een

investering kunnen zijn. Vervolgens ga je over naar een inschatting op basis van bouwprijzen, investeringsprijzen van BVO, wat vervolgens wordt verfijnd naar een elementenraming waarin daadwerkelijk wordt bekeken wat zijn factoren van invloed op die m^2 prijs; wordt er een gevelvloerverhouding bepaald, je kunt je voorstellen als ik 10 lagen op elkaar zet dat dat een andere m^2 -prijs genereerd als dat ik met 2 lagen op elkaar zit. Dat doe je aan de hand van kengetallen, ook gebaseerd op ervaringscijfers uit het verleden en uiteindelijk komt er gewoon een begroting uit die daadwerkelijk op begrotingsniveau aangeeft welke materialen, welke lonen, welke onderaannemers en installatiekosten er aanwezig zijn en dat geeft dan een bouwprijs. Dat gaat dus echt van grof naar fijn.

5: Als er dan gekken wordt naar het proces van kostenschatting, waar zit de grootste tijdfactor in dit proces?

Het begroten kost het meeste tijd, vooraf wanneer ik heel simpel een m^2 -prijs moet doen dan heb ik een stukje in mijn hoofd zitten wat ik baseer op ervaringscijfers en die zijn zo gegenereerd, dat is een heel simpel rekensommetje. Dat rekensommetje wordt steeds complexer. De begroting wordt gemaakt door afdeling calculatie waarin daadwerkelijk dus alle kosten worden ontrafeld in materiaalkosten, uren.

6: Hoeveelheden uittrekken is dus eigenlijk wel het basisproces van een kostenschatting maken?

Ja, die hoeveelheden zijn nog altijd bepalend. Ook BVO's moet ik bepalen, alleen BVO's is 1 rekensesse waarin ik daadwerkelijk aangeef van hoe zit dat; kan ik in mijn ontwerptraject op basis van die BVO's blijven sturen, als een bouw groter wordt wordt het duurder, kleiner wordt het goedkoper. Op enig moment ga ik dat ontleden in elementenramingen zoals ze dat noemen, waarin daadwerkelijk de hoofdzaken van gevel, vloeren, daken, et cetera worden bepaald aan de hand van materialen en daar weer hoeveelheden van worden bepaald. En uiteindelijk ga je dan de hoeveelheden bepalen die nodig zijn om begroten waar je daadwerkelijk zometeen ook de bestellingen op zou kunnen doen.

7: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de kostenschatting?

Naar mijn beleving is dat je daadwerkelijk de hoogte van de kosten 100% bepaald door het ontwerp en de materiaalkeuze, je kunt dat duur of goedkoop maken binnen een zelfde oppervlakte. Heeft ook weer een stukje met kwaliteitsbeleving te maken. Ik denk dat voor het bepalen van ie hoeveelheden met name, het gegeven waarop je het baseert bepalend is; wanneer ik een digitale tekening krijg kan ik dat heel makkelijk digitaal doen, maar wanneer

ik dat alleen maar op basis van een schets op papier krijg op een hele grote schaal, dus een hele kleine tekening, is dat daardoor onnauwkeurig en misschien wel veel werk.

8: Dus kwaliteit van de tekeningen/modellen hebben dus zeker invloed op de kwaliteit van een kostenschatting?

Zeker ja, nauwkeurigere tekeningen met een hoger detail zorgen ervoor dat je kostenschatting ook nauwkeuriger kan zijn.

9: Ook de kwaliteit/het detail van beschikbare informatie lijkt een factor die invloed uit kan oefenen op het kostenschattingsproces, klopt dat?

Ja, zoals ik net al zei die kosten worden bepaald door hoeveelheden en prijs. Die hoeveelheid, of ik een gebouw groot of klein maak, scheelt daarin ook van is dat tegen een hoge prijs of een lage prijs. Die kwaliteit van tekeningen heeft met name invloed op de hoeveelheid, informatie daaraan gekoppeld heeft met name invloed op de kwaliteit en daarom ook op de hoogte van de prijs. Dus hoe meer en exacter die informatie is ten aanzien van kwaliteit, hoe beter ook die informatie ten aanzien van die prijs is.

10: En als er gekeken wordt naar het kostenschattingsproces, hoe lang duurt dat gemiddeld?

Ik doe dat nooit meer zelf, ik heb dat heel lang geleden nog zelf gedaan, maar doe dat dus niet meer en dat is iets wat door de calculatie gedaan wordt. Afhankelijk van de vraagstelling wat je doet, hoe groot het project is, hoe ver in detail je dat nodig hebt, duurt dat lang of duurt dat korter. Dus projectafhankelijk maar ook fase afhankelijk. Je kunt je voorstellen dat een kostenraming in een vroege fase gebaseerd op BVO's veel minder werk en minder tijd vergt als dat je een begroting maakt in je eindfase.

11: Waarom denkt u dat BIM nog niet volledig, of in grote mate, geïmplementeerd is binnen Ballast Nedam?

Omdat we heel simpel afhankelijk zijn van mensen die ons informatie aanleveren en op het moment dat wij... BIM dat doe je, of dat doe je niet. Als je dat wilt doen moet je dat zo vroeg mogelijk doen. Als daar een stukje traject is opgestart door derden zonder BIM en wij stappen in, dan kunnen wij op dat moment niet BIM gaan afdwingen want dan moeten we een hele boel mensen een heel hoop werk gaan laten overdoen. Wanneer je dat vroeg implementeert dan kun je BIM, en het rendement van BIM, doortrekken. We hebben een hele hoop processen zelf in de hand maar ook een hoop niet, en als een niet geBIMd project voorgelegd krijgen, moeten we dan zeggen dat doen we niet want we doen alleen maar BIM? Dat is volgens mij bepalend waarom nog niet alles met BIM gedaan wordt. De mensen die voorafgaan aan het traject zijn heel bepalend of er wel of niet met BIM gewerkt wordt. Mijn

ervaring is dat als je het zo vroeg mogelijk inzet heb je daar het meeste rendement van maar kun je ook tussendoor het als sturend element gebruiken. Wanneer er vanaf start met BIM gewerkt wordt is ook alles goed opgebouwd en makkelijk het zo in BIM in te laden, wanneer dat niet zo is is dat altijd een hele hoop werk en is de vraag; wie gaat dat betalen? Krijgen we de investering aan uren die nodig zijn dan, er ook ooit weer uit? Het grote voordeel van BIM zie ik niet op het kostenaspect voor kostenschattingen maar voor een reductie in faalkosten. Dat het werk in 3D model ge-engineerd wordt en er vroeg fouten door clash detections worden onderkend, in plaats van dat die fouten pas buiten op het werk erkend worden. Dan is een oplossing een veelvoud duurder dan een zulke oplossing in de engineeringfase, buiten het feit dat je nog kosten krijgt door oponthoud en dergelijke die er nog bij komen.

12: Is er verder nog iets dat u wilt vertellen of aanvullen?

Misschien nog even als aanvulling. Ik ben dus senior projectmanager maar ik kom vanuit de projectontwikkeling. Met name in het voortraject wordt bepaald wat er in de bouwfase gebeurd. Het BIM moet je in die voorfase al beginnen, dan kun je inderdaad het BIM gedurende het hele traject doorzetten en uitrollen. Als er pas later met BIM begonnen wordt heb je al een heel stuk rendement gemist. Want ook in het begin traject heb je rendement van BIM door onder andere die clash controles en daardoor je risico's kunt minimaliseren.

Informatie deelnemer:**[CONFIDENTIAL]**

Na het welkom heten, het doel van het interview uitleggen en de vragen met betrekking tot werkervaring, start het interview.

1: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de projectduur?

Bijvoorbeeld tijdige levering van de materialen, dan kom je meteen bij het hoofdstuk planning. Een goede planning is belangrijk. Dat is eigenlijk het belangrijkste.

2: Je benoemt tijdig leveren, daaruit veronderstel ik dat onderaannemers of leveranciers kunnen zorgen voor een vertraging in het project?

Ja inderdaad, als dat niet op tijd plaatsvindt krijg je uitloop, vertragingen in de planning. Maar daar hangt alles aan vast, daar hangt de gegevensverstrekking aan vast; als je geen goede gegevensverstrekking hebt kun je ook niet goed werkvoorbereiden, als je niet goed kunt werkvoorbereiden kun je ook niet goed uitvoeren. Het is zaak dat je aan het begin van het project zo goed mogelijke stukken hebt.

3: Dus de beschikbaarheid van tekeningen op het moment dat ze nodig zijn is dus een belangrijke factor?

Ja, kijk wij maken aanvankelijk eerst een overall planning, daaruit maken we afgeleide schema's; onder andere een gegevens-behoefte schema. Dit geeft aan wanneer welke gegevens nodig zijn in het traject. Aan de hand daarvan als je zegt ik heb nu en nu mijn tekeningen, dan kan ik gaan voorbereiden en kan ik mijn inkoop schema er uit genereren. In beginsel zorgt een vertraging in beschikbaarheid van de tekeningen dus een opschuiving van je planning.

4: Kunnen ondераannemers en leveranciers, naast late leveringen, nog op andere manieren invloed uitoefenen op de projectduur?

Door onvoorbereid aan de gang te gaan en gedurende de uitvoering voor verassingen komen te staan. En dan kan in een keer het werk stil vallen. Slechte voorbereiding vanuit de ondераannemers. Een goed uitvoeringsplan maken; hoe ga je iets maken, montageplan, zulk soort dingen.

5: Ik kan me voorstellen dat de complexiteit van een project invloed heeft op de duur van een project; een erg complex project zal de duur gemakkelijker kunnen verhogen dan een vrij eenvoudig project. Klopt deze aanname?

Natuurlijk, als je een woonhuis gaat bouwen is heel wat anders als dat je een schoolgebouw gaat maken. Dus dit speelt zeker mee.

6: Bij sommige projecten heeft een vertraging van 1 maand pas negatieve gevolgen, terwijl bij een ander project een vertraging van 1 dag al negatieve gevolgen heeft voor de projectduur?

In de bestekken tegenwoordig staat wat je opleverdatum is en als je dit niet doet krijg je een boete. Het hangt ook af van hoeveel speling je hebt op je planning.

7: Een klantvraag, die misschien verandert gedurende een project, of tijdsdruk kan opleveren, kan die de projectduur beïnvloeden?

Dat kan, dus als een klant zegt ik wil graag iets anders, of meer- of minderwerk, als we dan een meerwerk aanbieding maken dan zeggen we gelijk dit kost het en dit zijn de gevolgen voor de planning. We proberen natuurlijk altijd wel binnen de oplevertermijn dat extra werk uit te voeren, maar op een gegeven moment houdt het op. Als de opdrachtgever een week voor oplevering zegt ik wil nog dit en dat hebben, dan snap je dat dat niet meer voor oplevering kan. Dus we geven altijd meteen de consequentie aan voor de planning. Sowieso, je moet je spullen weer bestellen, de opdracht moet verlengd worden, voordat dat allemaal administratief afgehandeld is. Meestal zeggen ze hierbij mondeling opdracht, en dan gaan we aan de gang, maar dan willen we wel nog een schriftelijke opdrachtbevestiging.

8: En als zo'n klantvraag veranderd en er meerwerk ontstaat, met als gevolg een uitloop van het project, wat is dan het gevolg?

Dan heb je recht op bouwtijd verlenging. Dan leveren we het reguliere werk op, maar die extra vraag komt dan daarna. Je hebt een contract met elkaar om iets te maken, en als je meer- of minderwerk hebt dan zou je aan de jurist moeten vragen wat dan precies gebeurd contractueel. Het kan zijn dat meer- en minderwerken invloed hebben op je projectduur, maar het hoeft niet. Het ligt er ook aan hoeveel het is.

9: Komt het ook wel voor dat er een slechte of onderschatte planning is gemaakt, en dat deze dan, nadat de opleverdatum contractueel vastligt, aangepast wordt (wat natuurlijk ook voor problemen richting de projectduur kan leiden)?

Ja dat komt voor, de planontwikkeling moet goed uitgekauwd hebben wat er ligt.

10: Op welke manier kan communicatie invloed uitoefenen op de projectduur?

Het kan best van invloed zijn ja, als jij een hele moeilijke opdrachtgever hebt die constant bezig met uit te pluizen, dat je van alles moet aanleveren vanuit het bestek, die pietje precies alles vanuit het bestek lezen. Dat soupert zoveel tijd op op een gegeven moment, dat je capaciteit tekort komt en dan moet je aan de bel trekken, dan komt er iemand bij. Dat is altijd een beetje een spanningsveld van wanneer ga je aan de bel trekken als werkvoorbereider.

11: En trage snelheid bij nemen van beslissingen in het traject van het project, is dat iets wat u tegenkomt?

We hebben naast een gegevens-behoefte schema ook een beslissingsschema. Dan zeggen we je hebt tot die datum de tijd om de kleur van de vloerbedekking te wijzigen. Aluminium buitenkozijnen bijvoorbeeld, daar zit een lange levertijd op, die kleur is bepaald en je hebt wel eens opdrachtgevers of architecten die dan ineens een andere kleur willen. Dat kan wel, maar tot een bepaalde tijd, daarna zijn ze in bestelling en kan ik het niet meer terugdraaien. Soms is de beslissingstermijn overschreden en dan willen ze toch nog iets wijzigen, dan zeggen wij dat kan niet meer, of het kan wel maar dan komen de kozijnen 3 maanden later. Dan schuift alles 3 maanden op.

12: En versnippering van informatie die intern en extern verspreid wordt, levert zoets wel eens problemen op?

Ja dan krijg je afstemverlies. Dat komt zeker voor ja, alles draait om communicatie.

13: Als er gekken wordt naar persoonsgebonden informatie, komt het voor dat er slechte verspreiding van informatie onder het team is, dat persoonlijke informatie bij de persoon blijft en dat dit problemen kan geven als die persoon er niet is?

Ja, dan gaat er informatie verloren en dat is altijd nadelig. Ik heb nu een project daar hebben we 5 wisselingen ongeveer tegelijkertijd, dat is wel heel extreem hoor. Ik heb werk

overgenomen van een jongen die nu weg is, dat is zo goed als het kan overgedragen, maar er is altijd wel wat informatie die ontbreekt.

14: En eventuele ontwerp veranderingen, kunnen die problemen creëren met betrekking tot je projectduur?

Jazeker, het kan zijn dat er optimalisatie plaatsvindt. Ik ben nu ook bezig met iets daar is er door de architect iets bedacht, een dakrand, en wij denken dat dat op een eenvoudigere en goedkopere manier kan. Dus dit zou ook weer invloed kunnen hebben op de planning omdat het sneller gedaan kan worden bijvoorbeeld. Het gaat voornamelijk om de kosten natuurlijk, om die te drukken. Maar het komt ook voor dat een ontwerpverandering zorgt voor een langere tijd die nodig is. Dan is het wel weer een meerwerk aanbieding waarbij ik dan zeg het kost zoveel meer tijd.

15: De aanwezigheid van informatie wanneer deze nodig is, en de aanwezigheid van tekeningen/modellen is al besproken eerder hè?

Ja, dan heb je het tekeningen-behoefte schema.

16: Hoe ziet het kostenschattingsproces er uit van begin tot eind?

De kostenschatting wordt door de calculatie gemaakt. Wij doen alleen meer- en minderwerken uitrekenen. Maar een kostenschattingsproces begint met een doos met gegevens dat binnenkomt, al dan niet digitaal. Er wordt gekeken wat staat er in bestek, er wordt een lijst gemaakt van wie gaan we benaderen aan onderaannemers en leveranciers, er wordt een shifting gemaakt en dan maken ze aanvragen die zo snel mogelijk de deur uitgaan. Dan vragen ze per onderdeel 3 of 5 leveranciers of onderaannemers. Dan gaat de calculator aan de gang met het uitrekken van hoeveelheden. Ondertussen gaat iemand van een andere afdeling kijken naar de planning en bouwplaats kosten.

17: Hoeveelheden uittrekken is dus het basisproces van een kostenschatting maken, klopt dat?

Ja tuurlijk, dat bepaald hoeveel het is en dan worden er zaken zelf afgeprijsd die intern gedaan kunnen worden met eigen timmerlieden bijvoorbeeld, en prijzen vanuit onderaannemers, daar zijn ook allemaal normen voor. Er zijn elementen prijzen, handboeken, et cetera. Een raming wordt op basis van m^2 of m^3 gedaan, en het gaat van grof naar fijn.

18: Als er dan gekeken wordt naar het proces van kostenschatting bij een aanbesteding, waar zit de grootste tijdfactor in dit proces?

Zonder twijfel de hoeveelheden uitrekken. En dan op het laatst komen alle offertes binnen, die dan vergeleken moeten worden, spiegels noemen ze dat. Daar gaat ook een hoop tijd in

zitten. Er wordt dan gekeken zit hij een beetje goed met zijn hoeveelheden, heb ik dat zelf ook?

19: De kwaliteit van de tekeningen/modellen, hoe hebben zij invloed op de kwaliteit van een kostenschatting?

Ja natuurlijk, hoe meer informatie er beschikbaar is en hoe gedetailleerder het is, hoe beter jij je kostenschatting kunt maken. Je kunt ook een doos tekenen zonder details en dan, ja wat kost een doos. Als je niet weet uit wat voor materialen het bestaat, hoe meer informatie hoe beter je kostenschatting is.

20: Wat is een gemiddeld benodigde tijd om een kostenschatting op te zetten? Ook dat hebben we al besproken en was gemiddeld 6 weken?

Vroeger was het zo'n 4-8 weken ongeveer.

21: Waarom denkt u dat BIM nog niet volledig, of in grote mate, geïmplementeerd is binnen Ballast Nedam?

We moeten aantonen dat het iets gaat opleveren. BIM kost geld, het is een investering die je doet, we moeten allemaal zwaardere apparatuur hebben, je licenties moeten gekocht worden, ik weet niet precies hoe dat werk. Er zijn in ieder geval een heleboel kosten mee gemoeid. En wegen die kosten op tegen het rendement dat je kunt halen met BIM? Dat is heel moeilijk om aan te tonen, ik denk dat door middel van ervaring of bij andere bedrijven misschien moet kijken, hoe zij er mee omgaan. Je hoort het overal om je heen, maar wij zijn er maar heel beperkt mee bezig. We hebben zelfs een BIM kenniscentrum binnen Ballast Nedam. Het is puur een centen kwestie, en we staan er momenteel niet goed voor financieel, dus grote uitgaven zullen ze niet gaan doen. Ik vind wel, stilstaan is achteruitgaan. Dus we doen nu niks, en de concurrentie gaat gewoon wel mee, op een gegeven moment kun je niet meer inhalen. Je hebt ook tijd nodig voordat dat uitgerold is binnen de organisatie, voordat iedereen er mee kan werken. En ik ben 48, maar jongens van 25 pikken dat veel sneller op, maar ik moet er ook mee leren werken en het kost mij meer tijd als iemand van 25. Misschien willen we wel bij Ballast Nedam maar kunnen we niet financieel, dan val je bij een hoop opdrachtgevers buiten de boot.

22: Is er verder nog iets dat u wilt vertellen of aanvullen?

Nee

Informatie deelnemer:**[CONFIDENTIAL]**

Na het welkom heten, het doel van het interview uitleggen en de vragen met betrekking tot werkervaring, start het interview.

1: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de projectduur?

Dat werkt intern en extern. Ik redeneer ff vanuit de ontwikkelingsfase, niet in de realisatie. In de ontwikkelingsfase zit je extern vooral met de gemeente en andere overheidsinstanties die beslissingen moeten nemen: dat is een hele belangrijke. Wat er verder van belang is, is de inspraakprocedure als je iets ter visie legt; als mensen mogen meedenken in wat jij ter visie legt. Dat moet verwerkt worden door de gemeentes en er moet een definitief standpunt komen. Het is een dynamisch proces, daar moet je echt achteraan jagen anders verlies je gewoon heel veel tijd. Dat is 1. Andere wat heel belangrijk is is dat je heel snel inzichtelijk hebt welke factoren een project beïnvloeden gezien vanuit de ruimtelijke ontwikkeling. Dat heeft met name te maken met hele lange procedures van bijvoorbeeld een waterwet, of ik moet bemalen. Zo'n vergunning aanvragen duurt weer 3-kwart jaar als je pech hebt. Flora en fauna, als je de verkeerde beesten en planten tegenkomt dan kan dat een jaar vertraging opleveren want je kunt maar 1 keer per jaar die beesten lastigvallen; in de broedperiode mag je ze niet lastigvallen, in de winterslaap mag je ze niet lastigvallen, dus als je niet oplet schiet je al heel snel een jaar door. Dus dat zijn enorme factoren die je heel snel moet in binden zeg maar, en in de tijd wegzetten voor wat er maatgevend is. Als je dat gedaan hebt, dan dien je dat in bij de gemeente voor het bestemmingsplan. Dan moet je daar erachteraan zitten dat ze ook beslissingen nemen, dat ze opschieten. Als je eenmaal je bestemmingsplan hebt, dan ligt het veel meer in de invloedsfeer van Ballast Nedam intern. Dan gaat veel meer spelen van, oké ik heb inmiddels een voorlopig ontwerp (VO) gemaakt. Dat is in de tijd gezien geen maatgevende activiteit; dat duurt 4-6 weken als je daar actief in bent. Als de onderzoeken en rapporten voor de ruimtelijke ontwikkeling (RO) duren veel langer. Als ik een grondonderzoek moet doen ben ik ook 6 weken kwijt, als ik de vogels moet inventariseren ben ik ook snel 6 weken kwijt; dus dat is meestal geen maatgevende factor. Als je eenmaal na het VO gaat engineeren, dat je van VO naar DO gaat, dan heb je dat veel meer zelf in de hand en dan is het meest belangrijke aspect ‘dynamiek’, integraliteit, bij elkaar komen, afstemmen, bewaken en ook weer beslissingen nemen maar dan ligt dat bij ons zelf dus dat is afwegingen maken en door, en niet meer terugkomen; dat is heel belangrijk. Dus goed het hele spectrum bekijken, dan de beste beslissing nemen, en er naderhand dan ook niet op terugkomen. Als je

ontwerpt, dat is een cyclisch systeem; dat betekent soms moet je iets doen, wetende dat dat niet de oplossing wordt. Dat is nodig om tot de beste oplossing te komen. Soms moet je een zijpad nemen om er achter te komen dat het een doodlopend pad is. Maar dat moet je wel klein cyclisch doen, dus je moet dat snel doen, je moet daar niet in blijven hangen. Het gevaar is heel vaak dat je blijft hangen in zijpaden. Dus je moet aftasten. Afhankelijk van alle factoren die bij een project van toepassing zijn, is dat heel ingewikkeld of redelijk simpel. Kijk een woningbouw project met grondgebonden woningen is relatief simpel. Een woningbouw project binnenstedelijk, waarbij je tegen een bestaand gebouw aan moet bouwen, waarbij je niet weet hoe die fundamenten van die gebouwen eruit zien, waarbij ik uit moet zoeken wat voor grondwaterstanden er zitten, dan wordt het al een stuk lastiger. Laat staan dat je een fabriek moet bouwen die doorwerkt, het is dus heel afhankelijk van wat voor type project het is en de moeilijkheidsgraad die ervoor zorgt dat je meer “tentakels” moet afstemmen. Heb je normaal heel kort door de bocht een architect een constructeur en een installateur, in stedelijke omgeving heb je sowieso omwonende die wat vinden, je hebt te maken met veel lastigere logistiek. Dat heb je normaal ook maar dit is veel lastiger, dat heeft te maken met bestaande bebouwingen, belangen van meer verschillende mensen; als je in een weiland bouwt dan zullen er weinig mensen daarom kraaien. Als ik naast iemand ga bouwen, dan wordt het ineens heel dichtbij, zeker als je dan bang bent dat er wat bordjes gaan klapperen als er iemand aan het funderen is. Dan denk je oei, gaat dat wel goed? Dan heb je veel meer aspecten waar je rekening mee moet houden: geluidsbelasting, externe veiligheid (treinen die erlangs rijden, of vliegverkeer er overheen), je kunt het zo ingewikkeld maken als je wilt. Hoe meer facetten hoe meer, hoe ingewikkelder het is, hoe belangrijker het is dat je die goed op elkaar afstemt en goed inziet wat de onderlinge verbanden zijn. Dat is heel belangrijk. Dus je moet je echt inleven in ieder deel gebiedje van je ontwerp. Engineering, dat zijn bouwkundig opgeleide mensen, die zijn bouwfysisch sterk, die snappen hoe je wind-, water- en luchtdicht moet bouwen. Maar als je ze vraagt van goh hoe ziet die constructie nu eigenlijk in elkaar? Dan wordt het wel wat lastiger. Daar hebben we dan een constructeur voor. Maar dan is het wel belangrijk om je af te vragen hoe belangrijk is nu die constructie gerelateerd aan het bouwkundige. Waar zitten nu de raakvlakken tussen die 2 disciplines? En zo hebben ze allemaal raakvlakken want wat de constructeur bepaald heeft ook raakvlakken, bijvoorbeeld de bouwmethodiek; dat heeft weer raakvlakken met het bouwbedrijf, dat heeft raakvlakken met geluid en als het ingewikkeld is dan zal bouwtechniek daar ook een extern bureau voor moeten inschakelen en die komt dan met een rapport. Maar voordat je met een rapport komt moet je wel duidelijk hebben, wat wil ik nu precies vragen aan dat bureau? Dus

als ik niet precies vastleg wat ik wil weten, dan krijg ik wellicht dingen die ik helemaal niet wil weten; die weer voor ruis op de lijn zorgen. Dus je moet zeg maar als een visgraatdiagram precies weten wat is van invloed op elkaar om uiteindelijk op de snelweg te komen om zo snel mogelijk van A tot Z te kunnen. Integraliteit is dus heel belangrijk en sturing. Iemand moet de leiding hebben en iemand moet dus ook snappen wat ieders belang is en afwegen hoe zich dat weegt t.o.v. het project. Je hebt een generalist nodig die alle facetten kan overzien op hoofdlijnen en kan wegen wat er belangrijk is voor het einddoel van het project. Een soort spin in het web, een integrale projectleider of ontwerpleider, hoe je het noemen wilt. Als je die niet hebt gaat iedereen voor zich wat vinden en wort het een spaghetti, in plaats van dat iedereen via de goede oprit op de snelweg komt. Met het grote risico dat je een stap verder zet van DO naar bestek en dan er naderhand achter komt dat je niet de goede keuze gemaakt hebt. Dan moet je terug en dat kost geld. Terug het traject in dat is dodelijk. Dat zijn de dingen die belangrijk zijn in het ontwikkeltraject, je moet een daadkrachtige leider hebben die de snelheid ervin houdt.

2: De complexiteit van een project werd net al genoemd, deze kan dus invloed hebben op de duur van een project; een erg complex project zal de duur gemakkelijker kunnen verhogen dan een vrij eenvoudig project.

Ja, het belangrijkste is dus het menselijk. Het aanjagen, het niet blijven wachten, weten waar je het op hoofdlijnen over hebt zodat iedereen dezelfde kant op kijkt. Bij je contracten moet je dus al nadenken over of je de juiste partijen aan tafel hebt. Want als er 1 iemand is die niet mee kan, in die dynamiek en snelheid, dan heeft heel die dynamiek geen zin meer. Het is als een estafette, als er 1 iemand niet doorloopt win je nooit. Communicatie is heel belangrijk.

3: En trage snelheid bij nemen van beslissingen in het traject van het project, speelt dat ook een grote rol?

Zeker, dat is meer het externe. Intern kunnen wij dat veel zelf sturen, omdat we dan zelf leidend zijn. Extern is veel lastiger, je moet eigenlijk die mensen kennen, op zijn minst weten hoe ze redeneren, zodat zij niet vastlopen want je bent ervan afhankelijk. Je moet eigenlijk zien als zij een dodelijk zijpad nemen, dan moet jij ze sturen van goh moeten we niet die kant op denken?

4: En versnippering van informatie die intern en extern verspreid wordt, is dat iets wat bekend klinkt?

Naarmate je verder in het project zit wordt dat steeds belangrijker. In een VO is de wereld redelijk overzichtelijk. Als je architect begint, die begint met volumes, morfologie (hoe verhouden vormen zich ten opzichte van elkaar), dat is nog makkelijk tastbaar. Je hebt

eigenlijk 1 leidende partij voor het ontwerp, dat is de architect, je haakt daar wel aan om input te geven, maar het is een redelijk overzichtelijk proces. Daarnaast heb je de RO, dat is iets ingewikkelder; want je hebt flora en fauna, geluid, bodem, afvalverwerking, saneringen, stedenbouw, juristen die het bestemmingsplan moeten gaan schrijven, duurzaamheid zit daarin, stedelijke verduurzaming van hoe breed ik nou in in een stad, dus daar heb je misschien wel al 10 verschillende facetten die je ook allemaal in 1 bestemmingsplan moet gieten. Dat is dus al iets complexer. Ontwerptechnisch is het dan nog redelijk overzichtelijk. Dus is die versnippering van informatie van belang, voor het bestemmingsplan in het VO wel, voor ontwerp is dat nog niet noodzakelijk. Het is een beetje afhankelijk van hoe je je scope afbakt, doe ik dat bestemmingsplan wel of niet of doe ik alleen het ontwerp. Ontwerptechnisch is het VO overzichtelijker. Naarmate je richting het DO gaat wordt het al heel snel ingewikkeld en moet je eigenlijk wel een soort van sharepoint omgeving hebben om iedereen dezelfde informatie te geven. Zonder het risico te hebben dat iedereen een oude versie gaat gebruiken. Dat wordt richting DO al steeds belangrijker en naarmate je verder in het project komt wordt die informatie alleen maar meer met als hoogtepunt het einde van de bouw. Dan heb je een gigantische hoeveelheid informatie, en dan is het juist weer de kunst het te brengen naar datgene wat de onderhoudsmensen willen hebben. Informatietechnisch is het dus de kunst vooraf na te denken wat die onderhoudsmensen willen hebben en daar je model op in te richten. Als je daar bij de oplevering achter komt dat ze iets vroegen wat niet in je model zit, dan heb je een slag gemist. Dan moet je het alsnog handmatig doen, of terug gaan herleiden, dat moet je niet willen.

5: Als er gekeken wordt naar persoonsgebonden informatie, komt het voor dat er slechte verspreiding van informatie onder het team is, dat persoonlijke informatie bij de persoon blijft en dat dit problemen kan geven als die persoon er niet is?

Ja, en dat ondervang je dus door heel klein cyclisch te werken. Als ik afspreek met een ontwerpteam om 1 keer per maand bij elkaar te komen en aan het eind van de maand zitten we bij elkaar en iemand heeft het niet af, ben ik een week verloren. Als ik dat in een cyclus van een week houd, is het ergste wat ik verlies 2 weken. Hoe korter je die cyclus houdt, hoe lager het risico op vertraging maar ook hoe meer dynamiek en enthousiaster mensen worden, dus het werkt aan 2 kanten. Je perkt het risico in en mensen hebben er meer zin in als ze er de hele dag mee bezig zijn. Als ik zeg je gaat dit doen en ik geef dat aan jou en jij legt het op een stapeltje dan is het gewoon een doorgeef luik, dat vormt geen team. Met zijn allen in een projectkamer zitten en discussiëren over van alles en nog wat, als je er uit komt ben je klaar voor die dag, dan doe je helemaal niks meer, ben je helemaal op. Dat is super dynamisch en

je hebt ook heel veel besloten en hebt veel interactie, door die interactie ben je ook veel sneller genegeen om voor de volgende week als je weer zo'n sessie hebt, alles voor mekaar te hebben. En dat is leuk, iedereen wil bij een dynamisch team horen, er toe doen. En een stapeltje op je bureau is niet echt er toe doen, dat is reactief. Het proactieve, dat zet iedereen aan een stapje extra te zetten.

6: Een klantvraag, die misschien verandert gedurende een project, of tijdsdruk kan opleveren, kan die de projectduur beïnvloeden?

Zeker, dat klopt. Je moet dus zo dynamisch kunnen werken om het waar te kunnen maken. Daarnaast als een klant jou tijdsdruk oplegt, mag je hem ook andere druk opleggen; over beslissingen: dat is goed, maar dan beslis jij binnen een dag wat we voorleggen. Of dat is goed, maar heeft u dan al helemaal in beeld wat u precies wilt? Of laat u dat aan ons en gaan we het voorleggen, krijg ik dan iedere keer binnen een dag reactie? Waar aannemers nogal een handje van hebben is “ja” te zeggen en geen contouren te scheppen. Als jij zegt het moet zo goedkoop mogelijk als opdrachtgever, dan zeg ik dat is goed maar zo goedkoop mogelijk is ook minder kwaliteit. Dus dan gaan we discussies hebben over de kwaliteit en over de snelheid. Als ik het zo goedkoop mogelijk moet doen, moet ik het ook zo snel mogelijk doen. Misschien kies ik dan wel voor een modular product dat al uitgekauwd is, want daar heb ik bijna geen ontwerp tijd meer voor nodig. Alles wat een opdrachtgever vraagt heeft consequenties. Je moet je opdrachtgever opvoeden, dat wat die vraagt consequenties heeft op andere vlakken.

7: Op welke manieren kunnen onderaannemers of leveranciers zorgen voor een vertraging in het project?

Heel makkelijk, leveranciers hebben vaak een engineeringstraject voordat ze kunnen leveren. Bijvoorbeeld kozijnen, of gevels in zijn algemeenheid. Als die niet snel genoeg engineeren (of installateurs), dan duurt het langer voordat de spullen er zijn en heb je vertraging op de bouw. Maargoed als wij onderaannemers en leveranciers benaderen moeten wij ons bewust zijn dat wij de opdrachtgever zijn. En dan moeten wij dus net zo professioneel als wij zeggen tegen onze opdrachtgever: als je dit wilt moet je het zo en zo doen. Moeten wij onderaannemers natuurlijk voorzien van de juiste contouren; Dus het kan niet zo zijn als ik die tijdsdruk die mijn opdrachtgever geeft doorgeef, dat ik hem dan laat zweven over bepaalde beslissingen. Want dat willen we zelf niet van onze opdrachtgever, dus moeten wij ook onze onderaannemer of leverancier daar niet mee lastig vallen. Dus we moeten het zelf ook goed inrichten, dat is vaak waar het aan schort. We behandelen onze onderaannemers eigenlijk altijd op dezelfde manier: we duwen ze zo plat mogelijk, zoveel mogelijk voor zo

min mogelijk geld maar kijken eigenlijk nooit naar de contouren van het project die zo van belang zijn. Ik kan wel de laagste prijs hebben, dan heb ik een inkoop winst van 5%, goed gedaan inkoper, maar als die prijs zo laag heeft en die ondераannemer denkt nou ik heb 6 weken ik begin in week 5 eens te engineeren, dan zien we wel verder want ik heb daarvoor een project dat wel rendabel is en die vind ik veel belangrijker. Wat wij hebben met die teams met die dynamiek, creëer je eigenlijk voor jezelf een hele reactieve ondераannemer door hem helemaal op prijs uit te knijpen. Uiteindelijk zijn wij toch de hoofdaannemer en als de ondераannemer te laat is leveren wij te laat op en zijn we alsnog het bokje, dus het is maar net hoe je dat ziet. Maar ondераannemers zijn wel degelijk als ze engineering aspecten hebben, in staat tot vertragingen.

8: Komt het ook wel voor dat er een slechte of onderschatte planning is gemaakt, en dat deze dan, nadat de opleverdatum contractueel vastligt, aangepast wordt (wat natuurlijk ook voor problemen richting de projectduur kan leiden)?

Ja, en daar geldt eigenlijk weer hetzelfde voor, een planning kan altijd sneller. Alleen wat voor consequenties heeft dat. Als ik snel wil bouwen dan kan ik dat bijvoorbeeld door prefab doen. Dat betekent wel dat ik dan 13 weken voorbereidingstijd nodig heb. En dat ik dus heel veel gegevens moet hebben; is dat realistisch? Als dat realistisch is dan kan ik daarop plannen. Als ik het vervolgens overdraag naar de realisatie ne de realisatie ziet het belang niet van prefab en die laat het eerst 5 weken liggen, en vervolgens hebben we niet 3 maanden maar nog maar 2 maanden; dan kan ik mijn voorbereiding niet meer treffen. Waardoor prefab geen prefab meer wordt en het ineens in het werk gestort wordt en ik mijn planning niet meer haal. Het heeft veel meer te maken met is iedereen zich bewust van de contouren, dat is belangrijker dan of een planning realistisch is. Je plant op basis van uitgangspunten, je moet dus zorgen dat die uitgangspunten uitkomen.

9: Dus communicatie is een grote factor van invloed op de projectduur?

Ja, communicatie en ook kennis van anders kunnen bouwen. Als iemand nog nooit met prefab gewerkt heeft zal die in de uitvoering een beetje kritisch zijn in moet dat wel prefab zijn. Die discussie moet je niet meer aan gaan, je moet dan zeggen hierop hebben we gepland want anders halen we de planning niet. Dus je hebt geen keuze en moet gaan prefabben en dat houdt dit en dit in.

10: Als gekeken wordt naar de aanwezigheid van informatie wanneer deze nodig is en de aanwezigheid van tekeningen/modellen, oefent dit ook invloed uit op de projectduur en zo ja, hoe?

Zeker, als ik wil gaan BIMen na het VO en ik heb er een architect, constructeur en installateur voor nodig. Als ik dan de installateur nog niet heb ingekocht, kan ik helemaal niet door. Het is heel belangrijk dat de partijen er op tijd zijn en dat je de juiste partijen hebt die dat kunnen. Via contracten kun je ze houden aan het op tijd leveren van de gewenste onderdelen/informatie. Je moet ook de tijd nemen om zo'n partij te selecteren en geen vriendjes gebruiken. Als je dan zo iemand selecteert en die mist expertise dan heb je een probleem.

11: En eventuele ontwerp veranderingen, kunnen die problemen creëren met betrekking tot je projectduur?

Bedoel je iets wat de opdrachtgever wilt of wat we intern doen? **Nee vanuit de opdrachtgever, bij veranderingen in het ontwerp, of bijvoorbeeld hoeveelheden.** Oke, ja dat zeker. Daarom is het heel belangrijk van tevoren te weten wat de opdrachtgever nu precies wilt. Geef mij gewoon duidelijk aan wat je wilt, ‘onee maar dit moet er ook bij!’, ja dat is leuk en dat kan, maar dat heeft dan deze en deze consequenties.

12: Als we dan gaan kijken naar de kostenschatting, hoe ziet het kostenschattingsproces er uit van begin tot eind?

Dat is heel simpel, als je niets kan zien kun je niets afprijsen. Als ik zeg wat kost een tafel, dan gaat het er om wat voor tafel? Je gaat dus hoeveelheden vragen en functionaliteiten eraan hangen. Op het meest abstracte niveau betekent dat als ik opdrachtgever ben; ik wil 2500 m² kantoorruimte. Dan heb ik de functie kantoorruimte, een hoeveelheid, dan kan ik al iets zeggen over een richting. Dat hoeft geen waarheid te zijn, maar dan zeg ik oke dat is 2500 keer €1200. Waarom zeg ik €1200, omdat dat een kengetal is voor kantoren. Daarna ga je je afvragen wat zit er dan allemaal in die prijs? Zitten daar de installaties in? Ja, die zitten daar in. Zitten daar de voorzieningen in voor de kantine? Tot op zekere hoogte. Het is net wat je wilt. Dat is heel erg gericht op het gebouw. Waar we het eerder al over hadden, die ruimtelijke ontwikkeling, die zijn nog veel belangrijker dan de richtprijs van het gebouw zelf. Staat die op een industrieterrein ergens op een buitengebied, moeten wij turn-key opleveren, wat voor type contract? Heel veel facetten die bepalen uiteindelijk je raming. En hoe meer je weet, hoe gedetailleerder je kunt ramen. Daarvoor geldt ook, neem die opdrachtgever mee als professional en vraag wat je wilt weten. Want als hij zegt oke dat is 2500 keer €1200, wil je daar je hand op geven, dan zeg ik nee natuurlijk niet. Je vroeg mij een richting, ik wil er best een hand op geven maar dan heb ik dit, dit en dit nodig. En dan reken ik voor mezelf, omdat het allemaal nog zo vaag is, 10% winst en risico. Het kan tegenzitten, het kan ook meeziitten, maar het kan ook tegenzitten.

13: Als er dan gekeken wordt naar het proces van kostenschatting als informatie en tekeningen aanwezig zijn, hoe zit dit proces er dan uit?

Dan zijn we al een slag verder. Je begint met ramen en op een gegeven moment kom je uit die algemene gegevens niet meer verder. Dat is een heel natuurlijk verschijnsel om dan een soort, dan wordt jou rupsje zeg maar een vlinder. Dan ga je een stap dieper, ik ga op elementen niveau ramen. Op het moment dat je op elementen niveau gaat ramen, kom je ook veel meer in aanraking met de techniek. Dan gaat het over wat voor wand, is die van beton, van kalkzandsteen, of metalstud. Dan ga je echt al die techniek in. Dan ga je veel specieker de hoeveelheden uittrekken op element niveau, in plaats van op vloerniveau, en gevelvlakken. Je gaat dan de NL-SFB codering in qua diepte. Deze komt ook weer terug in je onderhoudsfase. Je begint er mee in je VO, dan wordt het STABU, dan cluster je het weer terug naar NL-SFB niveau.

14: Dus hoeveelheden uittrekken is het basisproces van een kostenschatting maken?

Ja, ramen is hoeveelheden en kengetallen, een elementenraming zijn hoeveelheden en kenmerken per element en een begroting zijn hoeveelheden en een prijs per hoeveelheid. Calculeren is hoeveelheden vermenigvuldigen met de eenheidsprijs, dat is 1. Met het besef hoe zich dat in het geheel verhoudt.

15: Waar zit de grootste tijdsfactor bij het maken van een kostenschatting op het gedetailleerdste niveau?

Tot v oor heel kort was dat 60% het bepalen van hoeveelheden. Dus daar is een gigantische besparing in te verwachten. Op de traditionele manier plot je tekeningen en ga je met liniaal en kleuren aan de gang. Dit typ je dan in in je calculatie programma, wat een hele tijdrovende bezigheid is, en het kan zijn dat je fouten maakt. Die hoeveelheden zijn heel belangrijk, maar of ik er nu een meter langs zit gaat geen verschil maken. Het is belangrijker om na te denken over de contouren. Het is bij een wand veel belangrijker om na te denken of het prefab is, of in het werk gestort en wat moet ik meenemen aan veiligheidsvoorzieningen. Het is veel meer integreren van die bouwtechniek gerelateerd aan de prijs per eenheid. Als ik 10.000 m² wand heb, doet het er dan wat toe als ik er 4-5 m² naast zit? Of doet het er toe wat die een eenheidsprijs keer 10.000 is? Als ik een euro verschil kan maken in de eenheidsprijs verdien ik veel meer dan dat ik de 4-5 m² mis gerekend heb. Risicotecnisch doet het er meer toe dat de eenheidsprijs scherp is. En daar moet de calculatie eigenlijk veel meer mee bezig zijn.

16: De kwaliteit van de tekeningen/modellen, hoe hebben zij invloed op de kwaliteit van een kostenschatting?

Zeker, waarbij het heel belangrijk is dat je moet afvragen of je heel veel “schijnzekerheid” wilt hebben in de VO fase. Als ik mijn model render in de VO fase lijkt het net alsof het gebouw al klaar is, maar dan mis je heel veel gegevens om een goede calculatie te maken. Als ik het render lijkt het alsof ik heel veel gegevens heb, wat helemaal geen vaste gegevens zijn. Het is fase afhankelijk wat je wilt en moet weten. In VO zou je nog niet heel gedetailleerde informatie moeten willen hebben, alles wat dan veranderd kost geld omdat er al zo veel gegevens zijn.

17: De kwaliteit/het detail van beschikbare informatie lijkt ook een factor die invloed uit kan oefenen op het kostenschattingsproces, dit is net al ter sprake gekomen en beïnvloed de kostenschatting.

Ja en dit is ook weer per fase afhankelijk. Bij een calculatiefase is goede informatie natuurlijk zeker van invloed op de uiteindelijke kostenschatting. Hoeveelheden zijn altijd belangrijk. Hoeveelheden gaan van een BVO naar een m² vraag, het schuift op in gedetailleerdheid. Eerst moet er overeenstemming zijn over de vorm van het gebouw, alvorens je druk gaat maken om de invulling van elementen. Het heeft dus absoluut effect als je te weinig of te veel informatie hebt op een moment, je moet eigenlijk precies genoeg hebben, niet te veel informatie en ook niet te weinig.

18: Wat is een gemiddeld benodigde tijd om een kostenschatting op te zetten? Ook dat hebben we al besproken en was gemiddeld 6 weken?

Dit is per fase verschillend. Een raming maak ik in een week, een calculatie doe ik 6 weken over.

19: Waarom denk je dat BIM nog niet volledig, of in grote mate, geïmplementeerd is binnen Ballast Nedam?

Het heeft met mensen te maken. Heel veel mensen weten niet eens wat BIM is, ja Bouw Informatie Model, ja wat houdt dat dan in? Leuk dat je die afkorting kent, maar dan begint het pas. Wat is dat nu eigenlijk BIMen? Ja het is met 3D visualisaties, nee dat is 3D ontwerpen dat doet bouwtechniek al vele jaren. Wat is nu BIMen, dat weten ze niet. De kennis is er niet, het leeft niet, het is niet tastbaar. Als het niet tastbaar is kun je ook niet laten zien wat de voordelen zijn. Dat is 1, het andere wat altijd lastig is in een conservatieve wereld als de bouw is; vernieuwing kost geld. Vorige week is ons ICT systeem geüpdatet. Krijgen we Office 365, iedereen zit te vloeken en te tieren, dat kost geld want je verliest tijd. Dus mensen zitten er eigenlijk niet op te wachten. Nu doet ICT dat gewoon, als ik nu naar mijn directeur ga en ik zeg we gaan morgen BIMen, wat is dan zijn eerste vraag? Ja wat gaat dat kosten en wat levert het op? Als hij niet eens weet wat BIM is, hoe kan ik dan in gods naam

een go of no-go geven. Het is gewoon onwetendheid van wat BIM is, wat BIM kan toevoegen en wat als het eenmaal geïmplementeerd is aan voordelen heeft. Je moet niet bekijken naar de korte termijn van BIM, dat kost me dan 1 keer €50.000 leergeld. Nee, wat als ik dat implementeer, wat levert het me dan op? En kan ik het hard maken, nog veel lastiger. Dat is waar jij ook naar op zoek gaat.

20: Is er verder nog iets dat je wilt vertellen of aanvullen?

Nee

Informatie deelnemer:**[CONFIDENTIAL]**

Na het welkom heten, het doel van het interview uitleggen en de vragen met betrekking tot werkervaring, start het interview.

1: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de kostenschatting?

Alles eerst is de kwaliteit van de stukken van belang; de tekeningen en de informatie. Als de stukken heel summier zijn dan kun je geen detailbegroting maken en zul je een grove raming moeten maken. Hoe uitgebreider de stukken zijn, hoe uitgebreider de calculatie meestal ook wordt. Het hoeft niet, maar als de stukken uitgebreider zijn calculeer je uitgebreider. Dat is dan de kwaliteit van de stukken. Ja wat wordt gevraagd he. In welk stadium is het, kijk een VO, DO of bestek geeft ook al een heel verschil in calculatie. In bestek ga je ook gedetailleerder dan de rest. Zit er een bestek bij? Dat maakt ook uit voor de duur van het proces. Details: moet je veel uitzoeken, is het tekenwerk slecht, rammelt het met elkaar dat de tekeningen en details niet met elkaar overeen komen, zul je veel moeten puzzelen en dat kost veel tijd. Even kijken, wat is nog meer van belang. Ja hoe nauwkeuriger je zelf de begroting opbouwt, maar dat is min of meer al gezegd met ramingen enzo. Er schiet me zo even niks meer te binnen.

2: Hoe ziet een kostenschattingsproces er ongeveer uit, welke werkzaamheden vinden er plaats?

Eerst komen de spullen uiteraard bij ons binnen. Het eerste wat we gaan doen is kijken wat het allemaal inhoudt; tekeningen doorkijken, bestek doorlezen, wat voor gegevens en kloppen de gegevens. Daarna gaan we een lijst van onderaannemers opstellen, die we gaan aanvragen voor prijzen. We stellen een lijst op via een programma. De lijst wordt dan rond gestuurd intern of iedereen het eens is met de onderaannemers. Is iedereen akkoord dan gaat de brief per mail naar de onderaannemers. Daarna beginnen we met het schrijven van de begroting en

het uitrekken van de hoeveelheden. En langzamerhand komen dan offertes binnen, die ga je dan spiegelen en in de begroting zetten. De begroting afprijsen. Tijdens het begroten proberen we de risico's in te schatten, daar hebben we een apart lijstje voor. Het begrotingsblad wordt gemaakt, bouwplaats kosten worden bepaald, eindgesprek met de directie, onderling overleg natuurlijk met het projectteam en uiteindelijk kom je tot een prijs.

3: Waar zit de grootste tijdsfactor in dit kostenschattingsproces?

Het uitrekken van de hoeveelheden.

4: Hoe is de tijdsverdeling over zo'n kostenschattingsproces in percentages?

Als ik zo even een gooi moet doen, met alle vergaderingen dan denk ik dat zo'n 60% uitrekken van hoeveelheden is. Een percentage eraan hangen is wel moeilijk omdat het verschillend is.

5: Dus hoeveelheden uittrekken is het basisproces van een kostenschatting maken?

Ja zeker.

6: De kwaliteit van de tekeningen/modellen, hoe hebben zij invloed op de kwaliteit van een kostenschatting?

Ja, als je zelf een hoop aannames moet doen omdat tekeningen slecht zijn, dan zet je in de begroting ik ga dit doen terwijl in de praktijk iets heel anders moet. Maar goed als het niet gegeven is neem je zelf iets aan. Het kan totaal anders zijn als wat de opdrachtgever wil bijvoorbeeld.

7: Geldt dit dan ook voor de kwaliteit/het detail van beschikbare informatie?

Ja uiteraard. Stel dat er dadelijk ontbrekende gegevens zijn en die later komen, dan zul je weer terug moeten naar de begroting en alles weer aanpassen. Als je bijvoorbeeld nieuwe tekeningen krijgt of aanvullende tekeningen, dan kun je weer een keer door het proces heen. Hetzelfde geldt als we een nota krijgen, wij kunnen vragen stellen, komt antwoord op, en dan zul je toch weer alles waar een antwoord op komt de hele begroting doorlopen en dat kost tijd.

8: Wat is een gemiddeld benodigde tijd om een kostenschatting op te zetten?

Compleet gezien zal het meestal rond de 4-6 weken zitten. Daarboven is wel vrij lang. We moeten onderaannemers aanvragen en als dat vandaag de deur uit gaat, onderaannemers kunnen ook niet meteen een prijs neerleggen dus dan ben je weer een week verder. Zelf nog werkzaamheden dus 2-3 weken is toch wel gauw het minimum.

9: Waarom denk je dat BIM nog niet volledig, of in grote mate, geïmplementeerd is binnen Ballast Nedam?

De belangrijkste reden is dat wij de laatste tijd, alle projecten die we calculeren vanuit aanbestedingen, de meeste staan nog niet in BIM. Dus vanuit de opdrachtgever en architect kant krijg ik nog geen BIM stand. Dan kunnen wij er wel voor kiezen om te gaan BIMen om alles zelf in BIM te zetten, dat is een mogelijkheid, maar goed daar hangt een kostenplaatje aan. We hebben nu laatst een projectje gehad daar heb ik voor de eerste keer echt met BIM gewerkt. Ik was positief alleen we lopen tegen heel veel dingen aan, maar goed dat is de eerste keer dat je er mee werkt, maar je bent toch afhankelijk van een modelleur. Kijk en als je dat heel vaak doet dan krijg je wel de feeling met elkaar, dan weet je wat je aan elkaar hebt, maar bij een eerste project kan dat nog niet. Er zijn toch nog behoorlijk wat vragen en onduidelijkheden. En wij hebben dan Solibri, daar hadden wij de Viewer van dus we konden zelf niks aanpassen en dat vind ik een groot minpunt. En er zit natuurlijk een flink prijskaartje aan, maar ik zie het heel positief in. Maar ik denk persoonlijk dat het nog een tijd zal duren voordat het volledig ingevoerd is. De hoeveelheden haal je er heel makkelijk uit, ik ben natuurlijk wel afhankelijk van de modelleur; wat voor ervaring heeft die. De hoeveelheden kun je nog niet overal blindelings toepassen. Je kunt wel een m^2 vloeroppervlakte eruit halen, maar ik moet uit die m^2 nog meer halen: randkist, beton, afstandhouders, wapening, enzovoorts. Je kunt niet alles uit BIM halen maar wel eruit herleiden. Dus ik zie het wel zitten maar we zijn er nog lang niet als Ballast Nedam zijnde.

10: Is er verder nog iets dat je wilt vertellen of aanvullen?

Nee op het moment niet.

Informatie deelnemer:

[CONFIDENTIAL]

Na het welkom heten, het doel van het interview uitleggen en de vragen met betrekking tot werkervaring, start het interview.

1: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de kostenschatting?

Op de eerste plaats natuurlijk bestek en tekeningen. Hoe gedetailleerder, hoe nauwkeuriger je de zaak ook kunt bekijken. Je kunt een kostenschatting maken; je kunt een elementenbegroting maken bijvoorbeeld, of je maakt een directiebegroting of je maakt een begroting voor de aanbesteding. Het verschilt per fase. Het kan een ramingsfase zijn dat je zegt we moeten globaal plus of min 10%, dus daar begint het verhaal. Als je een aanbesteding hebt uiteraard moet je exact gaan berekenen volgens bestek en tekeningen. Maar heel vaak wordt in een voorbereidende fase gezegd ‘waar komen we ongeveer op uit’. En op dat

moment ga je een elementenbegroting maken en die is dan iets grover. En de bedoeling is dat je de elementen een beetje uit het laadje kunt trekken, maar zo simpel is het vaak niet; zo simpel wordt wel vaak gedacht. Funderinkje kost zoveel, poertje kost zoveel. Ja en het detail van een aanbestedingsbegroting, dan moet je elk onderdeeltje benoemen en afprijsen en dat kan best complex zijn. We zijn nu met de sporthal de Geusselt bezig. Dan wordt er gezegd ja het is maar een sporthal, maar de detailboekjes zijn 100 interieurdetails, 100 exterieurdetails, dus je kunt je voorstellen hoe complex het eigenlijk toch wel is.

2: Hoe ziet het kostenschattingsproces er uit voor een gedetailleerde begroting?

We beginnen uiteraard met het aanvragen van offertes. We lopen dus het bestek en de tekeningen door en zeggen van we moeten grondwerk aanvragen, we moeten de palen aanvragen, enzovoorts. Dus op dat moment gaan wij dus de aanvragen versturen naar ondераannemers. Daarna gaan we het bestek doornemen, de begroting opzetten; we hebben een onderlegger, een basisbegroting, en aan de hand daarvan gaan we het verfijnen en invullen. We beginnen uiteraard met de hoeveelheden uittellen en dat is eigenlijk het meeste werk in verhouding. Zeg dat we 4 weken hebben, in de laatste week ga je afprijsen en die offertes bestuderen en invullen, de prijsspiegels maken; welke grondboer is het goedkoopste. Er wordt ook vaak gedacht leg er 4 naast elkaar en de goedkoopste pak je, maar de praktijk is dat er zoveel verschil is; die is dat vergeten, die heeft dat zo bekeken, enzovoort. Daar moet je dus zelf uitfilteren wat je denkt dat op dat moment goed is. Een ondераannemer heeft bijvoorbeeld 1000 m³ ontgraven en ik heb zelf 800 m³, ja dan heb je al een probleem; wie heeft er gelijk. En de ander heeft weer 1100 m³ dus de praktijk is dat de verschillen, de prijzen, dat wat er staat klopt niet altijd. Dan moeten we zelf beoordelen of we de 800 m³ van ons aanhouden of ik denk misschien heb ik mezelf vergist, dan lees ik het nog eens na. En als 3 man iets anders hebben, dan zeg ik dan geloof ik die 3. Zo moet je eigenlijk een beetje gaan selecteren.

3: Je noemde al dat hoeveelheden uittellen de grootste tijdsfactor is in het proces. Welk percentage van het totale proces omvat dit ongeveer?

Dat is een beetje moeilijk, maar dan zeg ik toch een 70% ofzo.

4: Hoeveelheden uittrekken is het basisproces van een kostenschatting maken, klopt dat?

Ja klopt.

5: De kwaliteit van de tekeningen/modellen, hoe hebben zij invloed op de kwaliteit van een kostenschatting?

Uiteraard he, kijk hoe beter iets is uitgezocht hoe beter wij kunnen bepalen wat de opdrachtgever wenst.

6: De kwaliteit/het detail van beschikbare informatie lijkt ook een factor die invloed uit kan oefenen op het kostenschattingsproces, klopt dit? Hoe beïnvloedt dit de kostenschatting dan?

Uiteraard, de kwaliteit van het bestek is belangrijk. Als daar in staat zie tekeningen en het staat niet op tekeningen, ja dan heb je een probleem. Dan kun je vragen gaan stellen, dan krijg je een nota van inlichtingen, en daarin wordt vaak een ontwijkend antwoord gegeven. Dan zeggen ze je bent aannemer zoek het je maar uit he, dat gebeurt ook vaak. Maar de kwaliteit is flink achteruit gegaan de laatste jaren vind ik zelf. Vroeger was alles via een aanbesteding op laagste prijs en nu is het een plan van aanpak, dat vaak strenger weegt als de prijs. Daar zijn ook hele discussies over, van is dat objectief bijvoorbeeld. Planning, plan van aanpak, wat is je visie, veiligheid en kwaliteit, dat zijn allemaal belangrijker geworden dan de prijs. Maar het is niet meer zo dat de prijs alleen bepalend is, wat het ook weer een stuk complexer maakt. We moeten dan weer een stukje slimmer zijn als de concurrent en hoe ga je daar mee om dan.

7: Dus de complexiteit van een project kan dan invloed hebben op de duur van het kostenschattingsproces?

Ja, dat heeft met planning te maken uiteraard. Als het een complex werk is dan is de planning wat moeilijker dat het wat meer achter elkaar gepland moet worden, enzovoorts. En uiteraard ook in de prijs he. Kijk hoe moeilijker, ja het is moeilijk te vertalen in een prijs. Maar we hebben dan bijvoorbeeld bij die moeilijkheidsgraad, komt die norm aan te hangen.

8: Wat is een gemiddeld benodigde tijd om een kostenschatting op te zetten?

Dat is afhankelijk van de grootte van een project. Bij de Geusselt hadden we een week of 5 en hebben we nog een week uitstel gekregen in verband met moeilijke vragen. Een vragenronde is ingelast en werd er anderhalve week bij geteld. Dus dan zit je op 6,5 week. Maar gemiddeld een week of 4 denk ik, maar het ligt echt aan de grootte van het project.

9: Waarom denkt u dat BIM nog niet volledig, of in grote mate, geïmplementeerd is binnen Laudy?

Zo ver zijn we met z'n allen nog niet he, dat is eigenlijk het antwoord. Het is complexer dan men over het algemeen denkt, zeker in het kader van calculeren. We hebben hier iemand die is dan wat meer bezig met BIM en daar heb ik dan eens meegesproken. Hoeveelheden uittrekken, bijvoorbeeld vloerbedekking, dat is vrij simpel maar als je moeilijke details hebt dat ligt er dan heel erg aan hoe is het BIM model opgezet. Binnen dit bedrijf is er nog weinig

aan BIM besteed. In dit geval is het helemaal een beetje moeilijk in verband met Ballast. Daar zit dus een rem op op dit moment. Wat ik er van af weet is de samenwerking met BIM ook minimaal binnen Ballast en Laudy. Je zou zeggen we moeten van elkaar leren en de voordelen zien, maar volgens mij gebeurt dat veel te weinig. De calculator moet van BIM afweten en hij moet uiteraard kunnen calculeren. En wat ik dan belangrijk vind, de modelleur is dadelijk verantwoordelijk voor de hoeveelheden. Als ik dat bij de directie zeg dan zegt die ja dat tel je toch nog even na en dan is ben je nog extra werk aan het doen en is het voordeel weg he. Dan moet je volledig kunnen vertrouwen op dat gebeuren en dat is moeilijk. Verder als het voordeel met hoeveelheden uittrekken gaat het op dit moment nog niet van wat ik gezien heb ik collega's. 3 jaar geleden hebben we hier informatie gehad met betrekking tot calculeren en er werd erg simplistisch over gedacht; je maakt een bibliotheek, daar doe je wat elementjes aan koppelen en dat is het. En dan klik je er op en die fundering gaat daar naar toe en die wanden gaan daar naar toe, zo'n idee heeft men er van. Zo makkelijk is het helaas niet. Wat ook belangrijk is, de hele codering van dat verhaal vanaf STABU naar elementen. We moeten eigenlijk op elementen gaan denken. En nu zitten we STABU, maar die koppeling dan met codering. Daar heb ik toch eens op gestudeerd van welke code kun je daar nu aanhangen, daar kun je een heel verhaal van maken, 10 cijfers. Maar je verzuipt compleet in het verhaal. Er zijn ook mensen die die weg zijn ingeslagen en na een jaar dachten verrekt het kan helemaal niet het is veel te complex. Dus daar moet een standaard in komen. Maar daar zijn ze volgens mij ook mee bezig.

Informatie deelnemer:
[CONFIDENTIAL]

Na het welkom heten, het doel van het interview uitleggen en de vragen met betrekking tot werkervaring, start het interview.

1: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de projectduur?

Dat is gegevensverstrekking, dat is een heel voornaam iets. Hoe snel werken ze iets uit in de zin van werkvoorbereiding. Inkoop is eigenlijk niet relevant. Het weer is ook een belangrijke factor, dan heb je het eigenlijk een beetje gehad.

2: Ik kan me voorstellen dat de complexiteit van een project invloed heeft op de duur van een project; een erg complex project zal de duur gemakkelijker kunnen verhogen dan een vrij eenvoudig project. Klopt deze aanname, en zo ja op welke manier kan de complexiteit dan zorgen voor een verhoogde projectduur?

Ja daar heb je een punt, dat klopt ja. Als je bijvoorbeeld staal in een vloer hebt wat mee ingestort moet worden, dat is dan dragend voor de planning dus dat moet geregeld zijn. Dan kun je het beton laten komen voor de vloer maar je moet ook het staal hebben dat erin verwerkt moet worden snap je. Dus dat moet allemaal op volgorde komen.

3: Dan kom ik automatisch bij de vraag op welke manieren onderaannemers of leveranciers kunnen zorgen voor een vertraging in het project?

Niet komen opdagen. Als ze hun werk niet gedaan hebben, bijvoorbeeld een tegelzetter. Als ik dan zeg over 2 weken moet je komen tegelen. Als je dan nog de zaak moet gaan bestellen qua tegels en alles, bijvoorbeeld de tegels zit levertijd op, ja dan hebben we een probleem he, als hij zegt ja daar zit 4 weken levertijd op. Dan komt die al 2 weken te laat. Maar meestal wordt dat bij de opdracht al geregeld, van dan en dan moet er getegeld worden. Zodat die op tijd kan bestellen en geen vertraging komt. Late leveringen komen dus wel eens voor maar niet meer zo vaak, dat wordt meestal wel al in de kiem gesmoord.

4: Een klantvraag, die misschien verandert gedurende een project, of tijdsdruk kan opleveren, kan die de projectduur beïnvloeden?

Ja, dat ligt eraan. Als die met de planning kan meelopen is het geen probleem. Maar als het echt de planning gaat beïnvloeden komt er tijd bij, heel simpel.

5: Dus bijvoorbeeld ontwerp veranderingen zijn hier voorbeelden van?

Ja, maar meestal zijn dat dan wel al grove ontwerp veranderingen he. Kijk ik heb een keertje meegemaakt dat ze op een gegeven moment zeiden; ja we willen in plaats van marmoleum, parket hebben, allemaal van die kleine strookjes. Ja dat is wel meegegaan uiteindelijk, maar die hebben ook niet moeilijk gedaan over de tijd. Maar dat brengt nogal wat tijd met zich mee dat parket leggen, dat moet helemaal droog zijn, ik weet niet hoe die percentages zijn, maar het moet nog droger zijn dan als je marmoleum legt dus dan duurt dat ook weer langer.

6: En als er gekken wordt naar hoeveelheden vergroting, komt dit voor en beïnvloed dit dan de projectduur?

Dat wordt gecontroleerd he. Kijk ik krijg altijd contracttekeningen, en het eerste wat ik doe is altijd het contract vergelijken met de werktekeningen. Dat zie je in een oogopslag als je al wat langer meeloopt. Hey hier klopt iets niet, en daar, even kijken, oja inderdaad. Meestal zijn ze ook nog zo om er geen wijzigingspijl op te zetten terwijl dat moet. Dan worden die veranderingen opgesomd he. Als ze het zo willen hebben he, dan is het meer- of minderwerk he.

7: Als ik dan een blikwerp op de beschikbaarheid van tekeningen, hoe kan dit invloed uitoefenen op de projectduur?

Ja als je niet op tijd werktekeningen krijgt, dan moet de architect zeggen; ‘luister jullie kunnen met de bestektekeningen werken’, maar dat is dan op hun verantwoordelijkheid he. Wij kunnen er dan niet voor instaan dat het dan dadelijk fout gaat. Maar meestal gaat dat ook wel goed, dat was vroeger heel vaak dat je nog met bestektekeningen aan het werken was. Dan zeiden ze ineens tijdens de bouw ‘ja houdt de b-tekeningen maar aan of de w-tekeningen’, maar dat is allemaal om. Nu zit er bij de aanbestedingstekeningen al genoeg detail dat je er alles mee kunt, vind ik persoonlijk. Het ligt ook eraan welke architect je hebt he, daar zit ook vaak verschil in. Maar bij complexe werken moet dat detail ook nog in detail uitgewerkt worden en dan kan het zijn dat je daar op moet wachten ja, en dat beïnvloed dan zeker.

8: Komt het ook wel voor dat er een slechte of onderschatte planning is gemaakt, en dat deze dan, nadat de opleverdatum contractueel vastligt, aangepast wordt (wat natuurlijk ook voor problemen richting de projectduur kan leiden)?

Ja, dat is hier het geval geweest. We hebben een planning gemaakt en zouden werken in de zomertijd, dus in maart beginnen, maar zijn pas in september begonnen. Dus dat wil zeggen dat je eigenlijk een periode overslaat. Dus dan ga je de herfst en de winter in, anders was ik het voorjaar en de zomer in gegaan. Dan had ik in de zomer in de afbouw gezeten, dan had ik geen probleem met vocht gehad, de daken had ik veel makkelijker dicht kunnen maken en alles, dus dat heeft zeker veel invloed gehad.

9: Hoe kan het dat deze planning zo verschoven is?

Ja die mensen van de infra, dat was die moesten op een gegeven moment nog een hoop leidingen omleggen en noem maar op. Toen konden we pas dat gebouw slopen en toen pas ontgraven om nieuwbouw te realiseren. Dus dat was echt vanuit een externe partij die vertraging. Je bent ook vaak afhankelijk van externe partijen.

10: Op welke manier kan communicatie invloeden op de projectduur?

Ja als beslissingen te traag genomen worden. In vergaderingen zeg je bijvoorbeeld volgende week moet ik dat weten, weet ik dat niet dan moeten we dagen erbij hebben. Maar op veel werken zeggen ze dan het staat toch al op tekeningen, er wordt altijd een draai aan gegeven.

11: En gekken naar persoonsgebonden informatie (slechte verspreiding van informatie onder het team), kan zo iets de projectduur beïnvloeden?

Ik doe de complete uitvoering, de bestellingen, maar als ik niet gevoed word met informatie en ik koop bij een verkeerde in, dan maak ik een fout omdat ik de juiste informatie niet had. Dus we zitten ook vaak bij elkaar: ‘dat ga je daar bestellen’. Er zijn ook onderaannemerslijsten van, het kan wel eens zijn dat er wat vergeten wordt en als diegene

dan ziek is kun je hem niet bellen, ja wat moet je dan, dat is toch wel een feit ja. Daarom zitten we ook vaak in die interne werkbesprekingen bij elkaar en worden al die dingen toch altijd geventileerd. En dan wordt er ook besproken volgens punten waar alles in voor komt, en dan wordt alles duidelijk gedeeld.

12: Heb je verder nog aanvullingen die je zou willen vertellen?

Nee ik heb alles eigenlijk wel gehad he, het weer, informatie.

13: Waarom denkt u dat BIM nog niet volledig, of in grote mate, geïmplementeerd is binnen Laudy?

BIM is dat calculatie programma? Ik denk dat niet iedereen de know-how heeft. Ik weet er zelf bijvoorbeeld al bijna niets van af. Dus je zult dan ook wel cursussen moeten volgen he? En ik heb gehoord dat je ook sneller bent met calculeren dan? Verder weet ik er eigenlijk vrij weinig van af.

Informatie deelnemer:

[CONFIDENTIAL]

Na het welkom heten, het doel van het interview uitleggen en de vragen met betrekking tot werkervaring, start het interview.

1: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de projectduur?

Onduidelijkheden vanuit het bestek, extra wensen opdrachtgever, te snel beginnen waardoor je met je werkvoorbereiding achter de feiten aan blijft lopen waardoor de uitvoering de werkvoorbereiding eigenlijk een beetje aan het voorbij lopen is. Je moet ook weten wat je moet maken, en daar schort het heel vaak aan buiten op de bouw. Dat we bijvoorbeeld onduidelijke stukken hebben en het niet goed voorbereid is. Je moet wel weten als ik een betoncyclus ga maken met wanden, breedplaten, enzovoorts, dat je er van tevoren over nadenk; wat doe ik op welke dag, wat voor kist inzet heb ik nodig, hoeveel personeel moet ik daar tegenover zetten, hoe snel moet ik materiaal laten komen, hoe ga ik het met de kraan doen of is de kraan dan overbezett, dan moet ik een pomp erbij zetten. Als je dat nog allemaal moet gaan uitdokteren als je al aan het bouwen bent dan ben je te laat. Dus een hele goede voorbereiding is eigenlijk het halve werk, dat geld voor dit ook, en daar schort het wel eens aan.

2: Ik kan me voorstellen dat de complexiteit van een project invloed heeft op de duur van een project; een erg complex project zal de duur gemakkelijker kunnen verhogen dan een vrij eenvoudig project. Klopt deze aanname, en zo ja op welke manier kan de complexiteit dan zorgen voor een verhoogde projectduur?

Wat is dan de definitie van complex. Ik heb net een project achter de rug, wat totaal niet complex was, maar er zijn wel heel erg veel meer- en minderwerken op moeten zetten omdat er zoveel gewijzigd is, dat maakt het heel complex terwijl het bouwen niet moeilijk is. Dus het is niet altijd het bouwen maar ook de hele procedure en alles wat er omheen hangt wat het wel eens complex maakt. Ook hier geldt weer, als je weet wat je moet maken. Maar de complexiteit speelt wel degelijk een rol. Dat betekent dat de werkvoorbereider tijd aan andere zaken moet besteden en daar komt die dan door achter te liggen op zaken, en dan kom je in een vicieuze cirkel uit.

3: Een klantvraag, die misschien verandert gedurende een project, of tijdsdruk kan opleveren, kan die de projectduur beïnvloeden?

Ja, de klant die net nog vindt dat er bij de oplevering dingen veranderen. Dan komen ze kijken en zeggen ze maar dit wil ik niet. Ja, maar dit is wel wat het bestek zegt. Nou dan maak toch maar iets anders.

4: Kun je dan ook denken aan ontwerp veranderingen?

Ja, of de keuzes van een architect. De architect laat die dan zijn gang gaan, want daar vertrouwen ze op dat die de juiste expertise heeft. Als ze dan bij oplevering tot de conclusie komen dat het niet is wat ze willen, ja dan kun je wel eens een verzoek krijgen om. Dat betekent dan wel meteen bouwtijd verlengen want dat ga je niet meer redden binnen de tijd.

5: Dit hangt dan ook weer samen met de meer- en minderwerken?

Ja wat ik net zei, het hele meer- en minderwerk daar zitten wijzigingen in waardoor ze ontstaan.

6: En als ik kijk naar onderaannemers of leveranciers, kunnen zij zorgen voor een vertraging in het project?

Ik denk niet zo heel veel, ze moeten onze planning volgen. Als ze gaan achterlopen dan gaan we aan de bel trekken, en voor lopen kunnen ze niet. Je kunt niet schilderen voordat je gaat behangen.

7: En late leveringen bijvoorbeeld, komt dat wel eens voor? En heeft dat dan invloed op de projectduur?

Ja, maar dan heb je het over dat het niet goed voorbereid is. Vaak komt het vanuit een engineeringproces vanuit de onderaannemers. Bijvoorbeeld aluminium kozijnen. Dan moet er getekend worden en heb je een bepaalde procedure te gaan. Dat begint met contract samen maken, dan opstellen contract, start tekenwerk, controle tekenwerk, goedkeuring tekenwerk door architect, dan heeft de opdrachtgever nog invloed, dan heb je een go. Dan heb je nog 10 weken productietijd en dan kun je pas je kozijn op de bouw hebben. Dan moet ik ook de

kozijnen op de bouw hebben volgens onze bouwroute en niet op een andere volgorde. In dat traject kan dus veel fout gaan en het is belangrijk dat je dat bewaakt. Daar zijn onze voorbereidingsschema's voor. Die worden gebruikt om te kijken of er ergens bijgestuurd moet worden. Maar als dat niet goed loopt en je gaat achterlopen, dan heb je geen spullen op tijd en dan heb je planning achterstand. Dus het is wel essentieel.

8: Komt het ook wel voor dat er een slechte of onderschatte planning is gemaakt, en dat deze dan, nadat de opleverdatum contractueel vastligt, aangepast wordt (wat natuurlijk ook voor problemen richting de projectduur kan leiden)?

Ja. Ik ga nu een project overnemen en daar hebben ze een betoncyclus van 7 dagen en hebben buiten heel veel moeite om het in 10 dagen te maken. Die 3 dagen ga je echt niet inlopen, dat lukt gewoon niet. Dus daar is gewoon slecht over nagedacht en dat ga je ook niet meer inlopen. Wat je wel kunt inlopen, als je binnenwanden gaat plaatsen bijvoorbeeld en de spullen zijn er, kun je extra personeel inzetten als ze dan ook vooruit kunnen, dan kun je inlopen. Als je afhankelijk bent van een voorganger dan loop je weer vast, dat is vooral in de woningbouw erg en in de utiliteitsbouw weer minder.

9: Op welke manier kan communicatie invloeden uitoefenen op de projectduur?

Ja, we doen wel veel communicatie, er zijn veel overleggen met elkaar. Een inkoop overleg, intern werkoverleg, werkbespreking, bouwvergadering, veiligheidsoverleg, dus er wordt wel veel gecommuniceerd.

10: En een trage snelheid bij beslissingen nemen, kan zo iets de projectduur beïnvloeden.

Het schuift allemaal een beetje onder het hoofdstuk voorbereiding. Als er geen beslissingen genomen worden betekent ook dat je voorbereiding niet goed is, en dat zie je terug buiten in het werk. Als je iets in moet kopen, moet er op tijd een beslissing genomen worden over de opdracht. Als dat besluit niet komt en die opdracht maar blijft uitgesteld, op het eind haal je je productietijd niet meer want dan moet je in 6 dagen produceren waar eigenlijk 12 voor nodig zijn. We vragen aan een opdrachtgever beslismomenten. Op die datum moeten we het dan weten, weten we het niet dan gaat het niet goed.

11: Dus de informatie tijdig beschikbaar hebben is een belangrijke factor?

Ja dat is het zeker.

12: Als ik dan een blikwerp op de beschikbaarheid van tekeningen en de kwaliteit ervan, hoe kan dit invloeden op de projectduur?

Tuurlijk, als de kwaliteit van het tekenwerk niet goed is betekent het dat iemand anders er weer in moet duiken, het moet uitzoeken, extra werk moet gaan doen, vragen stellen, aan laten passen, dan ben je ook weer tijd kwijt. Voor de beschikbaarheid geldt het ook; we

hebben een werkvoorbereidersschema waar op staat wanneer je welke tekeningen nodig hebt. Als je ze niet hebt kun je je werk niet doen.

13: En gekeken naar persoonsgebonden informatie (slechte verspreiding van informatie onder het team), kan zoiets de projectduur beïnvloeden?

Zoiets kun je niet helemaal uitsluiten, maar we hebben veel overleg met elkaar waar je het dan moet en kunt delen, maar er zal vast wel eens iets tussen zijn wat men dan vergeet.

14: Zou je in zoveel mogelijk detail kunnen vertellen wat belangrijke factoren zijn die invloed hebben op de kostenschatting?

Waar veel winst te behalen is bij het begroten is hoe we het slim kunnen aanpakken. Als een betoncyclus voor 7 dagen in de begroting is gezet, denk daar eens wat beter over na. Niet alleen optellen maar nadenken over het proces. Wat je ook zou kunnen doen is met een onderaannemer om de tafel gaan om te bekijken wat er geteld is. Wij hebben misschien een steiger geteld en hij ook nog een hoogwerker. Die tijd ontbreekt echter vaak in een aanbesteding, dan heb je tijdsdruk om binnen een bepaalde tijd een prijs te hebben.

15: Hoeveelheden uittrekken is het basisproces van een kostenschatting maken, klopt dat?

Ja, dat is wel de calculatie doet.

16: De kwaliteit van de tekeningen, hoe hebben zij invloed op de kwaliteit van een kostenschatting?

Je moet het zo zien, calculators hebben meestal te weinig inzicht in de praktijk buiten. Ze pakken de tekeningen en een markeerstift en dan gaan ze tellen en markeren wat ze moeten prijzen. Maar ze hebben dan niet alles geteld als de tekening geanalyseerd is. Als ik bijvoorbeeld kanaalplaatvloeren moet leggen en ik leg die op de eerste verdieping, dan rekenen ze een balk, een stempel en misschien nog een steiger deel, prima, niks mis mee. Maar dan moet ik diezelfde kanaalplaat op 20 meter hoog leggen. Dan rekenen ze hetzelfde, maar dat gaat niet met een stempel en een balk, dan moet ik torens bouwen. Dat snappen ze dan niet. Dus dat wordt dan niet gerekend in de prijs. Ze moeten dan kijken hoe ziet het gebouw eruit, waar zit dat element. Niet alleen maar kijken op basis van m^2 . En hoe beter de tekeningen, hoe beter de kwaliteit van de begroting.

17: De kwaliteit/het detail van beschikbare informatie lijkt ook een factor die invloed uit kan oefenen op het kostenschattingsproces, klopt dit? Hoe beïnvloedt dit de kostenschatting dan?

Je bent afhankelijk van je opdrachtgever. Als ik dan onderscheid maak in aanbesteding en bouwteam, bij een bouwteam werk ben je er zelf meer bij betrokken aan de voorkant, dat je een beetje meer kunt sturen. Bij een aanbesteding en er moet over 4 weken een prijs liggen,

kun je zeggen ik wil een andere tekening hebben want ik vind het een beetje karig opgesteld. Dan zeggen ze dan hoef je niet meer te rekenen meneer. Het bestek geeft weer extra informatie bij de tekeningen, en dat kan natuurlijk ook invloed hebben, je kunt ze niet los zien van elkaar. Bij betere informatie krijg je een begroting die beter aansluit op wat dat gevraagd is.

18: Waarom denkt u dat BIM nog niet volledig, of in grote mate, geïmplementeerd is binnen Laudy?

De onbekendheid die er is met BIM. Het plaatje kostenbaten speelt ook een belangrijke rol. Dat BIM een goed ding is, is iedereen wel van overtuigd, en dat je er veel mee kunt behalen, maar als BIM €60.000 kost en een extra werkvoorbereider kost €40.000 kiest men voor het tweede. Men is zoekende. Maar ook wat ga je met BIM doen, wat stop je er in, hoe ver ga je er mee.

19: Heb je verder nog aanvullingen die je zou willen vertellen?

Bij het BIM verhaal, denk ik dat het wel veel kan doen voor de installaties, want daar zijn altijd heel veel problemen mee op de bouw, dat past vaak niet.

Appendix C: Detailed description of the influential factors

This chapter gives a detailed description of the factors identified in the literature study and semi-structured interviews.

1. Project duration factors

- **Change in client demand**

A frequently mentioned change in client demand is design changes. When a client demand changes during the course of a project, adjustments may arise; this could result in a change in project duration.

- **Bad or underestimated scheduling**

When a bad or underestimated schedule is made, it is very likely that the project duration could be affected. For example during a tendering phase, the schedule made for the tender could be bad or underestimated. When the tender is won, the contractor is in trouble because they have not scheduled enough working days, resulting in a schedule delay.

- **On-time information**

If the information is not there when it is needed, mistakes can be made, assumptions have to be made (which could result in a different end result than the client had in mind), questions have to be asked, resulting in a possible project delay.

- **Project complexity**

In general, more complex projects have a higher risk factor and could therefore suffer from project delays more quickly than uncomplicated projects.

- **Poor preparation by the contractor**

Poor preparations done by the contractor result in problems during the realization phase. This phase is considered the most expensive to solve problems. Besides the costs, issues during realization have a higher probability to result in project delay.

- **Slow / late decision making**

When decisions are not made in time, there is a possibility that some activities cannot be executed, resulting in a project delay.

- **Information only known by one specific employee**

If some information is only known by its owner, losing this employee due to illness or resignation could result in a loss of information. This loss of information could be beneficial to the project. Missing this information, or the effort needed to retrieve this information, could therefore lead to a delay of the project.

- **On-time drawings**

If the drawings are not there when it is needed, mistakes can be made, assumptions have to be, employees will have to work with drawings that are outdated or have less detail, questions have to be asked, resulting in a possible project delay. In the worst case, the work cannot continue/start due to the absence of the required drawings.

- **Contract variations**

Nearly every project contains contract variations. It is self-evident that this goes alongside with the possibility of project delays. When contract variations result in additional work and it cannot be covered within the original schedule, a delay will occur.

- **Poor preparation by the subcontractors / suppliers**

For example aluminum window frames: for these frames an engineering process is involved which a supplier has to go through. If for some reason something goes wrong during this process or the process is started late due to whatever reason, a project delay could be a result because the window frames will not be present at the construction site in time.

- **Quality of the information**

If the quality of the information is bad, work could be postponed, resulting in a project delay. For example, when contract documents lack information, questions have to be asked which cost time, or assumptions have to be made that could result in a different product than the client actually wanted (resulting in additional work).

- **Stakeholders**

Stakeholders can influence a project in many ways. A proper stakeholder analysis should give clear insight in the important stakeholders involved in the project and provide controlling measures to keep them satisfied.

- **Season of the year**

The season of the year is a very important factor in the realization phase. Certain activities require specific conditions in which to be executed (e.g. temperature, humidity). The weather plays a big role for these activities.

- **Obligations with regard to the selection of subcontractors / suppliers**

It is possible that a client obligates you to work with specific contractors and / or suppliers. When you are bound to these companies and it turns out that they, for

example, do not have the required expertise needed for the project, problems like a project delay could be a result.

- **Communication**

When there is a lack in communication, important information could be lost or arrive at the appropriate person to late, resulting in delays in the project.

- **Fragmentation of information**

This is part of communication and can therefore have the same effect.

- **Quality of the drawings**

If the quality of the drawings is bad, work could be postponed, resulting in a project delay. For example, when drawings lack detail, questions have to be asked which cost time, or assumptions have to be made that could result in a different product than the client actually wanted (resulting in additional work) or the drawings have to be redrawn, resulting in more time needed.

- **Insufficient labor capacity**

It is self-evident that insufficient labor capacity results in a project delay. When the capacity is to low, work cannot be completed in time.

- **Presence or absence of permits**

When permits that are required for a work to be executed are not present, work is postponed, resulting in a project delay.

- **Employee motivation**

It is assumed that motivated employees work harder than unmotivated employees. The latter could result in work not being finished on time, which could cause delays in the project.

- **Starting the realization too early**

If the realization starts to early, engineering will lag behind; this could result in a delay of the project.

- **No show of subcontractors / suppliers**

It is self-evident that if subcontractors / or supplier do not show up, it entails problems. One of these problems could be a delay because work cannot be executed.

- **The delay of third parties**

When for example in the preliminary stage of construction, when a soil research is done and this takes longer than expected, the other activities will be postponed resulting in a delay.

2. Cost estimation factors

- **Quantity take-off**

Quantity take-off is the fundamental process of cost estimating. The final price strongly depends on the quantity take-off, plus the unit price assigned to a quantity. Deviations or errors in the quantities directly influence the calculated budget.

- **Quality of the information**

If the quality of the information is bad, the detail of the cost estimation will decrease. Besides this, questions need to be asked to gain the right information and improve the quality of the cost estimation, resulting in a longer cost estimation process.

- **Quality of the drawings**

If the quality of the drawings is bad, the detail of the cost estimation will decrease. Besides this, questions need to be asked to gain the right drawing information or drawings and improve the quality of the cost estimation, resulting in a longer cost estimation process.

- **On-time information**

If the necessary information is no there when it is needed, the estimation process will delay because it takes time for the drawings to get to the estimator, or the cost estimation will decrease in quality due to a lack of important information (assumptions have to be made).

- **Experience of the assessor**

It is self-evident that a more experienced (usually known as a senior) assessor requires less time to make the estimation and possibly also provide an estimation that more accurately represents the client demand.

- **On-time drawings**

If the necessary drawings are no there when it is needed, the estimation process will delay because it takes time for the drawings to get to the estimator, or the cost estimation will decrease in quality due to a lack of important information (assumptions have to be made).

- **Project complexity**

The more complex a project, the longer it will take to set up a cost estimation. Additionally, there is a chance that the cost estimation will decrease in quality due to a lack of expertise combined with the complexity factor.

- **Presence of the contract documents**

If the necessary contract documents are not there when it is needed, the estimation process will delay because it takes time for these documents to get to the estimator, or the cost estimation will decrease in quality due to a lack of important information (assumptions have to be made).

- **Choice of material**

An assessor has a choice in the material that is chosen, assuming that there are no restrictions in the contract documents. These materials can differ in price, and perhaps the quality, and can therefore influence the final price of a cost estimation.

- **Mistakes**

Some things might be overlooked by the assessor, resulting in a cost estimation that represents what actually needs to be built, less accurate.

- **Unit price**

Unit prices are linked to the quantities and combined create the price. Therefore it is self-evident that this can influence the cost estimation.

Appendix D: Matrices of the interviews

This chapter shows two matrices of the interviews. These matrices consist of the factors identified in the literature study and checked in the interviews, plus factors identified in the interviews. The numbers in Table 32 and Table 33 correspond with the number of the question asked in the interview, which resulted in finding or confirming a factor.

Table 32: Project duration factors ranked in descending frequency and their source per participant.

Project duration factors							
Factor	Participant 1	Participant 2	Participant 3	Participant 4	Participant 7	Participant 8	Freq
Change in client demand	Q 8	Q 1	Q 7 & 14	Q 6 & 11	Q 4 & 5	Q 1, 3 & 4	6
On-time information	Q 11	Q 2	Q 2	Q 10	Q 1	Q 11	6
Slow / late decision-making	Q 17	Q 3	Q 11	Q 1 & 3	Q 10	Q 10	6
Late deliveries by the supplier	Q 10	Q 3	Q 1	Q 7	Q 3	Q 7	6
Project complexity	Q 4 & 5		Q 5	Q 1 & 2	Q 2	Q 2	5
Bad or underestimated scheduling	Q 12		Q 1 & 9	Q 8	Q 8	Q 8	5
On-time drawings	Q 11		Q 2 & 3	Q 10	Q 2 & 7	Q 12	5
Poor preparation by the contractor	Q 16	Q 3		Q 2	Q 1	Q 1	5
Information only known by one specific employee	Q 19		Q 13	Q 5	Q 11		4
Contract variations	Q 21		Q 7 & 8		Q 6	Q 2 & 5	4

Poor preparation by the subcontractors / suppliers			Q 4	Q 7	Q 3		3
Season of the year	Q 1				Q 1 & 8		2
Stakeholders	Q 1			Q 1			2
Obligations with regard to the selection of subcontractors / suppliers	Q 5 & 6			Q 10			2
Quality of the information		Q 1				Q 1	2
Quality of the drawings		Q 2				Q 12	2
Fragmentation of information			Q 12	Q 4			2
Presence or absence of permits	Q 5						1
Insufficient labor capacity			Q 10				1
Communication				Q 2 & 9			1
Employee motivation				Q 5			1
No show of subcontractors / suppliers					Q 3		1
The delay of third parties					Q 9		1
Starting the realization too early						Q 1	1

Table 33: Cost estimation factors ranked in descending frequency and their source per participant.

Cost estimation factors								
Factor	Participant 1	Participant 2	Participant 3	Participant 4	Participant 5	Participant 6	Participant 8	Freq
Quantity take-off	Q 28	Q 6	Q 16 & 17	Q 14	Q 2 & 5	Q 2 & 4	Q 15	7
Quality of the drawings	Q 29	Q 7 & 8	Q 19	Q 16	Q 1 & 6	Q 1 & 5	Q 16	7
Quality of the information	Q 30	Q 9	Q 19	Q 17	Q 1	Q 1 & 6	Q 17	7
On-time information	Q 27		Q 19	Q 17	Q 7			4
Experience of the assessor	Q 26	Q 4 & 5					Q 14	3
On-time drawings			Q 19		Q 1			2
Mistakes	Q 27							1
Choice of material		Q 7						1
Unit price				Q 14 & 15				1
Presence of the contract documents					Q 1			1
Project complexity						Q 1 & 7		1

Appendix E: Statistical tests

1. Design changes

The sample sizes are unequal for all statistical analyses. The Student's T-test is not robust to a violation of the homogeneity of variances assumption when sample sizes are unequal. However, the Welch's T-test is insensitive to homogeneity of the variances regardless of whether the sample sizes are similar. When conducting an independent samples T-test in SPSS, a Student's T-test will be conducted along with a Welch's T-test for when there is no homogeneity of variances. The Welch's T-test is shown in the row with "equal variances not assumed" and is consulted when the Levene's test for equality of variances generates a significant result. The level of significance for this study is $p = 0.05$, resulting in a 95% confidence interval. This significance value is common in scientific literature. The null hypothesis of the Levene's test for equality of variances states that the variances of both groups are approximately equal. The null hypothesis of the independent samples T-test and Mann-Whitney U test states that the mean score between the groups is not significantly different.

The design changes of the drawings from all project partners combined are compared. Later in this section the design changes per project partner are described. The descriptive statistics are shown below.

Amount of drawing versions

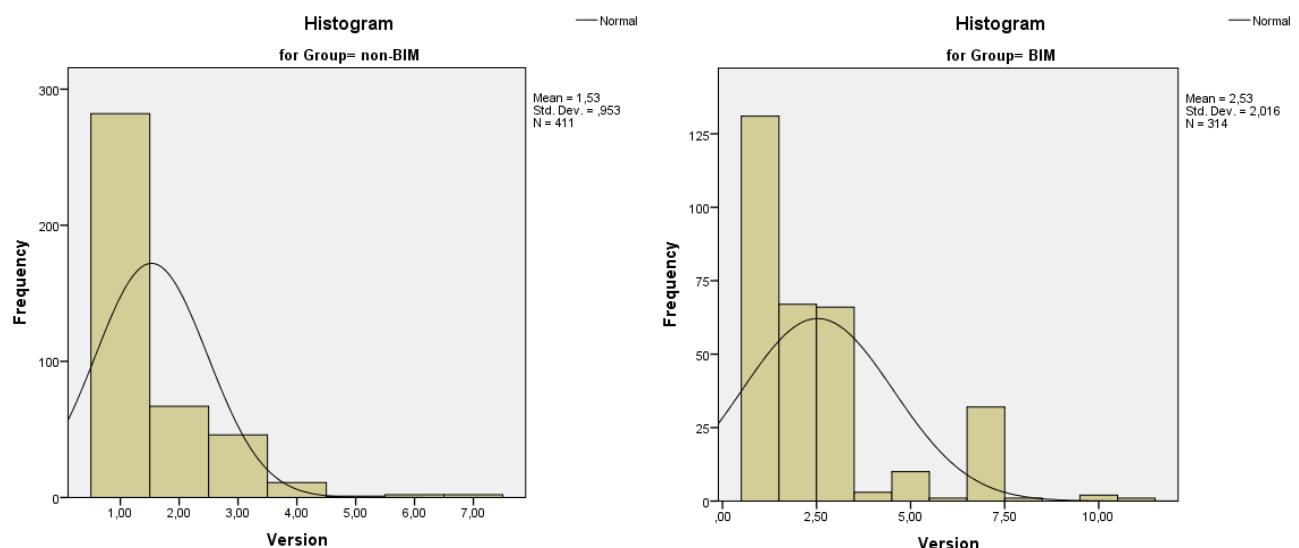
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1,00	413	57,0	57,0	57,0
	2,00	134	18,5	18,5	75,4
	3,00	112	15,4	15,4	90,9
	4,00	14	1,9	1,9	92,8
	5,00	11	1,5	1,5	94,3
	6,00	3	,4	,4	94,8
	7,00	34	4,7	4,7	99,4
	8,00	1	,1	,1	99,6
	10,00	2	,3	,3	99,9
	11,00	1	,1	,1	100,0
	Total	725	100,0	100,0	

Group				
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid non-BIM	411	56,7	56,7	56,7
BIM	314	43,3	43,3	100,0
Total	725	100,0	100,0	

Variance				
	Method		Statistic	
Version	Non-BIM	Variance	,908	
	BIM	Variance	4,065	

In order to determine if the data is distributed normally, both the histograms and skewness and kurtosis are analyzed and shown below.

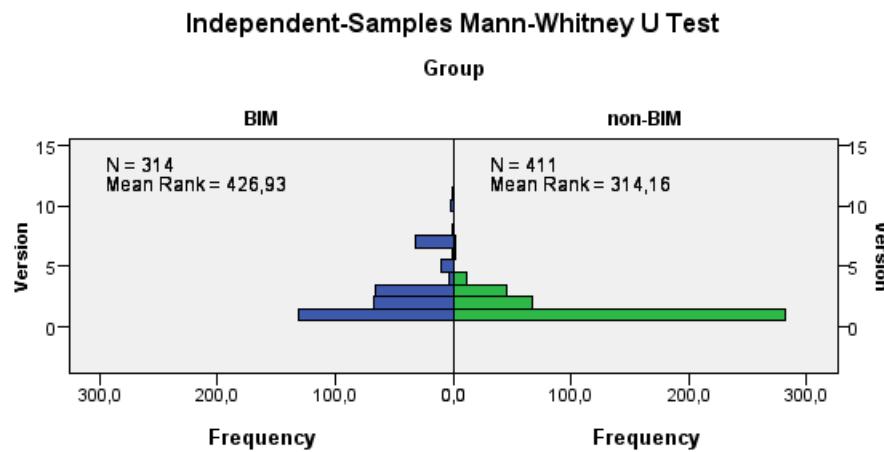
Kurtosis, skewness and their z-scores					
Group		Statistic	Std. Error		
Version	non-BIM	Skewness	2,334	,120	z-score 19,45
		Kurtosis	7,127	,240	z-score 29,70
	BIM	Skewness	1,647	,138	z-score 11,93
		Kurtosis	2,160	,274	z-score 7,88



The *z*-scores of skewness and kurtosis in both groups are far above the range of normality. Additionally, the histograms show a non-normal distribution for both the BIM and non-BIM group resulting in a nonparametric test approach.

The data consists of a nominal split variable (*Group*) that represents the BIM and non-BIM method, and an ordinal test variable (*Version*) that represents the amount of drawing versions. Because it is not possible to identify a normal distribution, the test is executed based on rank

scores. Therefore the nonparametric Mann-Whitney U test will be used. A low rank score corresponds with a low amount of design changes, whereas higher rank scores correspond with higher amount of design changes. The result of the nonparametric test is shown below.



Total N	725
Mann-Whitney U	84.600,000
Wilcoxon W	134.055,000
Test Statistic	84.600,000
Standard Error	2.507,087
Standardized Test Statistic	8,007
Asymptotic Sig. (2-sided test)	,000

The distributions in the two groups differ significantly ($\text{Mann-Whitney U} = 84.600$, $N_1 = 314$, $N_2 = 411$, $p < 0.05$ two-tailed). Because there is heteroscedasticity in this situation, the type I error is amplified and the results should be interpreted with caution (Nachar, 2008). Cohen's d was estimated at 0.30, which is considered to be a small effect based on Table 7.

1.1. Design changes based on architectural drawings

The design changes of the architectural production drawings, like floorplans, sections and views, are compared. The descriptive statistics are shown below.

Amount of Drawing Versions

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1	252	87,5	87,8	87,8
	2	35	12,2	12,2	100,0
	Total	287	99,7	100,0	
Missing	3	1	,3		
	Total	288	100,0		

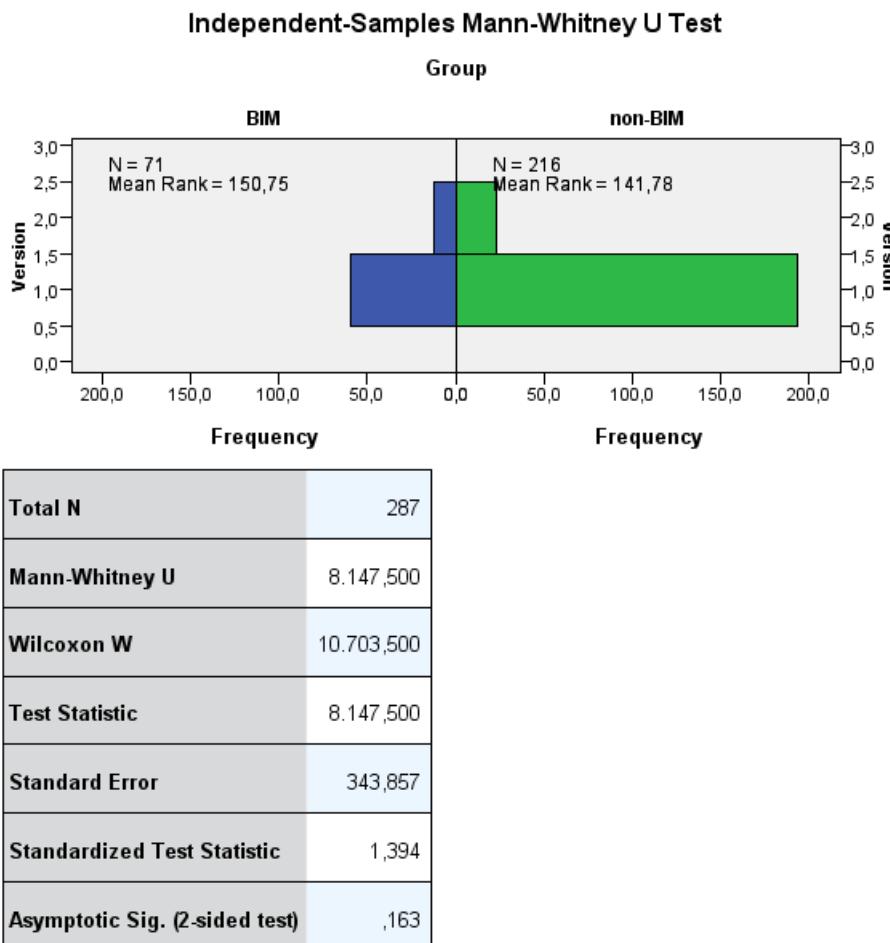
Group

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	non-BIM	217	75,3	75,3	75,3
	BIM	71	24,7	24,7	100,0
	Total	288	100,0	100,0	

Variance

	Method		Statistic
Version	Non-BIM	Variance	,096
	BIM	Variance	,142

The drawing versions range from 1 to 3, where 3 has a frequency of only 1 (being 0.3% of the total sample) and influenced the results too much (increased the *p*-value by 25%). Therefore the value 3 was omitted from the results and not used in the analysis. Because the drawing versions consist of only two values, the possibility to determine if the data is normally distributed is restricted. Additionally, the variance is ignored because of the little variation in drawing versions. The data consists of a nominal split variable (*Group*) that represents the BIM and non-BIM method, and an ordinal test variable (*Version*) that represents the amount of drawing versions. Because it is not possible to identify a normal distribution, the test is executed based on rank scores. The variance of the groups is extremely small and differs only a little. Therefore the nonparametric Mann-Whitney U test will be used. The result of the nonparametric test is shown below.



The distributions in the two groups do not differ significantly (Mann-Whitney U = 8.148, N1 = 71, N2 = 216, $p > 0.05$ two-tailed).

1.2. Design changes based on subcontractor drawings

The design changes of the subcontractor production drawings are compared. The descriptive statistics are shown below.

Amount of Drawing Versions					
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent	
Valid					
1	22	10,9	10,9	10,9	
2	76	37,6	37,6	48,5	
3	90	44,6	44,6	93,1	
4	10	5,0	5,0	98,0	
5	1	,5	,5	98,5	
6	2	1,0	1,0	99,5	
7	1	,5	,5	100,0	

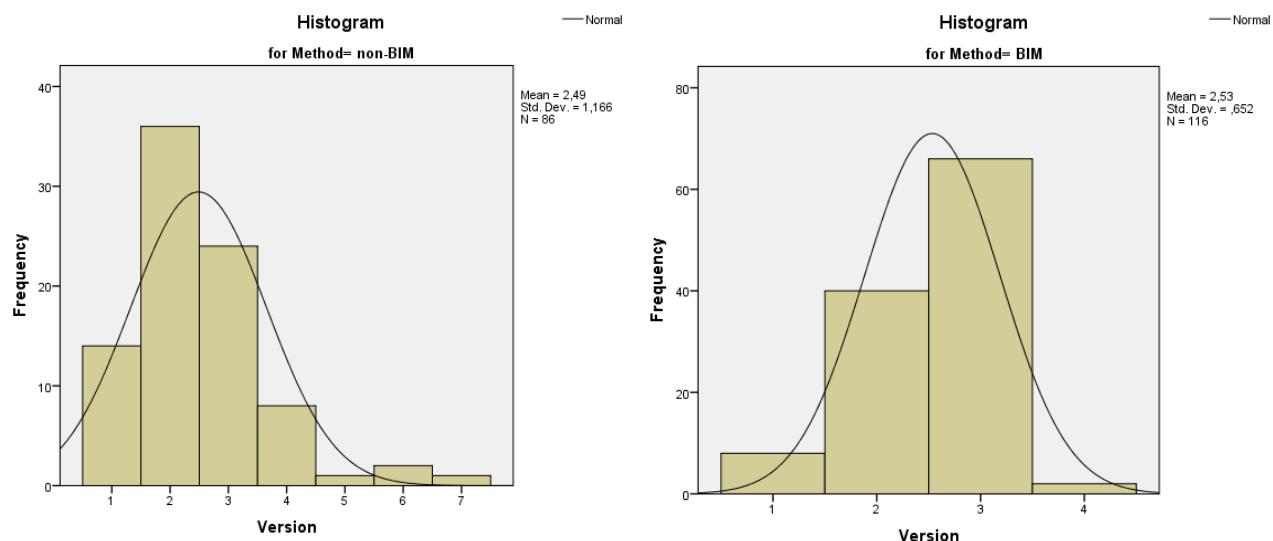
Total	202	100,0	100,0
-------	-----	-------	-------

Group					
	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent	
Valid non-BIM	86	42,6	42,6	42,6	
BIM	116	57,4	57,4	100,0	
Total	202	100,0	100,0		

Variance					
	Method		Statistic		
Version	Non-BIM	Variance	1,359		
	BIM	Variance	,425		

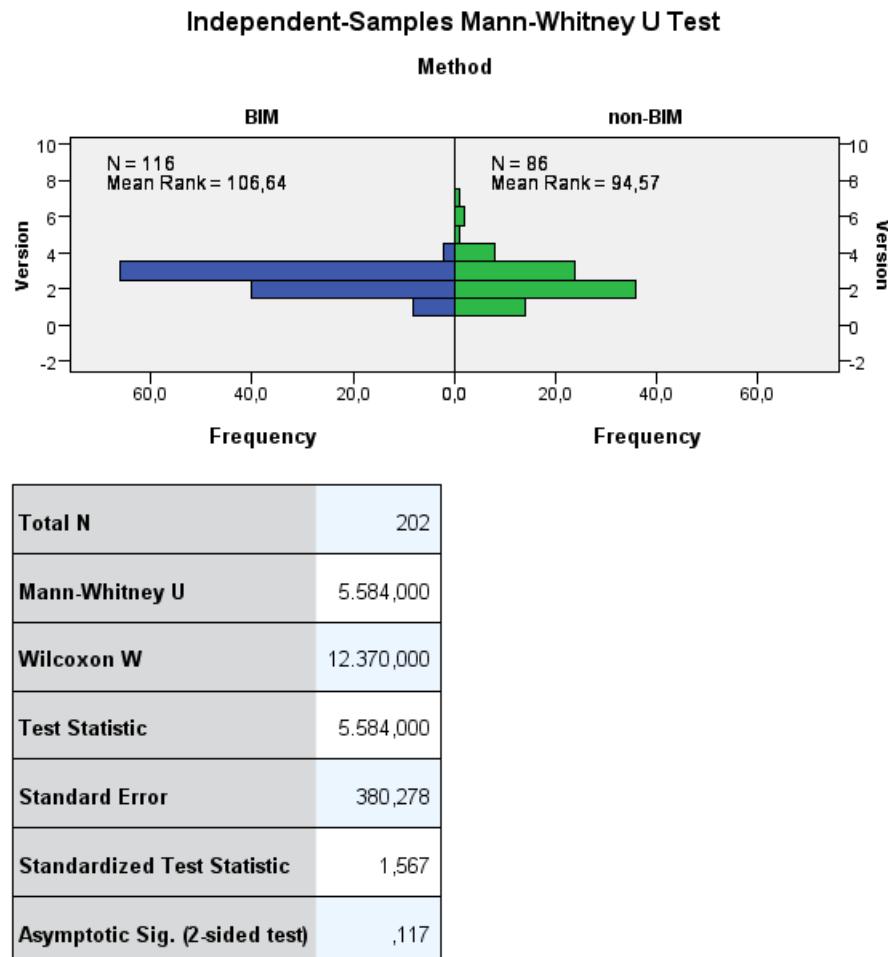
In order to determine if the data is distributed normally, both the histograms and skewness and kurtosis are analyzed and shown below.

Skewness, kurtosis and their z-scores					
Group		Statistic	Std. Error		
Version	non-BIM	Skewness	1,329	,260	z-score 5,11
		Kurtosis	2,858	,514	z-score 5,56
	BIM	Skewness	-,705	,225	z-score -3,14
		Kurtosis	-,038	,446	z-score -0,09



The z-scores of skewness and kurtosis of the non-BIM group both exceed the ranges of normality. The kurtosis of the BIM group is within normality range, but the skewness is not, which can also be seen in the histogram (negatively skewed). Although the histograms look somewhat normally distributed, the z-scores of skewness and kurtosis do not comply with the normality assumption. Therefore, a nonparametric test approach is chosen.

The data consists of a nominal split variable (*Group*) that represents the BIM and non-BIM method, and an ordinal test variable (*Version*) that represents the amount of drawing versions. Because the data is not normally distributed, the test is executed based on rank scores. Therefore the nonparametric Mann-Whitney U test will be used. The result of the nonparametric test is shown below.



The distributions in the two groups do not differ significantly (Mann-Whitney U = 5.584, N1 = 116, N2 = 86, $p > 0.05$ two-tailed).

1.3. Design changes based on installation drawings

The design changes of the installation production drawings, mechanical and electrical installations, are compared. The descriptive statistics are shown below.

Amount of Drawing Versions

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1	70	49,6	49,6	49,6
	3	21	14,9	14,9	64,5
	4	3	2,1	2,1	66,7
	5	10	7,1	7,1	73,8
	6	1	,7	,7	74,5
	7	32	22,7	22,7	97,2
	8	1	,7	,7	97,9
	10	2	1,4	1,4	99,3
	11	1	,7	,7	100,0
	Total	141	100,0	100,0	

Group

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Non-BIM	46	32,6	32,6	32,6
	BIM	95	67,4	67,4	100,0
	Total	141	100,0	100,0	

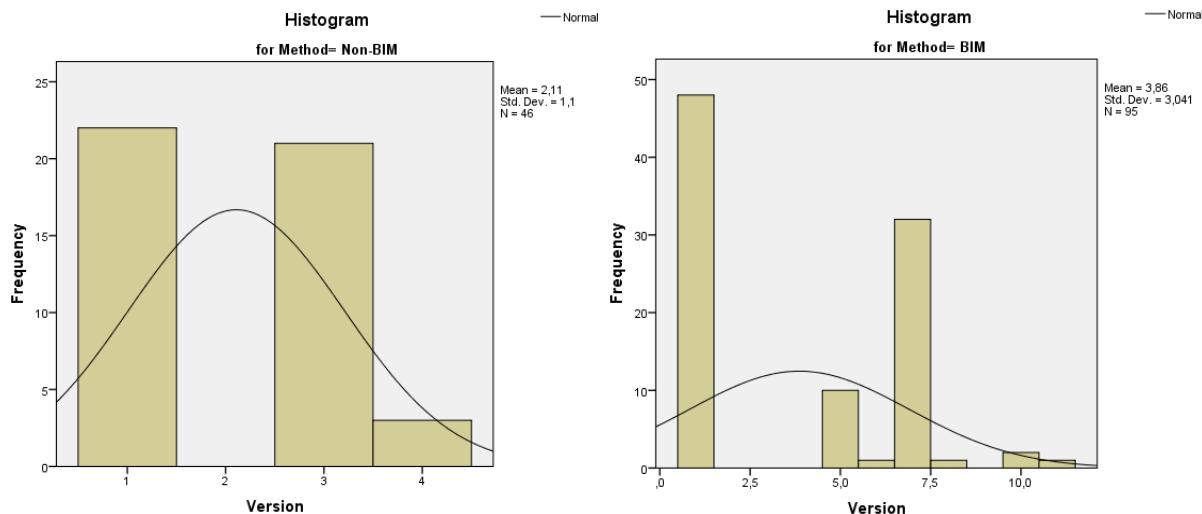
Variance

	Method		Statistic
Version	Non-BIM	Variance	1,210
	BIM	Variance	9,247

In order to determine if the data is distributed normally, both the histograms and skewness and kurtosis are analyzed and shown below.

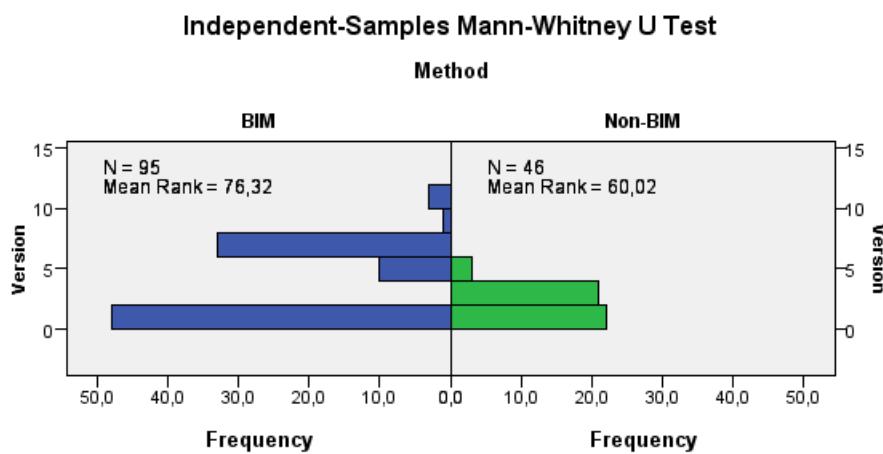
Skewness, kurtosis and their z-scores

Group			Statistic	Std. Error		
Version	non-BIM	Skewness	,090	,350	z-score	0,26
		Kurtosis	-1,739	,688	z-score	-2,53
	BIM	Skewness	,302	,247	z-score	1,22
		Kurtosis	-1,495	,490	z-score	-3,05



The z-scores of skewness are within the range of normality for both groups, but both groups have negative kurtosis. Although the skewness z-scores are within range and the kurtosis is somewhat negative, the histograms show that both distributions are far from normally distributed resulting in a nonparametric test approach.

The data consists of a nominal split variable (*Group*) that represents the BIM and non-BIM method, and an ordinal test variable (*Version*) that represents the amount of drawing versions. Because the data is not normally distributed, the test is executed based on rank scores. Therefore the nonparametric Mann-Whitney U test will be used. The result of the nonparametric test is shown below.



Total N	141
Mann-Whitney U	2.690,000
Wilcoxon W	7.250,000
Test Statistic	2.690,000
Standard Error	211,168
Standardized Test Statistic	2,391
Asymptotic Sig. (2-sided test)	,017

The distributions in the two groups differ significantly (Mann–Whitney U = 2.690, N1 = 95, N2 = 46, $p < 0.05$ two-tailed). Because there is heteroscedasticity in this situation, the type I error is amplified and the results should be interpreted with caution (Nachar, 2008). Cohen's d was estimated at 0.20, which is considered to be a small effect based on Table 7.