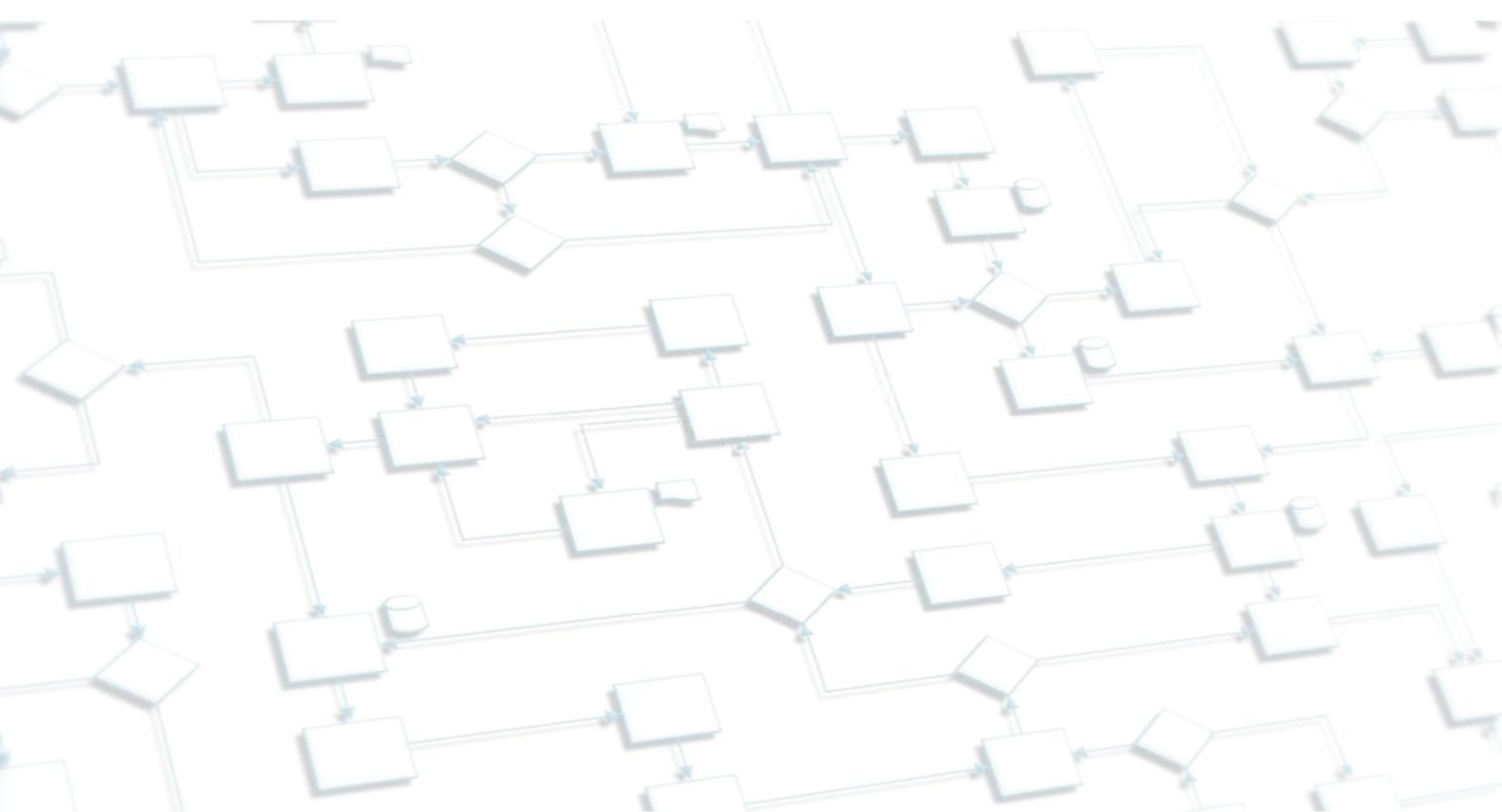

The discovery of bottlenecks within the BIM design process by using process mining

The concept of process mining in combination with BIM models in the design phase of construction projects



Graduation thesis by	C. (Claudia) van der Graaf
In collaboration with	Neanex
University	Eindhoven University of Technology
Graduation program	Master of Construction Management and Engineering
Date	October 2017

Colofon

Title: The discovery of bottlenecks within the BIM design process by using process mining

Subtitle: The concept of process mining in combination with BIM models in the design phase of construction projects

Author: C. (Claudia) van der Graaf
Student number: 0920053
E-mail: cvdgraaf_1@hotmail.com
University: Eindhoven University of Technology
Master program: Master Construction Management and Engineering
Graduation date: 18 October 2017

Graduation committee:

Prof. Dr. Ir. B. (Bauke) de Vries
University supervisor (chairman graduation committee)
b.d.vries@tue.nl

Dr. Dipl.-Ing. J. (Jakob) Beetz
University supervisor
j.beetz@tue.nl

Dr.ir. T. (Tom) Verhoeff
University supervisor
t.verhoeff@tue.nl

Company:

Neanex
Klokstraat 12
2600 Antwerpen
www.neanex.com

P. (Peter) Imbrechts
External graduation supervisor
peter.imbrechts@neanex.com

V. (Victor) Malvar
External graduation supervisor
victor.malvar@neanex.com

Preface

It is with great pleasure that I present this thesis as the result of my graduation project. The thesis represents the end of my master Construction Management & Engineering. The research in this thesis is carried out at the Eindhoven University of Technology and in collaboration with Neanex.

By conducting research in the field of Building Information Modeling (BIM) and process mining, I had chosen a challenging topic due to the fact that I did not yet know that much about the latter and because I was passionate about programming a real and usable application. However, I did not have any real programming experience. Eventually, after much reading, trial and error and watching tutorials my efforts turned out as I initially hoped.

While working on my graduation project I had a lot of interesting conversations with inspiring people and I would like to thank all who helped me during the research. Special thanks go to my university supervisor Jakob Beetz for his support, guidance and moments of discussion. Furthermore, I would like to express my gratitude for the feedback and support by Tom Verhoeff. In addition, I want to thank Victor Malvar and Peter Imbrechts (Neanex) for their valuable input and pointing me to the right connections within the company. Many thanks to Joran Jessurun and Thomas Krijnen who helped me with their expertise in programming and crucial technical input. Last but not least, I want to thank my boyfriend, my family and fellow students for all their help and support.

I hope you will enjoy reading this thesis report as much as I enjoyed conducting the research.

Claudia van der Graaf

October 2017

Summary

During the whole lifecycle of construction projects various domain experts work on the same project each of which delivers their own contribution by using its own software. Since the different information used are all part of one and the same project, a lot of information flows occur between the various involved project members.

However, the information they see and the decisions they make are limited to their specific role in the process. Each person is aware of the part they are involved in, but they have a limited view on the upstream and downstream processes. By means of this limited view on these processes (e.g. the modeling process), project members do not know what could be improved in the processes. For example within the final design phase (within a BIM process) the client sets a new requirement and the design manager communicates this to the design team (e.g. the architect, the modelers and the structural engineer). The design team changes the design to meet the requirement and the client obtains the new design. The intermediate design steps are not recorded or communicated. This small example design process could include multiple issues which for instance influences the time aspect. An overview of these steps could for example make clear the process in terms of time or handling over information to optimize this process and reduce costs within the project.

For managing the BIM processes, the use of Systems Engineering (SE) is introduced. SE is a specification- and design method for developing products and processes and aims to get insight into the complexity of the project. But when developing the products and processes e.g. the client demand and the design, many intermediate steps are also included namely a lot of events, activities and decisions.

However, expert interviews have shown that the monitoring systems are mainly based on handwritten notes and hand-made process models. These process models tend to provide an idealized view on the business processes. Often this has little in common with the real processes that have much more variability.

Although it is recognized that monitoring is important, monitoring is rarely performed well and it is now still a time-consuming, costly activity and prone to errors. In theory, this could be solved by applying process mining techniques to record design activities and exploit these data in a meaningful way to manage BIM processes.

Process mining focuses on extracting knowledge of organization's business processes from data of different information systems. These data need to be extracted as event logs (set of traces containing all activities executed for a particular process instance). These event data enable new forms of analysis facilitating process improvement. Each event should contain specific information to perform analysis. In this research a process mining tool called myInvenio is used and a start time, end time, activity, resource (user) and a case is required.

So, because of the possibilities process mining provides, this thesis focused upon the following research question: "*In which way could process mining be used to discover bottlenecks during BIM design activities of construction projects?*"

In order to provide an answer to this question, a pilot case was carried out consisting of a program of requirements. The required system was a schematic design of a school building.

Eight users performed the case and five datasets (containing a history log file, a Revit file, an IFC file and a video file) were useable for further analysis and visualization. The history log file contained information of the objects within the Revit project which were added, modified or deleted. The history log was validated by comparing the video file with the history log.

The history data was filtered by means of a rule-set allowing to do process mining analysis and to create process models. From each design activity the timestamp, the user such as the architect, the case (e.g. ground floor level) were extracted. By means of the rule-set the timestamp was split to a start (06-08-2017:13.33.48), end time (06-08-2017:13.33.58) and used for calculating time duration (10 seconds). Thereafter, and a ‘count’ column calculated the amount of combined rows. A combination of design activities was made by means of the same object type on the same floor which was added. By registering the addition and the object type, the ‘Activity’ column was created for example ‘Added Exterior Walls’.

Furthermore, the modifications in the whole BIM models and the history of modifications per element were visualized within the developed proof of concept by means of another rule-set. For this, a color range was created with the RGB (Red-Green-Blue) color code to view the (most, moderate and least) modified elements of the BIM model.

From a brief analysis, by using the designed proof of concept and the retrieved datasets, different outcomes were found:

1. First, the visualization of the element modifications in the five datasets showed that on average the interior walls were most modified (18 times).
2. In addition, the activity ‘adding interior walls’ took the longest time when comparing all users activities per floor level. Hence, in this example, one could conclude that ‘adding the interior walls’ is an obstacle in time in the modelling process.
3. When comparing the process models (created of every floor level) of one user there is always a part of the process which is repeated at every level.
4. Also, it appears that for most users often the following order occurs: added interior walls – added doors – added windows.
5. Furthermore, for most users the second floor level process took the least time (6 minutes). In this way, the second floor level process is on average the most efficient modeling process (based on solely time duration).

Finally, it can be said that from the outcome of this research it becomes clear that process mining could be effectively applied to map all design activities and interactions between design disciplines. Then such maps could be used to analyze bottlenecks in the design process. Thereby, analysis can also reveal patterns in processes and, when, what is done by which person at what time. Thus, process mining enables to reveal more intermediate steps in the design process and so this process will become more transparent for all project members instead of solely getting insight into end products.

Samenvatting

Gedurende de hele levenscyclus van bouwprojecten werken verschillende domeinspecialisten aan hetzelfde project, die elk hun eigen bijdrage leveren door gebruik te maken van eigen software. Aangezien de verschillende gebruikte informatie allemaal onderdeel uitmaakt van hetzelfde project zijn er veel informatiestromen tussen de verschillende betrokken projectleden.

Echter, de informatie die ze zien en de beslissingen die zij nemen beperkt zich tot hun specifieke rol in het proces. Ieder persoon is zich bewust van het deel waarbij ze betrokken zijn, maar ze hebben een beperkt beeld van de processen opwaarts en stroomafwaarts. Door dit beperkte zicht op deze processen (bijvoorbeeld het modelleringsproces) weten de projectleden niet wat er in de processen verbeterd kan worden. Bijvoorbeeld in de definitieve ontwerpfase (binnen een BIM-proces) stelt de klant een nieuwe eis op en de ontwerpmanager communiceert dit aan het ontwerpteam (bijvoorbeeld de architect, de modelleurs en de constructeur). Het ontwerpteam verandert het ontwerp om aan de eis te voldoen en de klant verkrijgt het nieuwe ontwerp. De tussenliggende ontwerpstappen worden niet opgenomen of gecommuniceerd. Maar dit kleine voorbeeld ontwerpproces kan meerdere knelpunten bevatten, die bijvoorbeeld het tijdsaspect beïnvloeden. Een overzicht van deze stappen kan bijvoorbeeld het proces verhelderen in termen van tijd of het overdragen van informatie om dit proces te optimaliseren en kosten te verminderen binnen het project.

Voor het beheren van de BIM-processen wordt het gebruik van Systems Engineering (SE) geïntroduceerd. SE is een specificatie- en ontwerpmethode voor het ontwikkelen van producten en processen en streeft naar inzicht in de complexiteit van het project. Maar bij het ontwikkelen van de producten en processen, bijvoorbeeld de klantvraag en het ontwerp, zijn er ook veel tussenstappen inbegrepen, zoals veel gebeurtenissen, activiteiten en beslissingen.

Expert interviews hebben echter aangetoond dat de monitoringssystemen voornamelijk gebaseerd zijn op handgeschreven notities en handgemaakte procesmodellen. Deze procesmodellen hebben de neiging om een geïdealiseerde weergave te geven van de bedrijfsprocessen. Vaak heeft dit weinig gemeen met de echte processen die veel meer variabiliteit hebben.

Hoewel het wordt erkend dat het monitoren belangrijk is, wordt het zelden goed uitgevoerd en is het nog steeds een tijdrovende, kostbare activiteit en vatbaar voor fouten. In theorie kan dit opgelost worden door process mining technieken toe te passen om ontwerpactiviteiten vast te leggen en deze gegevens op een zinvolle manier te gebruiken om BIM-processen te beheren.

Process mining richt zich op het opvragen van kennis van de bedrijfsprocessen van de organisatie uit gegevens van verschillende informatiesystemen. Deze gegevens moeten worden geëxtraheerd als event logs (reeks aan activiteiten uitgevoerd voor een bepaalde proces). Deze events maken nieuwe analysesoorten mogelijk om procesverbetering te vergemakkelijken. Elke activiteit moet specifieke informatie bevatten om analyses uit te kunnen voeren. In dit onderzoek wordt een process mining programma genaamd myInvenio gebruikt en daarvoor is een starttijd, eindtijd, activiteit, bron (gebruiker) en een subproces nodig.

Vanwege de mogelijkheden die process mining biedt, richt deze scriptie zich op de volgende onderzoeksfrage: *"Op welke manier kan process mining worden gebruikt om knelpunten te ontdekken tijdens de BIM-ontwerpactiviteiten van bouwprojecten?"*

Om een antwoord te geven op deze vraag is een casus uitgevoerd die bestaat uit een programma van eisen. Het vereiste systeem was een schematisch ontwerp van een schoolgebouw.

Acht gebruikers hebben de casus uitgevoerd en vijf datasets (met een geschiedenislogboek, een Revit-model, een IFC-model en een videobestand) waren bruikbaar voor verdere analyse en visualisatie. Het logboek bevat informatie over de objecten in het Revit-project welke toegevoegd, gewijzigd of verwijderd zijn. Het geschiedenislogboek werd gevalideerd door het videobestand te vergelijken met het geschiedenislogboek.

De geschiedenisdata werden gefilterd door middel van regels waardoor het mogelijk is om process mining analyses uit te kunnen voeren en procesmodellen te creëren. Vanuit elke ontwerpactiviteit werd het tijdstip, de gebruiker zoals de architect, het sub proces (zoals de begane grond) verkregen. Met behulp van de regels werd het tijdstip gesplitst naar een begin (06-08-2017:13.33.48), eindtijd (06-08-2017:13.33.58) en dit werd gebruikt voor de berekening van de tijdsduur (10 seconden). Daarnaast werd in de kolom 'telling' de hoeveelheid gecombineerde rijen berekend. Een combinatie van ontwerpactiviteiten werd gemaakt door hetzelfde objecttype op dezelfde verdieping. Door de toevoeging en het objecttype te registreren is de kolom 'Activiteit' aangemaakt, bijvoorbeeld 'toegevoegde buitenmuren'.

Bovendien werden de wijzigingen in de gehele BIM-modellen en de geschiedenis van wijzigingen per element in het concept door middel van een andere regelset gevisualiseerd. Hiervoor is een kleurbereik gemaakt met de kleurcodering RGB (rood-groen-blauw) om de (meest, gematigde en minst) gewijzigde elementen van het BIM-model te bekijken.

Uit een korte analyse, met gebruik van het ontworpen concept en de verzamelde datasets, werden verschillende resultaten gevonden:

1. Eerst toonde de visualisatie van de elementwijzigingen in de vijf datasets aan dat de binnenmuren gemiddeld het meest gewijzigde waren (18 keer).
2. Bovendien had de activiteit 'het toevoegen van binnenmuren' de langste tijd bij het vergelijken van alle gebruikersactiviteiten per verdieping. Dus in dit voorbeeld kan men concluderen dat 'het toevoegen van de binnenmuren' een belemmering is in de tijd in het modelleringsproces.
3. Bij het vergelijken van de procesmodellen (gemaakt van elke verdieping) van één gebruiker is er altijd een onderdeel van het proces dat op elk niveau wordt herhaald.
4. Ook blijkt dat voor de meeste gebruikers vaak de volgende volgorde aanhouden: toegevoegde binnenmuren - toegevoegde deuren - toegevoegde ramen.
5. Voor de meeste gebruikers duurde het tweede verdiepingsproces het kortst (6 minuten). Op deze manier is het proces op de tweede verdieping gemiddeld het meest efficiënte modelleringsproces (alleen op basis van tijdsduur).

Ten slotte kan men zeggen dat uit het resultaat van dit onderzoek blijkt dat process mining effectief kan worden toegepast om alle ontwerpactiviteiten en interacties tussen ontwerpdisciplines vast te leggen. Dit kan worden gebruikt om knelpunten in het ontwerpproces te analyseren. Daarbij kan analyse ook patronen onthullen in processen en wanneer, wat gebeurt en door welke persoon op welke tijdstip. Zo brengt process mining meer tussenstappen aan het licht in het ontwerpproces en wordt dit proces dus transparanter voor alle projectleden, in plaats van alleen inzicht te krijgen in eindproducten.

Contents

Colofon	3
Preface.....	4
Summary	5
Samenvatting.....	7
List of figures	12
List of tables	12
List of abbreviations.....	13
PART I: PROBLEM STATEMENT.....	15
1. Introduction.....	16
1.1 Background.....	16
1.2 Problem definition.....	17
1.3 Research objectives.....	17
1.4 Research questions.....	18
1.5 Methodological justification.....	18
1.5.1 Literature review	18
1.5.2 Interviews	19
1.5.3 Pilot case.....	19
1.5.4 Research model.....	19
1.6 Thesis outline.....	20
PART II: THEORETICAL REVIEW	21
2. Building Information Modeling	22
2.1 Building Information Modeling (BIM)	22
2.2 Project information exchange	22
2.3 Benefits, potentials and obstacles of BIM.....	23
3. Systems Engineering.....	25
3.1 Systems Engineering (SE)	25
3.2 What is the link between BIM and SE?	26
3.2.1 Validation	27
3.2.2 Configuration management	27
3.2.3 Interface management.....	28
3.2.4 Traceability	28
3.3 Design process.....	29
3.4 Conclusion Building Information Modeling and Systems Engineering.....	29
4. Business process management and monitoring	30
4.1 Business process management	30
4.1.1 BPM Life Cycle	31

4.1.2 Representation of BPM	31
4.1.3 Workflow management.....	32
4.2 Process and Document management	33
4.3 Business process monitoring within the construction industry.....	34
4.4 Conclusion business process management and monitoring.....	34
5. Process mining.....	35
5.1 Process mining.....	35
5.2 Event logs	38
5.3 Data formats.....	41
5.3.1 Conclusion data format	41
5.4 Conclusion process mining	41
6. Interviews and preliminary research.....	43
6.1 Interview findings.....	43
6.2 Conclusion interviews.....	45
6.3 Preliminary research	45
6.3.1 Revit.....	45
6.3.2 Relatics	45
PART III: PRACTICAL IMPLEMENTATION	47
7. Tool development	48
7.1 Pilot case description	48
7.2 System design.....	49
7.2.1 Data collection.....	49
7.2.2 Data extraction, transformation and load.....	50
7.3 Use cases	51
7.4 Prototype requirements.....	53
7.5 Use case diagram.....	54
7.6 Prototype.....	55
7.6.1 Data collection.....	55
7.6.2 Extraction.....	56
7.6.3 Transform	57
7.6.4 Load	59
7.6.5 Visualization	61
7.6.6 Summarizing data.....	63
7.6.7 Conclusion prototype	65
PART IV: CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	67
8. Conclusions and recommendations	68

8.1 Conclusions.....	68
8.2 Recommendations for future work.....	69
References.....	71
Appendix I: Interview questions and expert interviews (Dutch).....	74
Appendix II: BPMN visualization in the design phase within a (big) construction project.....	133
Appendix III: Flowcharts for data collection, transformation and visualization	134
Appendix V: User manual for data collection.....	138
Appendix VI: Data visualizations	147
Appendix VII: Script for data collection (C#)	149
Appendix VIII: Script for data transformation (python)	164
Appendix IX: Script for data visualization (python).....	168
Appendix X: Script for data visualization of the process models	174

List of figures

Figure 1: Data process flow.....	18
Figure 2: Research model.....	20
Figure 3: Integral V-model (Werkgroep Leidraad SE, 2013).....	26
Figure 4: Interaction in design process based upon Schaap et al., 2008.....	26
Figure 5: BPM lifecycle (Darwin, 2016).	31
Figure 6: Example of a Petri net (van der Aalst, 2011).....	32
Figure 7: A process fragment, expressed as a BPMN diagram (Burattin, 2015).	32
Figure 8: Six steps to guide the execution of process mining projects (Aalst, Leemans, & Eck, 2015)..	32
Figure 9: An overview of different types of data processing activities.....	37
Figure 10: An overview of the activities in mining and analysis stage.....	38
Figure 11: From input data to visualization..	49
Figure 12: Use case models of the design activities extraction process and the visualization tool.....	54
Figure 13: Example of a history log generated by design tracking tool.	57
Figure 14: Example of a history log generated by using the rule-set.....	58
Figure 15: Process models of one example project	60
Figure 16: Graphical user interface of the ‘Insert log file’ tab..	61
Figure 17: Graphical user interface of the ‘3D Viewer’ tab.....	62
Figure 18: Graphical user interface of the ‘Process models’ tab.	62
Figure 19: IFC models from different users after executing the case.....	63

List of tables

Table 1: Fragment of an event log using an XML-based syntax: each line corresponds to an event (van der Aalst W. , 2011).....	39
Table 2: A prioritized list of requirements about what functions the tool should comprise of	54
Table 3: Characteristics acquired data.	63
Table 4: Comparison of datasets with bottlenecks	64
Table 5: Comparison of datasets with process durations	65
Table 6: Comparison of datasets with design modifications	65

List of abbreviations

2D:	Two dimensional
3D:	Three dimensional
4D:	Four dimensional
5D:	Five dimensional
AEC:	Architecture, Engineering and Construction
API:	Application Programming Interfaces
BCF:	BIM Collaboration Format
BIM:	Building Information Modelling
BPMN:	Business Process Modeling and Notation
CAD:	Computer Aided Design
CM:	Configuration Management
CSV:	Common Separated Value
ETL:	Extract, Transform, Load
GUI:	Graphical User Interface
GUID:	Globally Unique IDentifier
GWW:	Agriculture, road- and water construction (Dutch: Grond- Weg- en Waterbouw)
EIR:	Employer Information Requirements (Dutch: Informatie Levering Specificatie)
ISO:	International Organization for Standardization
IT:	Information Technology
IFC:	Industry Foundation Classes
MXML:	Mining eXtensible Markup Language
NEN:	Dutch standard (Dutch: NEderlandse Norm)
PDF:	Portable Document Format
SE:	Systems Engineering
WBS:	Work Breakdown Structure
XES:	eXtensible Event Stream
XML:	Extensible Markup Language

PART I: PROBLEM STATEMENT

PART II: THEORETICAL REVIEW

PART III: PRACTICAL IMPLEMENTATION

PART IV: CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

1. Introduction

This chapter outlines the background and research approach. The problem definition is stated in section 1.2, after which the research objective and research questions are given in section 1.3 and section 1.4. Section 1.5 discusses the research design through a methodological justification and a research model. Finally section 1.6 provides an outline of the thesis.

1.1 Background

Within construction projects, technology to access and control construction information is constantly changing. Thereby, the relevant information is required to be available on various devices and platforms simultaneously. Furthermore, the construction industry is moving to digital integrated design team (e.g. the architect, the modelers and the structural engineer) project delivery, whereby all necessary information must be available at any stage of the contract and beyond. Each project design team could be formed from many different players depending on the actual work requirements and content.

One technique that could support these design teams in managing their information is called Building Information Modeling (BIM). Besides of being a way of information modeling, it is also a way of supporting processes to streamline the product model content and sharing between project members. With BIM, the whole project information is not just available at a great volume, but broken down to object-level elements of information. At the same time though, this makes management of the BIM processes difficult (Lester, 2014).

Hence, it appears that companies in the Architecture/Engineering/Construction (AEC) domain do not always have clear sight on their BIM processes. For instance, Schaijk (2016) indicated that employees of construction companies have a feeling that some specific processes are struggling but that even if people are aware of inefficiency they are still not improving the right problems because they do not know exactly what could be improved.

At the same time, buildings and infrastructure are being built within the construction industry domain which are becoming more complex every day. The construction industry already deals with large volumes of heterogeneous data; which is expected to increase even more (Bilala, Oyedelea, & et al., 2016). This is partly because more and more processes are being recorded which could be viewed and used by project members. But most organizations have problems with the possibilities to create, store, and extract this so-called event data (Schaijk, 2016). Though, it seems to be beneficial to extract useful insights from these event data and process mining could be used to exploit this data in a meaningful way to manage BIM processes (van der Aalst, 2011).

The construction industry has adopted information systems for these processes and from these systems, data could be generated. It is useful to monitor what is happening during the processes in a project and to analyze and reuse data from this (Schaijk, 2016). Thereby, according to Schaijk & Berlo (2016) a lot of construction companies are trying to optimize their processes. Unfortunately, the growth of many business and scientific databases has begun to outpace the ability of humans to interpret and digest these data by far. This issue becomes critical with the high degree of complexity of workflow that is taken into account in the decision making process during the lifetime of a building. Moreover, past experience often plays an important role in building management (Peng, Liew, & Rosenblatt, 2003). Nevertheless, it is not clear why and when specific adjustments and decisions are made. Therefore, monitoring systems are being used but these systems mainly depend on human written notes (Schaijk & Berlo, 2016). This may be solved

by applying process mining techniques to record existing facilities. This has a great opportunity to improve the management and maintenance of existing and future facilities.

Process mining could be used to exploit data in meaningful way by analyzing data and discover bottlenecks or reusing data. According to Schaijk & Berlo (2016), own observations and the interview findings in this research, the research field of process mining is relatively new and has not been applied often in the AEC industry. Process mining uses databases of existing IT systems to gain major insights in processes (Schaijk & Berlo, 2016).

1.2 Problem definition

The BIM design processes of construction projects have much effect on the amount of rework required, the optimization of material resources, and the ease and efficiency of construction etc. The design product may even influence an owner's future operations and maintenance by providing an accurate history of design development decisions.

Different studies indicate conclusively that project members within engineering organizations frequently have communication difficulties (Moreau & Back, 2000). Multiple persons work together in the process and everyone sees and decide only on parts of his or her own part in the process. Each person knows the part they are involved in but they have a limited view on the upstream and downstream processes. Thus, there is no clear view on these processes (e.g. the modeling process), and project members do not know what could be improved in the processes. Furthermore, in every new construction project different disciplines often make decisions based upon experience and intuition rather than known facts. More often, it cannot be proven if something from a previous project could be used in a same case in a next project. This is due to a lack of proper registration and so a lack of traceability of the business processes.

Moreover, from the information systems which are used in the construction industry processes, data could be generated. Unfortunately, tracking and/or logging the design process is not common within the design phase of construction projects. Thus, this research focuses on logging design changes and decisions while storing in a process database.

1.3 Research objectives

Given (1) the need to improve BIM design processes and (2) the possibilities of process mining and (3) the lack of tracking design processes, it seems beneficial to study which information is necessary to log in the design construction process.

The objective of this research is to collect and structure design data produced by different disciplines by using a process mining approach in order to discover bottlenecks in the design process. Also because of this, the traceability of design modifications will be ensured. In this way awareness will be created of the actions of different design disciplines.

Within this research a proof of concept is developed which supports process mining within the BIM design process. The focus of the research is the BIM design phase in construction projects and there will not be looked at the other phases in a construction project. The scope was restricted according to the data analysis and the requirements set. The extracted data was obtained from different (Revit) users by means of an own developed case.

This study contributes to the knowledge of this research field in the applicability in the construction industry. For this study no records or proof was found that the combination of the process mining approach and the BIM design process has been done to yet.

1.4 Research questions

Based upon the mentioned objective and limitations in section 1.3 a main research question is formulated as follows:

"In which way could process mining be used to discover bottlenecks during BIM design activities of construction projects?"

In order to support this main research question, several sub-questions have been defined:

1. How do Systems Engineering and BIM relate to process mining?
2. How could business processes be managed and monitored?
3. Which information should be logged to support process mining?
4. Which BIM design related data are necessary to use for logging events?
5. How to develop a log mechanism to determine event logs of design activities within construction projects?
6. In which way is it possible to visualize an IFC model with the related event logs?

1.5 Methodological justification

The conducted research consists of three different stages. The combination of the three methods provides a solid foundation for the outcome of the research. Firstly, a literature review was conducted to gain knowledge about the subject, current research on BIM, Systems Engineering and business process management and monitoring. Secondly, in order to underline the literature review findings and to gain qualitative information, interviews were conducted. This way more knowledge was obtained with regards to the industry's latest developments and views on future needs. Finally, based on the findings of the literature review as well as the expert views, a proof of concept was developed to keep track of design activities in a BIM in the design phase, as well as from the history logs. The data were collected from a case project. Furthermore, a widely used method, ETL (Extract, Transform, Load), within process mining was used in the tool development. This method stores data from various sources into a data warehouse. ETL involves accessing and manipulating source data and loading it into the target database. The loaded data are meaningful data which will be used by end users for different purposes. In this research a visualization tool was built in order to visualize the results. Figure 1 shows the three main stages of an ETL process.

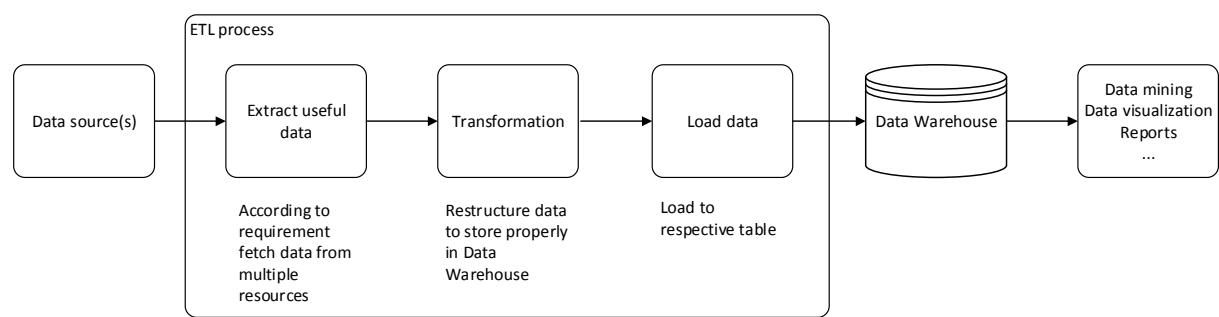


Figure 1: Data process flow.

1.5.1 Literature review

The literature review provides an overview of the subject and the process. To answer the research questions the following subjects in the literature review are elaborated; 'Building Information Modeling', 'Systems Engineering', 'Business process management and monitoring' and 'Process mining'.

1.5.2 Interviews

Using the developed knowledge gained through the literature review and to underline the findings of this literature review, expert interviews were conducted to provide better understanding of the current situation in the AEC domain regarding the main topic of this research. Experts in the field of BIM, Systems Engineering as well as architects and structural engineers that will perform the design activities in construction projects were interviewed. This way more knowledge can be obtained regarding the industry's latest developments and views on future needs. Based on these interviews, a tool was developed to support process mining within the BIM design phase.

1.5.3 Pilot case

This pilot case was created because there were no historical design data available and only a small part of a design process could be obtained from a real-life project due to the (short) graduation time period.

Different users were asked to perform the case and to deliver different information. The case was about a school project whereby different design, building and object requirements were developed so that users create a similar project. Several conversations and interviews showed that most project members in a construction design team use Revit software for their design activities. Revit software supports a multidiscipline design process for collaborative design. An add-in was developed to track all design activities. An add-in is a device or piece of software that can be added to a computer to give extra features or functions. The created Revit add-in was used in the case by the users in order to obtain their design data. These data contains information of the objects within the Revit project which were added, modified or deleted. This is called the 'history log' file of the user. These data were used to gain insight and improve the design processes. For this an own written code was created to filter and group design activities. These filtered data could be used for doing process mining analysis. For this research the process mining tool myInvenio¹ was used to create process models by using the filtered data. This is due to this tool is free available for students, user friendly and provides clear visualizations.

The data, obtained from the execution of the case (by the users), were used in the developed visualization tool. This tool exists of three parts namely inserting the history data, a 3D IFC visualization and a process model visualization.

In tool testing and validation, case data were used and a model will be created based on the available drawings. The obtained data from the case were used to test and validate if a working and usable tool was created.

1.5.4 Research model

The research model could be divided into six parts which represent the main phases of the research (figure 2). First, the objectives were set and translated into research questions. In phase 2 literature study was done by investigating 'Building Information Modeling' and 'Systems Engineering', 'Business process management and monitoring' and 'Process mining'. With this literature study, a number of sub-research questions can be answered (partially).

Within the third phase conclusions of experts interviews provide insight into how processes proceed in real time, which problems (can) occur, if and how process mining is being used and if there is an analyzing procedure.

In the project analysis phase, the input from interviews give insights for the data structure analysis in IFC and Revit. After analyzing which information could be used, it is possible to capture the necessary requirements. The requirements are needed for input for data preparation and extraction to CSV. For the tool development, these data were used to define a C# and Python code. The validation of the tool was done by visualizing the log data merged with an IFC model and this

¹ <https://www.my-invenio.com/>

was checked whether it complies with the requirements. Within the final phase, interview conclusions and literature study leads to the conclusion of the research including the answer to the central research question and recommendations for further research.

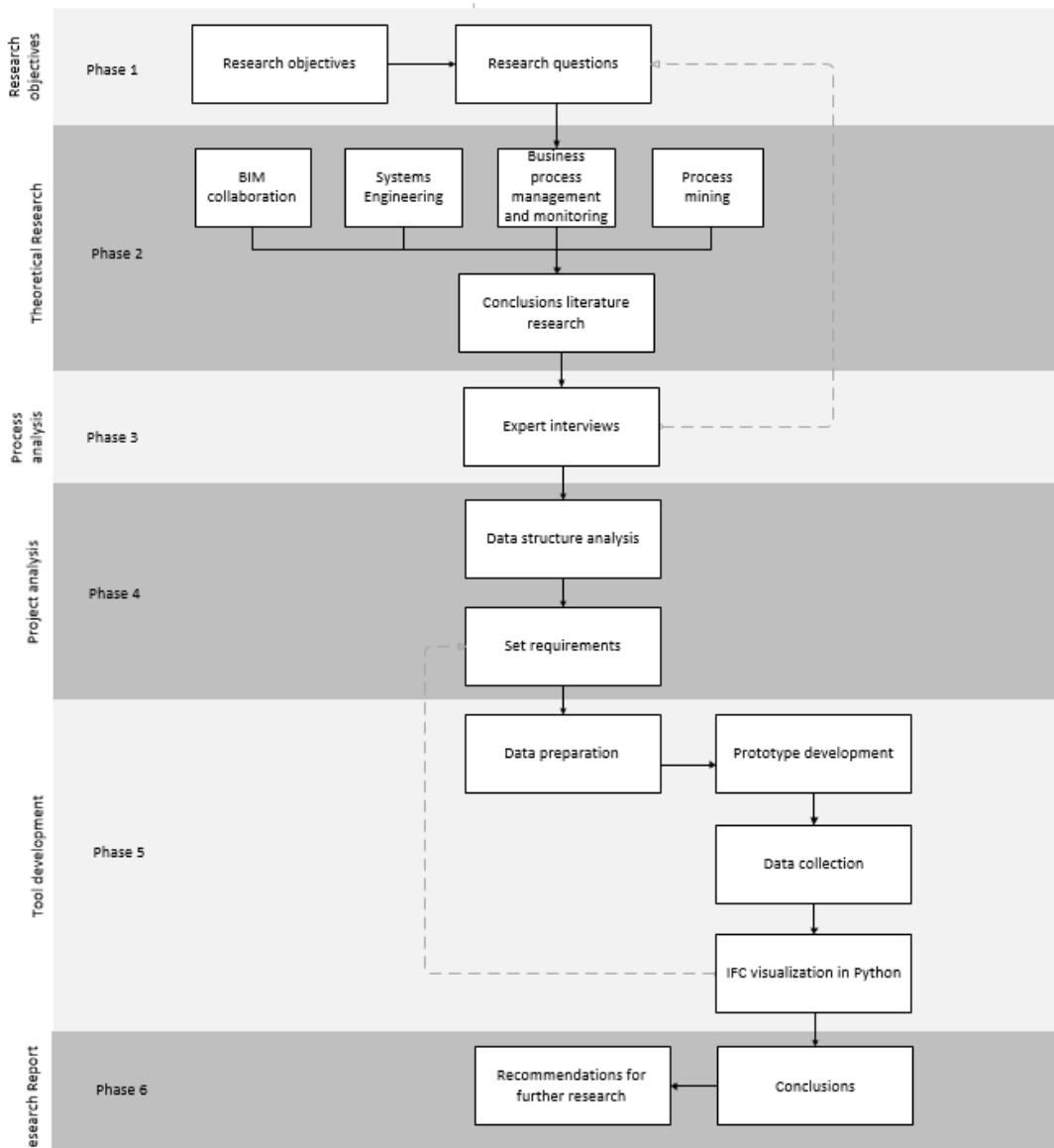


Figure 2: Research model.

1.6 Thesis outline

The structure of this report consists of 8 steps. Firstly, chapter 2 and chapter 3 centers around two practices in the construction project, namely Building Information Modeling (BIM) and Systems Engineering (SE). Here the definitions, benefits, obstacles and the link between BIM and SE will be explained. Chapter 4 involves around current techniques, shortcomings, limitations and future opportunities of business process management and monitoring within the construction industry. Also, the link between business processes and document management is elaborated. Thereafter, chapter 5 aims to elaborate upon the process mining technique and how this could be used to alleviate the shortcomings from chapter 4. Chapter 6 summarizes a preliminary research what has been done and the interviews that were held in order to form conclusions based on the qualitative part of the research. Chapter 7 contains the development and validation of a prototype tool that keeps track of history information in the design phase. Finally, chapter 8 provides the conclusions based on the previously defined research questions and the recommendations for further research.

PART I: PROBLEM STATEMENT

PART II: THEORETICAL REVIEW

PART III: PRACTICAL IMPLEMENTATION

PART IV: CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

2. Building Information Modeling

The purpose of this chapter is to explore Building Information Modeling (BIM) in order to get a better understanding of the principles and application possibilities. This chapter explains how BIM data can be used as a source for analyzing the design process. Before BIM data could be used, at first should be explained what BIM data is and where it comes from. Also, the benefits, potentials and the obstacles that could hinder BIM implementation are elaborated.

2.1 Building Information Modeling (BIM)

Nowadays the Building Information Modeling (BIM) process is bringing the construction industry into the 21st century (House, 2015). BIM is one of the most promising developments in the architecture, engineering and construction (AEC) industries. This is due to the increasingly complex projects and divergent collaboration. Large information flows between co-operating parties arise and due to this the demand for information systems is increasing (Azhar, 2011).

With BIM technology, an accurate virtual model of a building is constructed digitally but BIM is much more than a virtual 3D model. It has the ability to be embedded with data. The computer generated model contains precise geometry and relevant data that is needed to realize the building (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008). A BIM carries all information related to the building, including its physical and functional characteristics and project life cycle information, in a series of "smart objects" (Azhar, 2011). Over the lifetime of a building, there are many different models with large amount of external data available whereby data management is essential.

BIM is a container concept for all kinds of things that are related to chain integration, digitization and exchange of information. Each company, project or government agency uses its own definition for the concept of BIM. Therefore, one most complete definition for this research is explained below. In this description much emphasis is on the process and not on the software and tools that could be used for this, because this can be different for each project.

Straatman, Pel and Hendriks (2012) describe the definition of BIM as follows: "BIM is collaborating and sharing information in such a way that all relevant information is stored throughout the life cycle, used, managed and supported by one and/or multiple digital (3D) building models. All in the construction process involved parties work with the same information and could see what happens from each other. The information is always current and continuously available for all parties involved".

2.2 Project information exchange

Transferring data among team members can be a time-consuming process. In the past, architects have transferred data to the contractor by means of printing CAD files or other 2D drawing information into a PDF or some other format and sending it by mail. Eventually the file is converted to some other format and limits any input from other team members (Hardin, 2009).

Until recent years, in many projects the architect dispersed the data to all relevant parties. But more recently, with some projects the contractors are running more sophisticated technology than the architect's software.

Nowadays most firms within the construction industry are using IT systems as management tools and a growing amount of information is captured within those systems. Now intelligent building databases within BIM environments are created in order to manage the essential building design and project data throughout the buildings life cycle (JBKnowledge, 2015).

According to Hardin (2009) many construction companies are now seeing the value in creating information sharing standards before construction. Because there are so many stakeholders and so many model changes and updates, an archiving strategy must be developed. This is useful for

example when looking at milestones in a project and gaining an understanding of completion or previous design changes were made. This is needed in a BIM-focused project as means of backing up previous data or design options (Hardin, 2009).

BIM involves linking multiple models, testing them and then further coordinating the virtual construction. A BIM model is characterized by building components that include data that describe how they behave and are consistent and non-redundant data. Building components are objects that have digital representations and data about what they represent. They can be associated with computable graphics, data attributes and parametric rules. These components also describe how they behave. This makes it possible to create analyses of the building and use it in work processes. This BIM model also contains coordinated data. Next to the BIM model, another very important part of BIM is the interoperability between members of the building project team, to ensure that every member of the team has access to the latest project data. It is possible to allow every member to have access to all the data, these data need to be:

- Real time data exchange
- Share in a predefined format

A cloud based server is the way most used to ensure that project data is both shared in real time as it is accessible from every location. Thereafter, a predefined format could be a format which is allowed by different software vendors (a nonproprietary file format) or a format which is allowed by the same type of software vendors (a proprietary file format).

For the first approach Industry Foundation Classes (IFC) could be used which are the open and neutral data format for openBIM (BuildingSMART, n.d.). More architects, contractors and subcontractors are exchanging building information through the international openBIM IFC standard (Dankers, Geel, & Segers, 2014). The IFC specification is a neutral data format to describe, exchange and share information typically used within the building and facility management industry sector. It provides a data model structure for sharing data across various applications used in the building. The IFC-model specifications is posted publicly accessible to anyone, so developers can work with it and build the necessary IFC import and export capabilities into their applications. At the moment IFC can be exported and imported in all of the most used BIM software (Dankers, Geel, & Segers, 2014). However the disadvantage is that the current universal standard, IFC, is not designed to carry all relevant data.

Although this disadvantage, in this research the IFC standard was used. The necessary data were collected via different Revit users by performing a case whereby different requirements were required in advance. Therefore, the acquired data was created with the same software. Although this results in some loss of data, it is not noticeable in this research because the required data were of a lower detail level than a real-life project. At the end the choice for IFC has an advantage. As the created tool uses a universal standard, the tool is reusable in other researches.

2.3 Benefits, potentials and obstacles of BIM

The key benefit of BIM is its accurate geometrical representation of the parts of a building in an integrated data environment. Thereafter, information is more easily shared, could be value-added and reused. Also, building proposals can be analyzed, simulations can be performed quickly (CRC, 2007).

Overall the following practical benefits have been found with regards to the design phase (Straatman, Pel, & Hendriks, 2012):

- Early and accurate visualization of the design is possible. This visualization is possible to fit into communication with future owners and users in the selection process and the decision making.
- It is easy to make changes or to develop design alternatives. All changes are available to all persons involved.
- BIM makes it easier to optimize in the design phase, for example by calculating variants involving energy performance or sustainability.
- The design can be tested on the functional requirements which has been set in the program of requirements, available budget, required quality level and planning.
- Integration and synchronization of design and construction planning for simulation and visualization of the construction process.
- Quantity states can be generated from the BIM model for cost estimates and budgets.
- The BIM methodology allows the participants to discover early design errors to be corrected by means of clash detection. The design can be tested for ease of use with clash detection, preventing construction errors and failure costs.
- It is possible to provide accurate and consistent 2D drawings at each stage of the construction process to generate. The degree of detail becomes higher as the construction process progresses.

BIM encourages integration of the roles of all stakeholders in a project. It offers the potential to decrease project cost, increase productivity and quality and reduce project delivery. BIM continues to grow with new applications and new abilities. The past decade has seen a rise in BIM applications, and it is expected that within the next 10 years there will be huge strides in the development of BIM software and applications (Hardin, 2009). According to Hardin (2009) BIM is not just software, rather it is process and software. Three key factors are required to use BIM successfully:

- Processes
- Technologies
- Behaviors

BIM systems can create value for an organisation when there will be looked at which existing processes and workflows should be changed to make an outcome more efficient. In addition, successful integration of BIM involves using BIM tools that work. This means that organisations need to analyze which technology needs to be selected which improves the organisational way of working.

In addition, the ability to analyze the large amount of data available in BIM or that is gathered through the design and construction process, creates a broad array of possibilities. Many systems have now been developed with a particular focus on aggregating this data and making it more meaningful during design and construction (Hardin & McCool, 2015). The field of analytics is relatively new in construction and the requirements asked of construction managers are growing towards reporting and management of large volumes of information. According to Hardin (2015) the future landscape of information analytics in BIM is a promising field, but there are many challenges to overcome.

Thereby, a cultural shift in the mind-set, in the way construction management teams collaborate, is needed. Teams need to fully realize that a shift in mind-set is just as important as the technologies and processes. The personal behaviors as well as the organizational behaviors can impact the successful integration of technology. By shifting the attitudes and mind-sets to more enabling behaviors, the construction industry has a significant opportunity to revise the way constructions are delivered.

3. Systems Engineering

The goal of this chapter is to examine the domain of Systems Engineering (SE) as this is becoming a more standardized way of working in the construction industry.

Firstly, the meaning of the term will be explored and the use of SE in the construction industry to manage the complexity of construction projects. Subsequently, the characteristics and process are elaborated. Thirdly, the link between BIM and SE will be clarified to see which advantages can occur when combining these two. This is needed to clearly define the process and environment where client requirements are used and where baselines are. In regard to this research, the current design process within construction projects is looked upon.

3.1 Systems Engineering (SE)

It appears to be hard to find a single definition of SE because the existing literature provides multiple interpretations of the term. Though, the most widely accepted explanation is provided by the International Council on Systems Engineering (INCOSE): "Systems Engineering is an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. SE considers both the business and the technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets the user needs" (International Council on Systems Engineering, 2015).

Over the years, SE has been further developed by and for engineers (Netten, 2005). The use of SE in the construction industry is introduced to manage the complexity of construction projects. This means projects involving all kinds of processes with many data used by all participants. Many projects that contain large amounts of requirements, objects, budget items, planning activities, and their relationships data could be controlled. Systems Engineering introduces structure into processes and data collections. Through the use of information systems, in which building objects are central, it becomes possible to go to another model of project management: from traditionally process oriented to object-oriented.

The main focus of SE is on defining client needs and required functionality early in the development cycle, documenting requirements, and then proceeding with design synthesis and system validation while considering the full system life cycle. SE integrates all the disciplines and specialty groups into a team effort forming a structured development process that proceeds from concept to production to operation. Systems engineering considers both the business and the technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets client needs (International Council on Systems Engineering, 2015).

The process within SE assumes one iteration between functions, requirements and solutions. Through determining of requirements there could be defined in what solution area the system should function. Design choices (which fulfills those functions) determine how the system performs and which solution area is being used. This leads to derivative functions and more requirements for further development of the system (Werkgroep Leidraad SE, 2013).

To define the process of Systems Engineering further, the V-model has been used frequently within the Systems Engineering literature. Figure 3 shows this top-down approach where the system will be decomposed throughout the design phase into smaller elements to define the total system. At every level of decomposition in figure 3 an interaction between the requirements and the design is shown. Verification needs to be done if the design complies with the requirements needs at every level of decomposition to define if the design has the performance required by the needs of a client. If a verification is not done at all levels, a continuation on a mistake can cause increase the impact of an error (Rijkswaterstaat, 2015). For this reason baselines are defined for example after all phases within a project. The complete SE process can be displayed at a certain time in a baseline where the complete situation is currently being recorded. This baseline needs

to be verified according to the requirements to ensure the quality in a project and prevent continuing on mistakes.

Thereby, the process flow is visualized in figure 3 with a descending line of detailing in the specification- and design process (left side) and an ascending line in the realization process (right side). Furthermore, there can be seen that there is a relation between the requirement of the client, the wishes of the stakeholders and the client and the design /realization system (Werkgroep Leidraad SE, 2013).

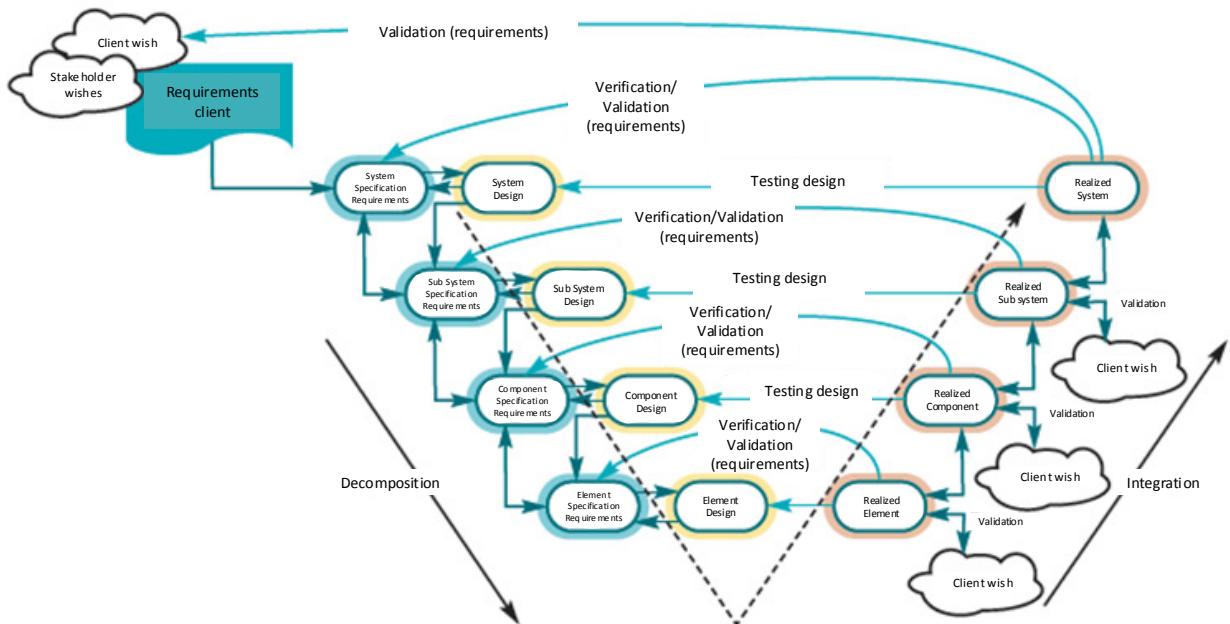


Figure 3: Integral V-model (Werkgroep Leidraad SE, 2013).

In the interaction between requirements and design elements of the system it is essential to realize a system that performing according to the required needs of a client. In figure 4 the interaction between requirements and the eventual performance is shown regarding a building element, because in this research a building is a system with elements.

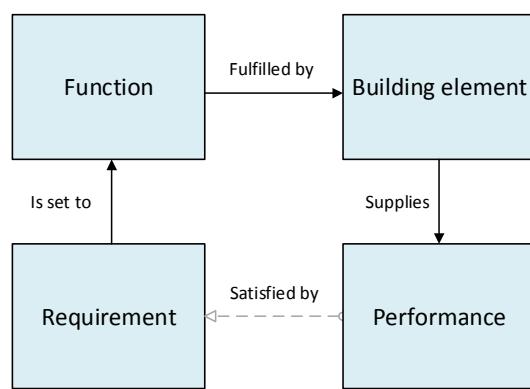


Figure 4: Interaction in design process based upon Schaap et al., 2008.

3.2 What is the link between BIM and SE?

According to several literature Systems Engineering and BIM have different interfaces. BIM and Systems Engineering complement each other. Through SE the centralized customer demand is described from generic to detailed. This is then developed into a broad-based, integrated solution that demonstrably meets the customer's requirements and wishes (verification and validation).

With BIM, the solutions can be visualized and by linking the object tree, all information can be accessed. The verification and validation process is greatly simplified, because there could be checked that the requirements of the client are met, by means of 3D / 4D / 5D views.

According to van Eck (2017) there are several advantages by combining SE and BIM:

- The validation process is more efficient with BIM. The results are more transparent to the client.
- Considerations proceed quickly through a linked SE and BIM process.
- The configuration management runs efficiently with BIM.
- The interfaces are recorded and managed by BIM engineers. The interfaces are recorded in a SE information management tool (e.g. Relatics) and linked to objects in the BIM design (e.g. Revit, Civil3D and Navisworks).
- The traceability of information is optimal with BIM. The specifications are linked together and also to the objects in the design.

These advantages are elaborated further in the next paragraphs.

3.2.1 Validation

In the validation process the system designed by the contractor is compared with the system desired by the client. The output of the SE process is validated by the client and possibly by other stakeholders. The enlarged problem concept of the client from the validation is input for a new specification and design circle in the SE process (Department of Defense, 2001). The increasing problem concept of the client often is the reason for scope changes.

Validation is important to ensure that the contractor and client have the same image of the realized system (Werkgroep Leidraad SE, 2013). The moment of validation and the form (text, drawings, simulation, etc.) determines the problem concept of the client and is important for determining the scope and the desired system (Christiansson, Svidt, Pedersen, & Dybro, 2011). A BIM could contribute to this validation with a virtual representation of the SE process output. With the assembly of specifications and the design in a BIM, a fast, simple, continuous interaction and consistency check between requirements and design is possible (Christiansson, Svidt, & Sorensen, 2009). The specifications of the SE process can be stored in a database (Hull, Jackson, & Dick, 2005). BIM uses smart objects to link information from this database through the parameters of the objects (Eastman, Lee, Jeong, & Lee, 2009; Pauwels, et al., 2011). With the link it is clear how features and requirements are translated into the design. If the requirements and features at the geometric design are displayed, then these are validated well (Shen, Shen, & Sun, 2011).

3.2.2 Configuration management

Change is unavoidable in the SE process, but with Configuration Management (CM) the status and changes of items could be traced. Items are considered as the products that are produced during the system's life cycle (Department of Defense, 2001). In the context of this research, the items are the specifications and designs. The status of an item is the current state of the item.

CM is important for determining and maintaining the control over items. Often CM does not perform well in SE projects which makes it unclear what the most current information is and where it can be found. In addition, changes are not structured, implemented, tracked, and made available.

A BIM can contribute to the CM by bringing the SE process together into baselines in a virtual display that brings the design and specifications together (Piaszczyk, 2011). These baselines reflect the current state of affairs of the SE process in the (3D) model of the building with its

corresponding specifications. The impact of changes can then be made clear by the fact that the relevant information and the relationships between them are included in the baselines. In addition, the rights for conservation, access, release and control of changes that are recorded in the CM strategy can also be used in a BIM so that only authorized individuals can modify an object and be notified of changes to the object (Isaac & Navon, 2008).

3.2.3 Interface management

Interfaces are physical or functional properties of parts of the system with other parts of the system or the environment (Werkgroep Leidraad SE, 2013). The division of the system leads to internal interfaces. Internal interfaces are interfaces within the system boundaries between different subsystems, components and parts that have a particular interaction and together form the system (Department of Defense, 2001). External interfaces are the physical or functional interfaces of the system with the environment and objects in this environment.

Managing internal and external interfaces is important in order to design, test different configurations, and to prevent system realization or functioning (Department of Defense, 2001). The problem is that often interfaces are not properly mapped or recorded, making it difficult to pass through changes and determine the impact of changes or considerations.

With BIM, interfaces can be better defined by capturing the interfaces just as the functions, requirements, and object definitions in a database and to link to the objects in the design. By specifying the interface specifications in a BIM, they are explicitly clear and can be quickly checked for changes or variants. In addition, interfaces with a BIM can be better identified. With the virtual 3D model of the building, in which the different design parts are combined into one model, the internal interfaces can be mapped. In addition, object-based design in a BIM can identify the interfaces between the objects (Bharathan, Poe, & Bahill, 1995). The interfaces and potential conflicts in an object-based design could be identified with clash detection software (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008).

3.2.4 Traceability

Tracing is checking the translation of the goals and wishes of the client in the specifications and design. When it is clear how the goals and wishes of the client are translated, there is a good traceability (Hull, Jackson, & Dick, 2005). Tracing can be done forward or backward. Forward tracing begins with the input of the SE process. Goals are translated into functions that the system must fulfill, corresponding requirements and system design. This shows how the project goals are realized with the functional structure. Backward tracing relies on the origin and shows how a certain part of the system contributes to the achievement of the project goals.

In addition, structuring the information is important for traceability. Both the decomposition structures, the design and the other SE information should have good traceability (NEN, 2008). For the contract documents a correct, complete and clear transfer of information to the contractor is very important.

One problem is that the coherence of information is often limited, which is not explicitly clear and traceable as to how the project goals are achieved (Ozkaya & Akin, 2006).

BIM can contribute to traceability by managing the information in coherence (Ozkaya & Akin, 2006). In a database, the process input, functions, objects, requirements and interfaces could interrelate to each other so that this information has a good traceability (Hull, Jackson, & Dick, 2005).

In conclusion, traceability is a prerequisite for transparency and for testable tracing. It implies that explicit relationships exist between requirements and solutions, between requirements, between themselves and between solutions, between changes and their motivation. All those relationships are the choices and decisions that have led to the solutions. The choices and decisions do not disappear anymore and can be reused for reconsiderations as a result of changes (Lamers & Walta, 2005). Thus, the overview is kept of the many hundreds of changes that occur in the larger projects.

3.3 Design process

To define the information development needed for analyzing the design process in this research, the development of a design during a project is evaluated. In a construction process in the AEC industry, the design process is defined in different phases of a project life cycle. In literature there are different phases within construction project elaborated. Only this research focuses on the Dutch construction projects whereby the definition of phases is defined by the Dutch standardization institute in the Dutch standards (NEN) and the definition in "The New Rules" (Dutch: DNR). The DNR is applicable in contracts between clients and architects and advisers. Contracts should also contain a specification of the work to which it relates.

The development of information in the design phases can be seen as two different sources of information. Firstly, there is information of requirements which is provided by the clients. Secondly, there is the information which is created in the design which gives an answer to the requirements. The design is created according to the client's requirement and the environment where the project is situated. In this process, the interaction between the different sources of information can be found. During the development of a design, the earlier stages have a more conceptual and iterative character and the most important decisions have to be taken. When going further in the process the amount of design variants should decrease as well as the impact of decisions. After the design process the design is clearer and meaning needs to be given to the rough elements at a higher level of detail. Level of detail is the definitions of how much detail is put into an element. As the level of detail will become higher further in the process, the lower the amount of variants.

3.4 Conclusion Building Information Modeling and Systems Engineering

It has become clear that most firms within the construction industry are using IT systems as management tools and a growing amount of information is captured within those systems. Now intelligent building databases within BIM environments are created in order to manage the essential building design and project data throughout the buildings life cycle. With a BIM, iterative SE processes can be performed better. SE aims to provide structure and insight into the complexity of the project to be realized. Hereby, large amounts of information could be made clear in a structured form.

4. Business process management and monitoring

In this section the characteristics of the business process management, the link with document management and monitoring are presented. The purpose of this section is not to give a complete and detailed report, but by use of previous research it pictures shortly the complexity of processes and specifically within construction projects. In addition, some management techniques and systems will be elaborated on how to control and manage the project information and handling over information between involved stakeholders.

4.1 Business process management

Process control is an essential base for the efficient and successful execution of construction projects. At the same time, construction processes are complex and difficult to control. A lot of processes are critical and an overview of all these processes is often not clear (Wamelink, Stoffele, & Aalst, 2002). A process can be defined as a set of related activities that cut across functional boundaries or specializations in order to realize a business objective. But what are processes? These are a chain of events, activities and decisions and also involve a number of actors (e.g. human actors, physical object). Business processes have become more complex and heavily rely on information systems, and can span multiple organizations. Therein, process modeling has become of the utmost importance.

Also, the construction processes became more complex over time. This is due to the demands for speed in construction, cost and quality control, safety in the work place and avoidance of disputes together with technological advances, economic liberalization and globalization, environmental issues and fragmentation of the construction industry (Gidado, 1996). According to Dubois, Gadde (2001) the characteristics of the construction process seems to favor short term productivity while hampering innovation, technical development and learning. However, the complexity of the construction process does not stimulate process improvement. A lot of failures are caused by an inadequate organization of the construction process, e.g. weak coordination of processes and uncertainty about available information (Wamelink, Stoffele, & Aalst, 2002). Also, the amount of actors involved in each project is a weakness. Cox & Thompson (1997) argued that because the composition of actors is continually changing among projects it is difficult to make use of experience gained in previous projects. This causes the same problems and cost inefficiencies repeatedly because 'learning curves have to be climbed each time'.

Closely related to business processes is Business Process Management (BPM). BPM is the process of managing an entire chain of events, activities and decisions that ultimately add value to the organization and its customers (Darwin, 2016). Van der Aalst, ter Hofstede and Weske (2003) define BPM as: "Supporting business processes using methods, techniques, and software to design, enact, control, and analyze operational processes involving humans, organizations, applications, documents and other sources of information".

From this definition, it emerges that two of the most important aspects of BPM are design and documentation. These two tasks need to communicate specific information on the process that has been modeled.

There are many definitions of BPM in literature. According to Burattin (2015) the important issues that emerge in definitions of business processes are:

- There is a finite set of activities (or tasks) and their executions are partially ordered;
- Each activity is executed by one or more originators;
- The execution of every activity produces some output (e.g. a document or a service) that can be used by the following activity.

4.1.1 BPM Life Cycle

The BPM Life Cycle is the set of activities which constitutes the foundation of business process management methodology (Darwin, 2016). There are six stages of the BPM lifecycle namely;

- *Process identification*; a business problem is posed, processes relevant to the problem being addressed are identified, delimited and related to each other;
- *Process discovery*; the current state of each of the relevant processes is documented;
- *Process analysis*; issues associated to the as-is process are identified, documented. The output of this phase is a structured collection of issues;
- *Process redesign*; changes to the process are identified that would help to address the issues identified in the previous phase and allow the organization to meet its performance objectives;
- *Process implementation*; the required changes are prepared and performed which are needed to move from the as-is process to the to-be process;
- *Process monitoring and controlling*; the bottlenecks, recurrent errors or deviations with respect to the intended behavior are identified and corrective actions are undertaken. When new issues arise, the cycle need to be repeated on a continuous basis.

This is a set of principles, methods and tools to manage business processes with the ultimate goal of improving them. Figure 5 shows this lifecycle of Business Process Management.

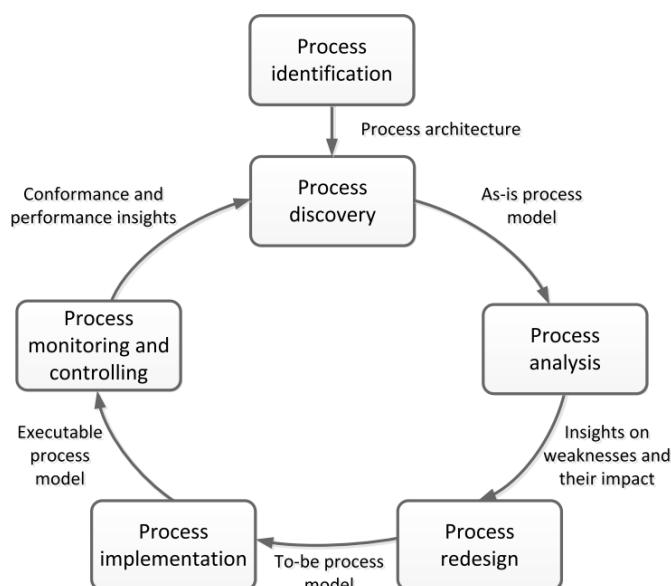


Figure 5: BPM lifecycle (Darwin, 2016).

The output of the Process discovery phase is the as-is process model which will be used in the Process implementation phase. Within the Process redesign phase different steps are involved namely, modelling, simulation and implementation. The output of this phase is typically a to-be process model, which serves as a basis for the implementation phase.

In the implementation phase there are two aspects (Darwin, 2016):

- organizational change management, which refers to the set of activities required to change the way of working of all participants involved in the process;
- process automation, refers to the development and deployment of IT systems that support the to-be process.

4.1.2 Representation of BPM

To describe and represent a process many languages could be used that allow modeling of systems and business processes. Process models assist in managing complexity by providing insight and

documenting procedures (van der Aalst, 2011). Two of the most important graph based languages are: Petri nets and Business Process Modeling and Notation (BPMN).

The goal of a process model is to decide which activities need to be executed and in what order. Petri nets allow for the modeling of concurrency and Petri nets are executable and many analysis techniques can be used to analyze them. A process model expressed in BPMN may be used to discuss responsibilities, analyze compliance, predict performance using simulation (van der Aalst, 2011). Figure 6 and 7 show examples of a Petri net and BPMN.

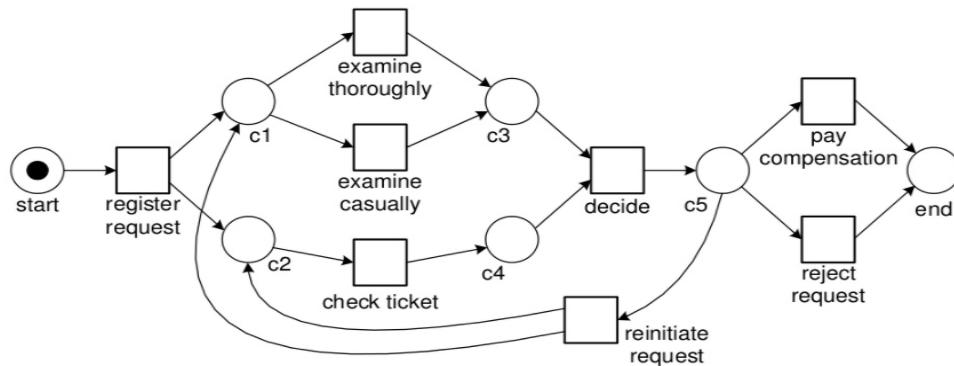


Figure 6: Example of a Petri net (van der Aalst, 2011).

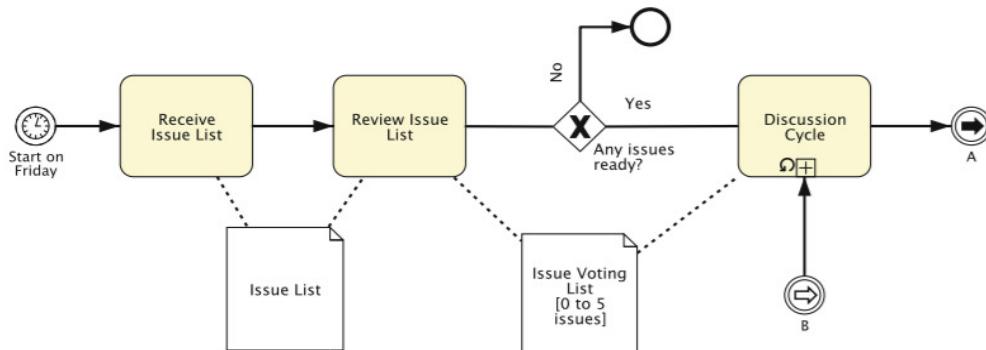


Figure 7: A process fragment, expressed as a BPMN diagram (Burattin, 2015).

BPM can be considered as an extension of classical Workflow Management (WFM) systems and approaches (Weske, Aalst, & Hofstede, 2003). This will be elaborated in the next paragraph.

4.1.3 Workflow management

Nowadays, many companies use workflow management to automate and support their business processes. A lot of processes are critical and an overview of all these processes is often not clear (Wamelink, Stoffele, & Aalst, 2002). Workflow management can be applicable and profitable in construction and workflow management makes the processes more manageable and controllable.

Workflow is a component of BPM, but it is about task management and how repeatable, less complex individual processes get accomplished. To support business processes, workflow management system are used (Vanderfeesten, 2004). Workflow management systems are related to business processes. Based on the workflow definition the dynamic execution of the process can be controlled. A workflow management system has a number of functions that can be used to define and track workflow processes, making both the progress of a case through a workflow and the structure of the flow itself easier to revise. Workflow processes can be designed to incorporate the most effective ways of completing business tasks. Therefore, it is clear that workflow management systems have become the ideal tool for achieving business processes (Vanderfeesten, 2004).

When comparing the construction industry within other industries, workflow management has shown to be a successful tool in controlling standardized processes. Workflow management systems take care of the information logistics and give a process overview that enables better management and control of the process (Wamelink, Stoffele, & Aalst, 2002).

Workflow management systems offer generic modeling and capabilities for structured business processes. Besides pure workflow management systems many other software systems have adopted workflow technology.

However, workflow management systems are case-driven which means that business processes describing the handling of one case is supported. To handle each case, the workflow management system uses the workflow process definition which describes the routing of the case by specifying the ordering of activities which could be executed by many workers. According to Wamelink, Stoffele & van der Aalst there is a lack of flexibility in contemporary workflow management systems from the fact that routing is the only mechanism driving the case. When looking at the construction industry this causes problems, because there is flexibility needed in WFM systems in which activities can be done instead of have to be done (Crow & Kydd, 2001). Therefore, case-handling systems could be used which have the possibility of redoing or skipping activities. Here the case is the central concept (and not the activities) and to handle this activities need to be executed. For case handling a flexible query mechanism is used which allows a worker to navigate through all active cases. For example the query "Select all cases for which there is an activity enabled which is executed by a specific worker" can be used. This is very useful for the construction industry for example to get an overview of the project in terms of time, handling over information, costs within processes.

In conclusion, case handling workflow management could be useful to improve the high amount of failure costs , because this makes the processes more controllable. However, using this kind of system means a big change in the current way of working within the construction industry.

Also, within construction projects a workflow management description has to be able to offer flexibility to meet differences between several projects or parts of the project.

4.2 Process and Document management

BPM can be very closely associated with document management and workflow (as discussed earlier). Almost all business processes involve documents. The objectives of document management include easier archiving, access and reference, intelligent classification and distribution of documents and the information they contain. It concerns sets of all sorts of company documents such as work procedures, meeting reports, documents received from customers and suppliers, documents sent to customers (Odoo, 2011).

Document management is about the references or the supporting artifacts of executing or implementing the business process. Both the business process and document management are interrelated, because document management involves identifying the information for the steps for each individual process. Document management should be a central repository which needs to manage the processes (how the team operates) and files (which supports the operations). It needs to keep revisions, which means changes for example from documents within the history. Also, it should allow concurrent access which means that and it could detect if multiple persons change a file (visual-paradigm, 2011).

For document management Document Management Systems (DMS) could be used. This is the use of a computer system and software to store, manage and track documents and electronic images of paper based information. Most are capable of keeping a record of the various versions created and modified by different users (history tracking) (AIIM, 2015).

4.3 Business process monitoring within the construction industry

For this research there is looked at the design process of construction projects. Literature about process monitoring within the other phases of construction projects are elaborated more than monitoring of the design process. Still this paragraph gives a small overview about monitoring business processes within the design phase in the construction industry.

Soft- and hardware are more common used to monitor the projects' progress in order to manage the project information (Schaijk, 2016). By using monitoring software that proactively and consistently monitors business processes, an organization could measure and analyze process performance to identify critical process problems. By using data from monitoring of tasks, process decisions could be made that will improve the speed, quality and efficiency of business processes.

Within the construction industry, often a project manager is hired by the initiator to lead and monitor the process to gain a construction permit. A growing amount of project teams use information systems to manage those complex design processes (JBKnowledge, 2015). Next to applications, these information systems could be used to also measure and monitor what users actually do. By monitoring construction projects negative deviations from an approved plan could be identified. A graphical visualization (for example dashboards with bar charts, network diagrams etc.) could be used for tracking progress in relation to the time, progress and to present performance and availability data. Management has benefited from (control) charts to fine-tune operations and to identify and prevent employee time waste in addition to tracking and forecasting design performance for efficient resource allocation (Eldin Adam Hamza, 2009).

4.4 Conclusion business process management and monitoring

Construction projects are characterized as fragmented and as a result learning curves have to be climbed repeatedly. Construction projects traditionally have to work with manual processes and traditional communication techniques such as phone calls and e-mails. This problem has been discussed over time extensively but the issue still is unsolved.

The business process management (BPM) methodology could be used to manage an entire chain of events, activities and decisions that ultimately add value to the organization and its customers. The six stages of the BPM lifecycle to manage business processes with the ultimate goal of improving them.

To describe and represent a process many languages could be used that allow modeling of systems and business processes. A process model expressed in BPMN is the most suitable to use to represent the process to users which all users can understand. BPM can be very closely associated with document and workflow management. Through the use of workflow management business processes could be automated and supported. Thereafter, document management include easier archiving, access and reference, intelligent classification and distribution of documents and the information they contain.

Within the construction industry, document management systems, information systems and IT systems are more and more adopted in all phases of construction projects. Design process related information is somewhere available within systems, however this is often unstructured data and not humanly readable. Since BIM is adopted more, information could be extracted from this. The process related information could become accessible through databases and could be interconnected with actual design data. Automate monitoring technologies exists which can be applied to capture progress. However, combining monitoring data within event based databases has been studied seldom. In order to achieve the aim of this study, the possibility of using event based databases in order to improve the design process within construction projects with autonomous gained process data is studied.

5. Process mining

The purpose of this part of the thesis is to explore the technique ‘process mining’ by giving an overview of the past research into process mining in sectors where process mining has proven its value. This is done in section 5.1 and in section 5.2 event logs will be elaborated. There will be looked at how this should look like with regards to the construction design processes, since this is the focus of the study. Afterwards section 5.3 discusses the structure and information within event logs will be described which different formats are possible.

The construction industry has adopted information systems for its processes. From this, data are generated and it is useful to capture what is happening during the processes in a project and to analyze and reuse data from this. The growth of many business and scientific databases has begun to far outpace human’s ability to interpret and digest these data. This issue becomes critical with the high degree of complexity of workflow is taken into account in the decision making process during the lifetime of a building. Moreover, past experience often plays an important role in building management (Peng, Liew, & Rosenblatt, 2003). Applying process mining techniques to record existing facilities has great potential to improve the management and maintenance of existing and future facilities.

According to Peng (2003) there is a significant need for a new tool with the ability to automatically assist humans in analyzing large amounts of data to provide useful knowledge within the construction industry. Especially the building data generated during the design and documentation phases of buildings remains relevant even after the building is constructed. Process mining techniques can be useful for extracting knowledge that can be used for future management and design decision making.

Also, using past experience, such as avoiding previous similar failures, finding new concepts analogous to particular objects, or reusing applicable design precedents what could be invoked when a new such case occurs. Process mining tools can be used to identify the causes of problems such as cost overrun and quality control. Modern construction projects are often challenged by delays and other time-related uncertainties. Delays are often caused by poor communication, ambiguous requirements, and regular misunderstandings in the industry (Forbes & Ahmed, 2011).

5.1 Process mining

Process mining focuses on extracting knowledge of organization’s business processes from data (stored in databases) of different information systems. These data need to be extracted as event logs which can be viewed as a set of traces containing all activities executed for a particular process instance (Sepulveda, et al., 2017). These event data enable new forms of analysis facilitating process improvement. These event logs will be elaborated later in this chapter.

Process mining provides a novel set of tools to discover the real process, to detect deviations from some normative process, and to analyze bottlenecks and waste. Eventually organizations are able to diagnose problems based on facts rather than fictions. Processes in a variety of application domains could be improved (van der Aalst, Process mining Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes, 2011).

With process mining operational questions can be answered, examples are:

- What really happened in the past?
- Why did it happen?
- What is likely to happen in the future?
- When and why do organizations and people deviate?
- How to control a process better?
- How to redesign a process to improve its performance?

Van der Aalst, Leemans and van Eck (2015) have introduced PM², a methodology to guide the execution of process mining projects which are aimed at improving process performance or compliance to rules and regulations. PM² supports quick analysis iterations and evolving insights, taking existing best practices into account (Aalst, Leemans, & Eck, 2015). The goals of a process mining project could be for example achieving cost reduction or obtaining valuable insights regarding the performance of several processes. These goals are translated into concrete research questions, which we defined as questions related to the selected process that can be answered using event data. These will be determined in the first stage (planning) within the PM² methodology. The inputs of this stage are the organization's business processes. The outputs are goal-related research questions and a set of information systems supporting the execution of the business processes to be analyzed (Aalst, Leemans, & Eck, 2015).

In total there are six stages of the methodology. Figure 8 shows the six stages where PM² methodology consists of and which can be used for analyzing structured and unstructured processes within process mining projects.

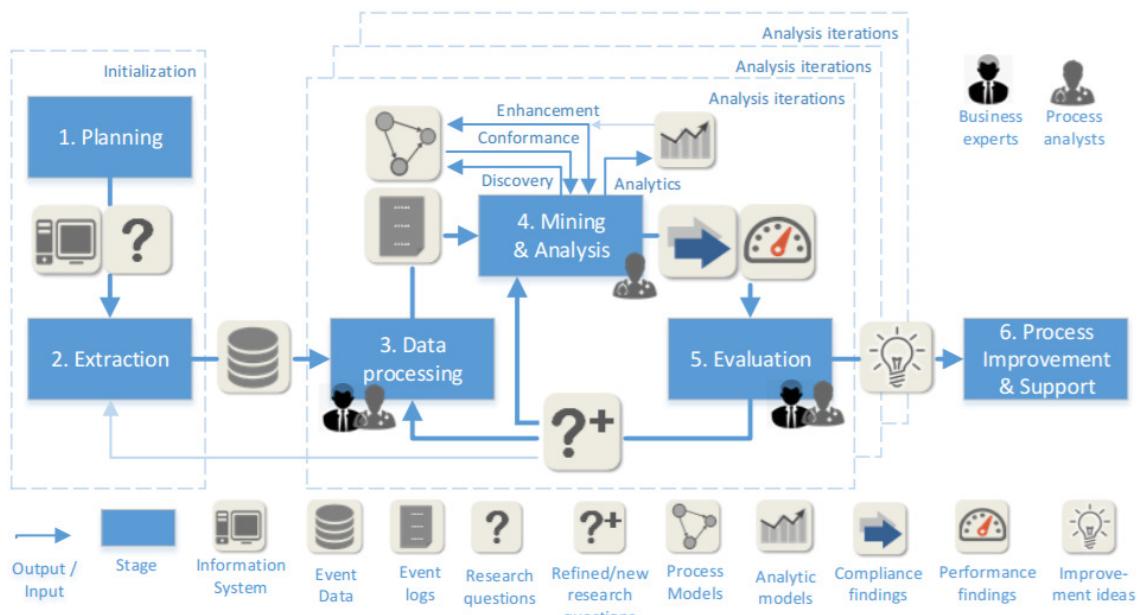


Figure 8: Six steps to guide the execution of process mining projects (Aalst, Leemans, & Eck, 2015).

The next stage (extraction) aims to extract event data and, if possible, process model. As input for this, are the research questions and the information systems (Aalst, Leemans, & Eck, 2015).

The outputs of this stage are event data, i.e. a collection of events without predefined case notion or event classes, and possibly process models. This stage consists of three activities namely: determining scope, extracting event data, and transferring process knowledge.

Stage three, data processing, has as input event data and as possible process model. This stage consists of four activities namely creating views, aggregating event, enriching logs and filtering logs (see figure 9). At the end (filtered) event logs are created. According to van der Aalst, Leemans and van Eck there are three types of filtering techniques;

- Slice and dice, which can be used to remove events or traces based on the values recorded for a specific attribute, e.g. activity name, resource identifier or timestamps of events,
- Variance-based filtering, which group similar traces e.g. through clustering,
- Compliance-based filtering, which can be used to remove traces or events that do not comply with a given rule.

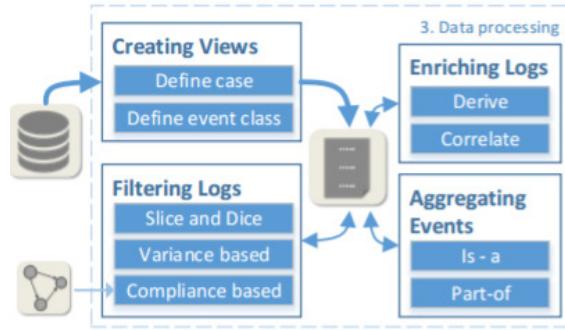


Figure 9: An overview of different types of data processing activities.

Within the fourth step (mining and analysis stage) the process mining part comes in. Here are three different main types of process mining are; 1) discovery, 2) conformance and 3) enhancement (van der Aalst, Process mining Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes, 2011):

1. With process discovery the main focus is on the control-flow perspective. Based on an event log, a process model is constructed thus capturing the behavior seen in the log. Petri-nets could be used to discover the process. Also other notations like BPM could be used for representation to show results to end users. In addition it is also possible to discover resource-related models, such as social networks, when the log contains information about resources.
2. The conformance checking method compares reality with an existing process model using event logs of the process. In addition conformance checking can be used to detect locate and explain deviations, and to measure the value of these deviations.
3. The third type of process mining is enhancement. This type focus on extending or improving existing processes using event logs. Where conformance checking measures alignment, enhancement focuses on repairing, changing or extending the model. A model can be extended by adding performance data. Doing this enables one to show bottlenecks, service levels, throughput times, and frequencies.

Enhancement could have different types for example extension. Through extension new perspectives could be added to the process model by cross-correlating it with the log. Here three examples of log-based model extension are elaborated;

- *Organizational perspective:* focuses on resources included in the log. For example actors or machines which are involved in the process. It can be used to get insight into typical work patterns, organizational structures, and social networks.
- *Case perspective:* focuses on properties of cases by characterizing its path in the process, or the originators working on it. Also its relation with other cases or corresponding data elements can be revealed.
- *Time perspective:* focuses on timing and frequency of events. Timestamps enable to discover bottlenecks, measure service levels, monitor utilization of resources or predict remaining process time of running cases.

Figure 10 shows an overview of activities in the fourth step about mining and analysis. The output of this stage are performance and compliance goals (Aalst, Leemans, & Eck, 2015).

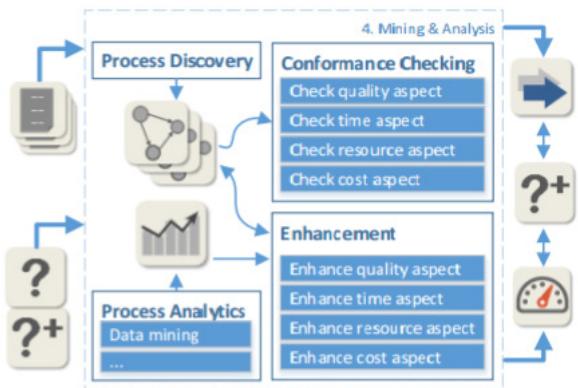


Figure 10: An overview of the activities in mining and analysis stage.

The fifth stage is evaluation which relates to the analysis findings to improvement ideas that achieve the project's goals. These improvement ideas or new research questions are the outputs of this stage. Here verification and validation may help designing ideas for possible process improvements and identifying underlying root causes.

The last stage, process improvement and support, will gain insights to modify the actual process execution. The outputs of this stage are process modifications. The activities are: implementing improvements, which means the actual implementation of the process modifications, and supporting operations where problematics running cases are detected and the future predicted or recommended actions suggested.

Eventually, the visualization of process mining can be used to convince management and employees of organization to use this process. Process mining shows the complete reality.

5.2 Event logs

As earlier told process mining provides an approach to gain insight and improve processes in a lot application domains. The idea of process mining is to discover, monitor and improve real processes by extracting knowledge from event logs readily available in today's systems (van der Aalst, 2011).

According to van der Aalst (2011) event logs contain data related to a single process. Thereby, each event in the log refers to a single process instance, often referred to as case. Also events could have attributes. Examples of attributes are activity, time, costs, and resource (see table 1).

However, in the construction domain there are often no event logs that could support process mining in the construction design phase, this is because from information systems history data could not be extracted or event logs are not structured.

Case id	Event id	Properties					...
		Timestamp	Activity	Resource	Cost		
1	35654423	30-12-2010:11.02	Register request	Pete	50	...	
	35654424	31-12-2010:10.06	Examine thoroughly	Sue	400	...	
	35654425	05-01-2011:15.12	Check ticket	Mike	100	...	
	35654426	06-01-2011:11.18	Decide	Sara	200	...	
	35654427	07-01-2011:14.24	Reject request	Pete	200	...	
2	35654483	30-12-2010:11.32	Register request	Mike	50	...	
	35654485	30-12-2010:12.12	Check ticket	Mike	100	...	
	35654487	30-12-2010:14.16	Examine casually	Pete	400	...	
	35654488	05-01-2011:11.22	Decide	Sara	200	...	
	35654489	08-01-2011:12.05	Pay compensation	Ellen	200	...	
3	35654521	30-12-2010:14.32	Register request	Pete	50	...	
	35654522	30-12-2010:15.06	Examine casually	Mike	400	...	
	35654524	30-12-2010:16.34	Check ticket	Ellen	100	...	
	35654525	06-01-2011:09.18	Decide	Sara	200	...	
	35654526	06-01-2011:12.18	Reinitiate request	Sara	200	...	
	35654527	06-01-2011:13.06	Examine thoroughly	Sean	400	...	
	35654530	08-01-2011:11.43	Check ticket	Pete	100	...	
	35654531	09-01-2011:09.55	Decide	Sara	200	...	
	35654533	15-01-2011:10.45	Pay compensation	Ellen	200	...	

Table 1: Fragment of an event log using an XML-based syntax: each line corresponds to an event (van der Aalst W., 2011).

In order to describe the requirements for process mining in construction data is created by means of a code for an add-in in Revit which tracks the design modifications. There is looked which data could be retrieved and where should an event log consist of in process mining. Also, when data is needed which not could be retrieved, a user must provide input.

The bare minimum to enable process mining requires a Case ID and an Activity log:

1. Case ID: A case identifier, also called process instance ID, is necessary to distinguish different executions of the same process. What precisely the case ID is depends on the domain of the process. For example in a hospital this would be the patient ID.

In the case of the construction design process, the case ID would be the element ID of a building element when one is interested in this specific process. When someone is interested in the organizational process of a project he could use the unique use name as a case ID.

2. Activity: There should be names for different process steps or status changes that were performed in the process. If there is only one entry (one row) for each process instance, then the data is not detailed enough.

In the case of construction process mining of a building element within the design phase, there should be a history of this element. The activity could be retrieved automatically by tracking the design modifications by type of change and the element type.

To analyze performance related properties additional attributes are useful in the event log like:

3. Timestamp: At least one timestamp is needed to bring events in the right order. This time stamp is also needed to identify delays between activities and bottleneck identification.

In our case the timestamp is described with the following syntax: DD-MM-YYYY: hh.mm.ss, where D = Day, M = Month, Y=year, h=hour, m=minute, s=seconds.

4. Resources: For example the person or the company who executed the activity.

5. More attributes can be added.

In our case this could be type of change, object type, modification costs for example.

Two examples show an event log could look like within the construction design modification process. Admissions have been made based on interviews and experience and common sense to define the log structure with the construction design modification process.

Thereafter, this structure need to have sense with regards to a process analysis. From e.g., example 1 an analysis could be done from the persons included in the modification process. For example 2, there could be seen how an element is developed in time (related to resources).

Example 1:

Case ID	Time	Activity	ID element	Object Type
Claudia	31-05-2017:10.44	Wall internal modified	308862	Wall interior - 100mm
	16-04-2017:12.11	Wall external modified	303287	Wall exterior - 250mm
	15-04-2017:14.48	Door modified	309114	Doors 0915 x 2134mm
Victor	02-04-2017:11.38	Wall external added	303287	Wall exterior - 250mm
	11-03-2017:15.55	Door modified	309114	Doors 0915 x 2134mm
	09-03-2017:14.09	Wall internal added	308862	Wall interior - 100mm

Example 2:

Case ID	Time	Activity	Resource	Property
308862	31-05-2017:10.44	Wall internal modified	Claudia	Height
	05-04-2017:16.22	Wall internal modified	Peter	Length
	09-03-2017:14.09	Wall internal added	Victor	-
309114	11-05-2017:09.12	Door modified	Sander	Location
	15-04-2017:14.48	Door modified	Claudia	Length
	11-03-2017:15.55	Door modified	Victor	Height

In conclusion, with process mining, event logs are used from today's systems which contain data related to a single process. By mean of extracting useful data, insight in processes is obtained and processes could be improved.

However, now there are often no event logs that could support process mining in the construction domain. This is because from information systems history data could not be extracted or event logs are not structured. Also, the parties who deviate where in exactly in the design process and which modifications are done by who and for what reason could not be traced back. Process mining could not be carried out yet when there are no techniques used during the design phase of a project where structured event logs are tracked.

5.3 Data formats

The structure and information within the event logs may be the same, however event logs can be described with different data formats. The most occurring ones are named in this paragraph.

Until recently, the standard for storing and exchanging events logs was MXML (Mining eXtensible Markup Language). In table 1 a fragment of an event log using an XML-based syntax is shown with on each line an event log. Event logs could be converted into an XML format to enable process mining and stored in the database. Although the MXML approach worked quite well in practice, the various ad-hoc extensions also revealed shortcomings of the MXML format. Therefore the development of XES (eXtensible Event Stream) was started. XES is the successor of MXML. Based on many practical experiences with MXML, the XES format has been made less restrictive and truly extendible. The XES format is less restrictive and truly extensible. The format is supported by major process mining tools such as PrOM, Disco, XE-Same and Open XES.

Thereafter, ideally event data are in XES format. However, it is also perfectly fine if the event data are in CSV (comma-separated values) format, used in spreadsheets. Each event should correspond to one row in the CSV file. Each event should have a timestamp, refer to a case (e.g. a customer id), and refer to an activity. Of course event may also refer to resources, values, amounts, types, etc. (van der Aalst, Process Mining in the Large: A Tutorial, 2013).

Next to the mentioned major process mining tools there are also online process intelligence tools i.e. Celonis and myInvenio. Thereby, all process mining tools can read CSV files, so the threshold is really low.

5.3.1 Conclusion data format

In conclusion, now XES is an XML-based standard for event logs. Its purpose is to provide a generally-acknowledged format for the interchange of event log data between tools and application domains. Its primary purpose is for process mining, i.e. the analysis of operational processes based on their event logs. XES seems to be the standard adopted in the process mining field, however this file format can be difficult to understand for freshmen (such as the researcher of this study) in this research field. Therefore it is sometimes more understandable and practical to store event logs within Excel sheets or CSV files. Within this study this approach seemed suitable since it is focused on workflows in small scales instead of in depth analytics on large scale. When larger scale analytics will be done using more comprehensive file formats may be necessary.

5.4 Conclusion process mining

There is a clear gap in the literature regarding construction monitoring across the project lifecycle, especially related to construction design phase related process information. However, nowadays IT systems are more and more adopted in all phases of construction projects. Process mining is potentially useful to extract information from data by using these IT systems. The integration of process mining within the process of information flow provides the opportunity to make a good use of building data to feedback and improve the processes. A lot of valuable information is hidden in often large amounts of process data. Analyzing these process data only makes sense if it also produces valuable information, which could be used to the business' advantage. This value can be expressed in time, money, quality, etc..

In conclusion, the goal of process mining is to gain event data, extract process-related information and discover a process model. Process mining provides full visibility of the actual processes and all the as-is process variants. This ensures awareness among employees in organizations and can shorten the implementation of process improvement. Bottlenecks and weaknesses of a process can be quickly identified and analyzed. Thereby, deviations and risks in processes can be detected and analyzed in real-time. There can be checked whether processes are actually complying with

internal procedures of the organization, external laws and regulations. Auditors no longer have to execute long-lasting data analyses or carry out interviews, as the actual process data is instantly and comprehensible.

Using process mining one can simply go from looking at the process overview to the lowest levels of data and find the ‘root causes’ of unwanted process variations or long lead times. Based on this, improvements can be made to the process and the effect of the process execution can be measured. This reduces costs, saves time and increases the quality delivered to the customer.

In contrast, in the construction industry with regards to the design phase, event logs are difficult to find or generate. In addition, clearly little research is done regarding process mining using BIM with process information. This study fills the gap by exploring the potential of BIM based process mining within the design phase.

6. Interviews and preliminary research

Thirteen experts in the field of BIM, Systems Engineering as well as architects and structural engineers that will perform the design modifications, were interviewed. Expert interviews were conducted to generate information to provide better understanding of the current situation in the AEC design process with regards to BIM and information management and systems. Also, more knowledge could be obtained regarding the industry's latest developments and to get views on future needs.

Thereafter, two conversations with process mining companies were conducted to get more knowledge and understanding of a process mining projects and processes, not necessarily related to the construction industry. In addition, section 6.3 discusses the conducted preliminary research what was been done prior to this study to gain insight in the available data in the software Revit and Relatics.

The process of formulating the best interview questions was changed a little within the first three interviews, because of details in my research had not been figured out yet completely. Interviewees could declare the BIM design process in practice more during the three interviews. Thereafter, some details were more clear and questions were removed or modified to get more depth in specific parts which are more useful for this research. These first three interviews can be seen as a pilot of the research.

From the fourth interview (with BAM) the questions were the same in every interview. Due to a lack of available time of the interviewees not all questions could be asked in some interviews.

Based on these interviews, a Business Process Modeling Notation (BPMN) was developed of an example process when there is a design and a client sets a new requirement. Through this, it is needed to modify the design to meet this requirement. The process made clear how the interaction is between project members and their activities. Thereby, the interaction can be seen between the reason for the design modifications (the new requirement) and the specific design modifications of different actors. This is shown in the red blocks in appendix II.

According to interviewees, this process is for a big(ger) construction project, because often there are more managers between the client and the design disciplines. With smaller projects there are no or less managers between the client and the design disciplines. Furthermore, for more clarification the design manager is the manager who directs all the design disciplines and has knowledge in these domains also.

The BPMN can be found in appendix II and all of the interviews with summarized transcripts (in Dutch) of the interviews with the experts are listed in appendix I.

6.1 Interview findings

Overall, interviewees recognize that there are inefficiencies in the current design modification process in the Dutch AEC industry. There is lack of traceability and overview of the design process and disciplines in a construction project do not know exactly what could be improved. It is not always easy to understand exactly where the problems are in a process and what the causes are. In addition, when asked if the interviewees found bottlenecks in the design process and if data analysis is done in projects, they often responded that this does not yet happen. There is also limited information about what really happens in organizations. According to the interviewees, this is due to the focus of construction projects which is on delivering (good) products and not on the (improvement of the) process.

The interviewees who were more into the BIM or SE process, state that they see the added value of tracking the design modification decisions linked the reasons for this. Thereafter, they indicate that decisions and reasons of the design modifications are registered in different minutes, documents or mails or not registered at all. This shows that not all information about design

changes is communicated efficiently and, among other things, certain issues are researched more often by different persons in new projects. This is due to the knowledge exchange where currently not all information is communicated. More interviewees state that knowledge sharing among the company is done by means of (evaluation) meetings and not much companies use some kind of knowledge platform now. This is because of the lack of time for this, but the majority of the interviewees see the potential added value of a more structured way of capturing project knowledge, lessons learned and determining the causes of modifications.

The interviewees were asked if tracking the design process and creating a history database with the design changes that occur and the reasons in this regard is useful in practice.

One important point is that there are different kinds of design modifications namely internal and external change management. The internal modifications do not need to be communicated with the client. Although for the external ones the client need to agree with them. According to the interviewees, when companies use Relatics, the external modifications are tracked in this information system.

The process' and products' quality is often measured according to human knowledge and gut feeling. All interviews indicate that a BIM execution plan or BIM protocol is used to ensure that agreements on products and processes have been agreed between project members. Sometimes also the 'Basic EIR' is used in these agreements whereby the BIM information quality could be measured by looking at products which need to meet the EIR (Dutch: ILS). Also, the design quality could be measured by looking at the requirements which should be met. According to the design disciplines the EIR is more practical in usage because it is a short and understandable document. Here is agreed on the information and data sharing through the agreement documents between project members. More often this is done by using Revit files if all project members use this software. The exchange of designs uses a (Revit) server often. The BIM coordinator retrieves all the IFC models and integrate these from all project members. Thereby agreements (in the BIM execution plan or protocol) are made about the workflow of this process. Often in a project the design disciplines draw their own parts and exchange their 3D models once a week with the BIM coordinator who checks the models and communicate the issues with the design disciplines. Then the issues will be solved and the one week process takes place again.

When looking at the process in the project, interviewees indicate that bottlenecks in the process are very different in every project and same patterns in projects exist only in bigger processes. For example the baseline exists often at all design stages (schematic design, preliminary design, detailed design, technical design). Also, predefined process schemes (like BPMN) are not made from detailed processes. Thereby, most interviewees state that the most issues in the process are with the mechanical, electrical, and plumbing engineers because they join later in any process. In addition, in the design process a design planning is used at every design discipline. This is often used in (weekly) meetings with the project members to see how far every task group is.

A key issue that is identified among all interviewees is that process mining is not really used yet in the construction industry. Some organizations made a start with analyzing their document management system or costs overviews to see what included too much costs. Most interviewees see the added value of process mining to learn from positive and negative aspects in previous projects and to share knowledge. In addition, the traceability of decisions for modifications including a time aspect and costs are indicated that this could contribute to the improvement of the design modification process.

6.2 Conclusion interviews

The interviews pointed out that a lot could be improved in the current design modification process in the Dutch AEC industry. This is mainly caused by the human influence in communicating information among other things about decisions and reasons of design modifications. Thereby hand written notes are used as tracking of the decision process. Despite the importance of monitoring systems, it is now still a time-consuming, costly activity and prone to errors.

In addition, the focus of the construction industry does not lie in the process improvement but on the production. In this process of production the quality of the products and processes are measured on the basis of knowledge and experience. In contrast, by using for example process mining, the process could be analyzed by means of the produced (BIM) information in time. Unfortunately, process mining is not yet known in the construction industry.

Nearly all interviewees emphasize the potential added value of using process mining, knowledge databases and tracking of the design development. Thereby, in the design development there is a difference in reasons of design modifications namely internal and external. Now both are not always registered or not structured registered in for example databases.

In order to do further research on linking the process mining technique to the design process where 3D models are created and modified, a tool was developed. The development of this tool will be discussed in the next chapter.

6.3 Preliminary research

The intention of the preliminary research is to examine what design history data in the software Revit and Relatics are available. These data could eventually be used to do analyses on the process in a construction project and for example find and tackle bottlenecks or find re-usable data for new projects.

6.3.1 Revit

Within Revit no (obligated) standard add-ins were installed upfront (in the software) which track design modifications. However, there are journal files which capture the actions taken by the software during a session of Revit, from the time the software starts to the time it stops. This will be stored automatically on the local computer. Unfortunately, this information (called a journal file) is not structured and is designed for when problems arise during a session. Journal files are TXT files to troubleshoot technical problems with Revit products. In this study, the journal files are not designed in a way that is suitable for applying process mining. Therefore an add-in is created to track the design process.

6.3.2 Relatics

According to Relatics Support it is not possible to query the history information and 'Browse history' in Relatics is only meant to look-up the moment in time at which a value is created, not as part of the data model of the workspace. It is possible to look at 'ModifiedOn' attributes of the properties to view the last modification timestamp, but then the value is not shown and multiple timestamps are not shown. In conclusion, the historic data needed for this research cannot be obtained.

A building model consists of datasets such as properties and dimensions. The design (in this research only Revit is considered) should match the client requirements regarding the design. These requirements could be stored in Relatics but in a construction process these requirements could be modified. The user could make a connection between Revit and Relatics by using the iBIMConnector of Neanex². In both software systems historic data of the process cannot be generated from the past in a structured or humanly readable way.

² <http://www.neanex.com/innovative-iBIM-concept/>

PART I: PROBLEM STATEMENT

PART II: THEORETICAL REVIEW

PART III: PRACTICAL IMPLEMENTATION

PART IV: CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

7. Tool development

This chapter discusses the development of a prototype tool that will enable people in the AEC domain to utilize history data in the design process with the use of a BIM model. The goal of developing a tool whereby a log database was created from design activities is to discover bottlenecks and create an awareness of the actions of different design disciplines in relation to the set with requirements. Hereby, traceability is also assured and building information of models was effectively used during the process. The reviewed literature and expert interviews already show that there is a need of getting more insight in the history of the design process.

In addition, interviewees indicate that companies do not require their engineers to keep a history log. Therefore, a “proof of concept” (or prototype) was developed to track the design process within construction projects. Furthermore, a 3D visualization environment was developed to visualize the BIM model linked with history log data.

In the development of the tool, the following programming software and modules were used:

- Revit 2016 (using the own created add-in);
- Microsoft Visual Studio 2015, with the following namespaces;
 - System;
 - Autodesk.Revit
- Python 2.7, with the following libraries;
 - Python OCC 0.16;
 - IfcOpenShell 2.7-0.5.0;
 - PyQt 4

This chapter starts with the description of the developed case to collect data is explained and the system design in section 7.1 and 7.2. Afterwards in section 7.3 the use case options are explained. Section 7.4 captures the user requirements that the tool should fulfill. Thereafter, section 7.5 provides the interaction of the tool with its users. Subsequently, section 7.6 covers the development of the prototype tool and the conclusion of the prototype after summarizing the retrieved data from different users.

7.1 Pilot case description

The reason for creating a case performed by different users is due to the limited possibilities in obtaining available history design data. Thereby, a small part of the design process could be obtained from a real-life project due to the (short) graduation time period. In addition, real-life projects are too detailed and complicated for filtering and extracting project information.

In order to gather design data, the pilot case was created for different (Revit) users. The following input was associated within the case:

- User manual design tracking.pdf,
- ActivePresenter_v6.1.1_setup.exe,
- DesignTracking.exe

For the case, a user manual (see appendix V) was created with a program of requirements and the process steps for the (Revit) users. Thereby, the System Breakdown Structure (SBS) of the required system was elaborated. A SBS was used to breakdown the system into objects. The breakdown is in the form of a tree structure. Underlying objects form together the parent object in an object tree. The required system in this case was a school building. The total required objects were less detailed and complete than all objects in a real-life school project. This is due to the lower level of detail in information extraction which was needed for this research.

Design, building and object requirements were developed so that users create a similar project. Additionally, adapted requirements were elaborated with the purpose to detect which design actions were done to meet these requirements.

After users performed the case, data with the users design actions were extracted. The data contains information of the objects within the Revit project which were added, modified or deleted. This is called the ‘history log’ file of the user. These data were used to gain insight and improve the design processes.

Furthermore, ActivePresenter was used in the pilot case. This is software to record the screen and audio of the user. The purpose of the screen and audio recording is to examine why design actions were done by an user. Hereby, the user could indicate why design actions were done. In this way, (design) decisions of the user were tracked. The history log could be validated by comparing the video, audio recording with the history log of the (Revit) design project.

7.2 System design

For the tool development the Extract, Transform, Load (ETL) process was used (see paragraph 1.5). Hereof, the extraction, transformation and load process within this research will be elaborated in this paragraph. Thereby, the data collection process will be elaborated, because in the ETL-process there were data sources used and in this research data was collected by means of an own created tool. Hereby an history log file (TXT) was created with design activities data. These data were used in the ETL process. The input, ETL and output are shown in figure 11. The output CSV could be used in the process mining tool called myInvenio, where this CSV could be uploaded and process models could be extracted. The process models could be uploaded in the visualization tool, where also a 3D visualization could be seen.

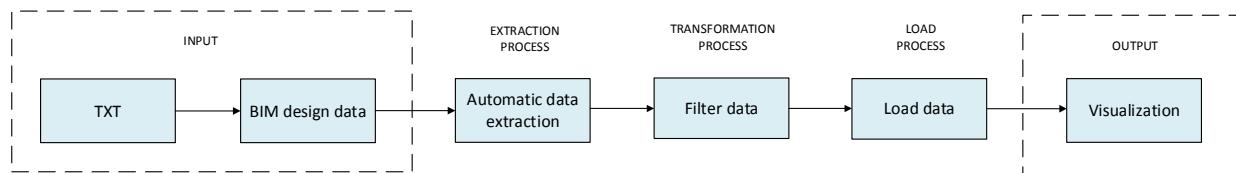


Figure 11: From input data to visualization.

7.2.1 Data collection

Data from various data sources is needed for the ETL process. Unfortunately, in this research no data is available and therefore a tracking tool was created to collect data (data collection process). This tool records the design activities which were done by the (Revit) users. The data collected from the tool were stored in a single database (in TXT).

For this research, a case was created for Revit users to design a specific construction project. Multiple different actors have been asked to perform this pilot case and to provide their data and only eight actors really cooperated. This has resulted in 8 sets of data, each containing the data stated in table 3 in paragraph 7.6.6. Three of these sets were not usable due to the incompleteness of the history log. This was probably due to a crash of Revit during the activities of the user.

The data delivered by all users consist already of the right information needed for the visualization, because it was requested in the case. The data were not yet exactly usable for process mining. First, the usable data need to be extracted and stored in a format that can be accessed by process mining tools. Thus, it has to be determined in what format the original data were stored and in what format the process mining tool could analyze the data.

In the literature review was explained that all process mining tools can read CSV files. Thereby it is more understandable and practical to store event logs within Excel sheets or CSV files. As explained earlier, within this study this approach seemed suitable since it focused on workflows in small scales instead of in depth analytics on large scale.

The history logs were provided in TXT file format. This file format is transformed to CSV in the data transformation process and elaborated further in the next paragraph.

Furthermore, IFC files were collected from the different actors. The IFC format was asked in the case (given to the actors) in which the BIM data should be provided. This is due to the fact that in the visualization tool includes a 3D IFC viewer. Also, the format was an universal standard format and therefore a non-proprietary format, because it allows all the provided BIM data to be used. As IFC is the most widely accepted nonproprietary BIM data format, IFC was used as the file format in this research. Thereby, in case that the IFC files were not exported in the right way and to view already all elements in 3D and properties the RVT files were also asked. This is the original format of BIM data created in Revit, a product of Autodesk.

Furthermore, video and audio data were collected from the different executives of the case. This will be elaborated further in paragraph 7.3.

7.2.2 Data extraction, transformation and load

In the data extraction process the necessary information was extracted from the input data and written to the output data (see figure 11). The input data were created by means of a (created) tracking tool, of which the script can be seen in appendix VI. After this, a selection needs to be made on the output data and how these data could be extracted. As the goal of the extraction process is to get the necessary output, first the output data will be selected. Afterwards a selection will be made of how to extract the necessary data from the TXT data file (input data).

To extract the usable data from the collected data, there needs to be a file format to store the usable data into. This file format needs to be suitable to be used with process mining. It is also necessary that the programming language used to extract the usable data from the collected data can write to this specific file format.

So called 'events' are stored within the data for process mining. Each event should correspond to one row in the data. Each event should have a timestamp, refer to a case and refer to an activity. Thereby, more information could be added. In this research information from elements within the design needs to be extracted as well. Therefore, the ID of an element and the GUID (Global Unique Identifier) were added, because IFC was used for the 3D model visualization and the GUIDS were used to find elements from the collected data in the IFC. Additionally, the resource (user), object type and the type of a change activity in the design were recorded to identify who, which element has added, modified or deleted an element. Thereby, for the modified elements there is a specific property which is modified from that element with an old and new state of that property. In conclusion, the next columns are created within the TXT files:

Time	User	ID element	GUID	Process	Type Change	Object Type	Case	Property Type	Start State	End State
------	------	------------	------	---------	-------------	-------------	------	---------------	-------------	-----------

A separator was used to separate the text file. A comma is an easy and useful separator. A simple text file format with a comma as a separator is called a CSV, an abbreviation of Comma Separated Value. The CSV format was used in the output and needs to have the correct structure for process mining.

As shown in the previous paragraph, the input data exist of BIM design data. These created input contain event logs. Through this, insight is gained in the data and there needs to be decided what has to be removed and what the focus is. The event logs needs to be filtered, because every real life event log will contain some noise or erroneous data, and that needs to be removed before real analysis could be done. According to van der Aalst (2011) there are multiple criteria for selecting/removing activities (e.g. average costs, duration, and risks). One way is to filter activities based on their characteristics. Moreover, the cases in the log can be partitioned in homogeneous groups. The basic idea is that one does not try to make one large and complex model for all cases, but simpler models for selected groups of cases. This was also done in this research namely by grouping the floor levels of the building project and see these as cases.

For creating the process models (with the cases as stated above), the process mining tool myInvenio was used. The input data in myInvenio must be taken into account for the output data (CSV). Resource, case, start and end time and activity data columns are needed for this tool. The 'count' column is also created to see how many 'activities' were combined.

The transformed CSV file consists of the following columns:

User	Start Time	End Time	Duration	Activity	Case	Count
------	------------	----------	----------	----------	------	-------

The total history log file, which was extracted (by using the add-in), collects all elements which were modified, added or deleted. Within the transformation process, the history log was filtered with the following elements:

- Walls
- Doors
- Windows
- Floors
- Roofs
- Columns
- Stairs

These elements were chosen based on the construction of a simple model, own estimations that users can model these elements and whether or not process models can be created from this. Through this filtering part, the complexity of the data is reduced.

Eventually, the extracted data (TXT) was transformed to the CSV format and specific data were loaded in the correct columns as shown in the table above. A visualization of 'as-is' processes could be made through process models by using the filtered CSV file in the myInvenio tool. Various process variants become transparent, the process steps were displayed in chronological order including durations.

7.3 Use cases

This section introduces the list of process mining use cases by providing a short description of each use case. This was the input for the data filtering (including event logs). If it is known which use cases are the input for analyzing a problem in a process, the specific data could be extracted. For example, an event log could contain information about resources, timestamps and costs. Such information can be used to discover other perspectives, check the conformance of models that are not pure control-flow models, and to extend models with additional information.

The use cases were first grouped into the categories described in van der Aalst (2011) namely process discovery, conformance checking and enhancement which consists of organizational, time, and case perspective.

Use cases according to Ailenei (2012):

Category	Use case	Description
Discovery	Structure of the process	Determine the structure of an unknown process or discover how a process looks like in practice.
	Routing probabilities	Get a deeper understanding of the process by looking at the probabilities of following one path or another after a choice point.
	Most frequent path in the process	Discover what is the path in the process that is followed by the highest percentage of cases.
	Distribution of cases over paths	Discover common and uncommon behavior in the process by looking at the distribution of cases over the possible paths in the process.
Conformance Checking	Exceptions from the normal path	Discover the outliers of the process by looking at the exceptional behavior observed in practice.
	The degree in which the rules are obeyed	Check whether the rules and regulations related to the process are obeyed.
	Compliance to the explicit model	Compare the documented process model with the real process as observed in the event log.
Enhancement - Organizational Perspective	Resources per task	Discover the relation between resources and tasks.
	Resources involved in a case	Discover the group of resources involved in solving a particular case.
	Work handovers	Manage resource location or determine possible causes for quality and time issues by looking at how work is transferred between resources.
	Central employees	Determine who the central resources for a process are by analyzing the social network based on handovers of work.
Enhancement - Time Perspective	Throughput time of cases	Determine the time that passed since the start of a case in process until its completion.
	Slowest activities	Discover potential time problems by looking at the slowest activities in the process.
	Longest waiting times	Determine delays between activities by analyzing the waiting times before each activity.
	Cycles	Learn whether additional delays occur in the process due to cycles.
Enhancement - Case Perspective	Arrival rate of cases	Determine the frequency with which new cases arrive in the process.
	Resource utilization rate	Determine what are the utilization rates of the resource i.e. measure the fraction of time that a resource is busy.
	Time sequence of events	Get a deeper understanding on the organization of a process by looking at the time sequence of activities for a specific case.
	Business rules	Discover what are the process attributes that influence the choice points and what are the conditions for following one branch or another.

The conclusion of Ailenei (2012) is that use cases ‘Structure of the Process’, ‘Most frequent path in the process’, ‘Distribution of cases over paths’, ‘Compliance to the explicit model’ are most relevant for all roles in their research. Unfortunately, this research does not have any respondents from the construction domain. Therefore, the interviews and literature study from this research were used to determine the top use cases in relation to the construction domain and the interest of Neanex. Thereby, the assumption was made that there will be a difference in needs of people having different roles. Which use case someone or a company considers important depends in which domain and function a person or company is situated. This is also confirmed by Ailenei (2012).

Different issues could be the input for the data filtering (including event logs). According to the companies ZuiverICT and Process Gold these issues are often given by a (company) client who wants to solve these problems by using Process Mining. The possible aspects that could be found in the data in relation to these use cases are considered as most relevant in the design modification process in the construction domain;

Use case	Description
Real times of activities	Start and end dates of activities compared with planned dates.
Costs of first time right/modifications	Cost impact of modifications in a process.
Compliance of work	For example verifying of compliance with internal or external guidelines. Processes and information need to be aligned perfectly in order to meet requirements related to compliance.
Bottlenecks	The multi-set of durations attached to activities could be used to discover and analyze bottlenecks. The places where most time is spent can be highlighted.
(work) Patterns	Activities performed in the same order for example by the same people repeatedly, which allows activities to be automated.
Organizational structures	For example, a social network based on the interaction patterns between individuals could be derived. The social network could be based on the “handover of work” metric, i.e. the more frequent individual x performed an activity that is causally followed by an activity performed by individual y, the stronger the relation between x and y is. Also, possible causes for quality and time issues could be determined by looking at how work is transferred between individuals.
Relation of activities and performers	Which and how many activities a particular person performs. Examples of conclusions could be that around different deadlines a lot of activities are executed or one specific discipline has done the most activities or exceeded a deadline.

A combination of time and resources linked to events are preferred by Neanex to find different conclusions. Therefore, the use cases ‘Bottlenecks’, ‘(work) Patterns’, and ‘Relation of activities and performers’ could be used. Additional information need to be added to the event logs for the use cases ‘Organizational structures’, ‘Real times of activities’, ‘Costs of first time right/modifications’ and ‘Compliance of work’. This additional information could not be obtained from Neanex or partners from Neanex during this research.

7.4 Prototype requirements

Based on the objectives that are identified in section 1.3, the main functional requirements for the prototype are determined in this section. The requirements are prioritized using the MoSCoW-

method. Through this technique the focus is kept on the identified business benefits. The “must haves” (M) are the requirements that must be incorporated in the end result, whereas the “should haves” (S) are strongly desired but still provide a viable solution if not implemented. The “could haves” (C) are desirable but will not be incorporated if the process does not allow for it. The “won’t haves” (W) will explicitly not be included in the prototype (DSDM Consortium, 2008). The prioritized requirements are listed in table 2.

MUST	
1	Track design activities
2	Write specific information to history log file
3	Link history log data to an IFC model
SHOULD	
4	Visualize IFC models in 3D together with the history information about the object (e.g. timestamp, modification activity, property, start state, end state etc.)
5	Visualize process model both a general one and specific per building floor
COULD	
6	Be web-based
7	Visualize differences in 3D between element states once the building has finished (in time)
8	Add additional information from the user
WON’T	
9	Show consequences of design changes
10	Provide a warning for the bottlenecks in the process

Table 2: A prioritized list of requirements about what functions the tool should comprise of.

7.5 Use case diagram

In order to capture the interaction of the tool and the user(s), a use case model was developed. A use case model gives an organized overview of the system functionalities. Use case diagrams are considered for high level requirement analysis of a system. The functionalities could be captured in use cases when the requirements of a system are analyzed. Also, the actors are relevant for the use cases. Actors can be defined as something that interacts with the system.

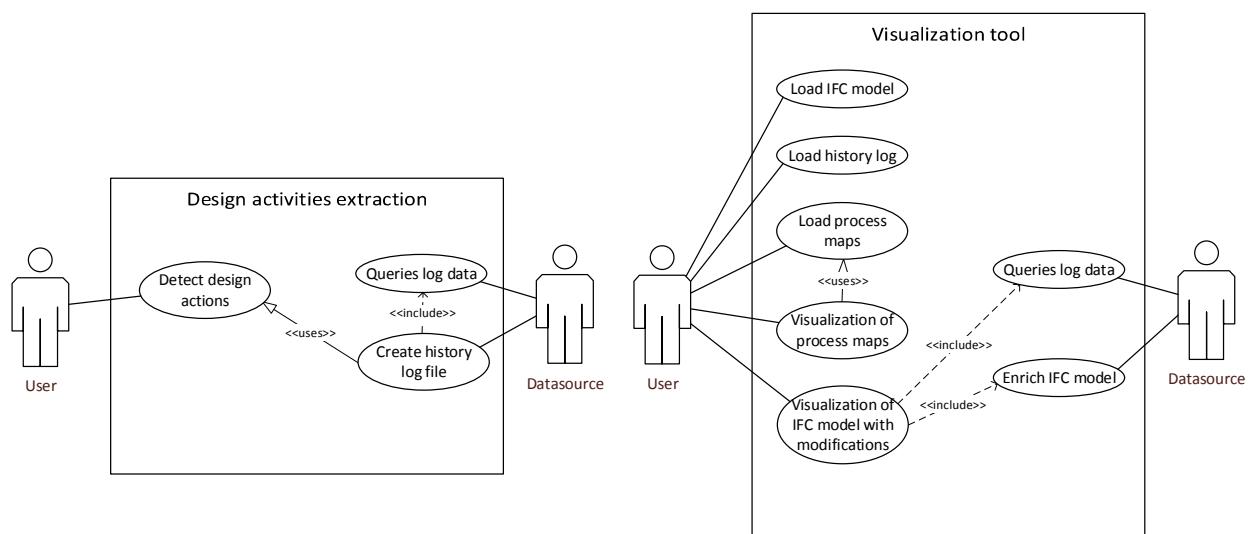


Figure 12: Use case models of the design activities extraction process and the visualization tool.

The use case diagram depicted in figure 12 consists of two authorized actors, namely a user and the data source. When the user (e.g. an architect) performs design activities, a history log will be created. For each moment in time, the log data could be accessed by different users. Thereafter, a written code enables to query the original history log to a CSV file. By using this CSV file, the user could import the data into a process mining tool (e.g. myInvenio) whereby process models could be produced.

The first task of the visualization part is to visualize the 3D model of the building. For this, the correct IFC-model and the original history log file should be imported. The user (e.g. the architect) could insert his latest 3D IFC file by means of the visualization tool. To this end, the log enriches the 3D model, so that users can also view information connected to elements inside the model. The user could view the history information of a specific (modified) element. The prototype picks out the modifications done by the user and visualizes this with different colors. Furthermore, the produced process models could be viewed by importing these models in the tool.

7.6 Prototype

The developed prototype consists of three stages namely the data collection through the created add-in. This enables to keep track of the design activities. Secondly, the so-called ETL process whereby the collected data is extracted, transformed and loaded correctly. Finally, there is a visualization stage whereby the design and process data could be viewed. These stages are collectively seen under the ‘proof of concept’ in this research. The flowcharts could be seen in appendix III. The process steps in these stages will be elaborated in this chapter. Thereby the complete scripts of the three different stages could be found in appendices VII, VIII and IX.

The next two sections provide an elaboration of the way in which the design data sets are actually created according to different examples and the elaborated chosen rules described in previous sections. Thereafter, section 7.6.3 elaborates upon the transformation of the data for the process mining and visualization part, which are explained in section 7.6.4 and 7.6.5.

7.6.1 Data collection

In this first stage all the design activities done by the user, are being tracked. The created script could be found in appendix VII. For parts within this code, the Building Coder was used (<http://thebuildingcoder.typepad.com/blog/2016/01/tracking-element-modification.html#5.5> and

<http://thebuildingcoder.typepad.com/blog/2016/03/implementing-the-trackchangescloud-external-event.html>). Thereby several parts have been added by taking into account what data is required for process mining and to visualize historical information.

The first part of the flowchart for the data collection part is called ‘Retrieve the start states of all elements’. Here the start states are gathered from all elements in the model. This start state exists of all the parameters that the elements support.

The next part within the data collection stage is retrieving the end states of all elements and retrieving the differences. These end states are compared with the start states and these values are retained when there is a difference between the states. In the next paragraph there will be elaborated upon how these values are being filtered and only specific values are being reported.

In order to test the completeness of the history log file, the video data (called the ScreenRecord_yourname.approj file in section 7.6.6) was used. The activities done by the user were recorded in the video data. In this way there can be seen what the user has done exactly. In order to test the completeness of the history log, the video data was compared with the history log file. The comparison was done by using the data of every user who performed the pilot case. There are different user activities found that were missing or going wrong in the history log file:

- When the user selects multiple elements and modifies, copies or deletes them. These elements are not registered.
- When the user modifies an element inside the 'Edit boundary mode' in Revit. These modifications are not registered.
- When the user opens another Revit file while using the add-in. All elements within the new opened file are registered as added elements.

By reviewing the above mentioned activities, the shortcomings of the add-in could be determined because the history log file was created by using the add-in. Due to the scope of this research, as well as the limited timeframe, not every relevant development can be taken into account in this research. Further development could solve the shortcomings of the add-in.

7.6.2 Extraction

Within this section a selection will be made of the tracked design data and stored in a single database (in TXT). The purpose of the data extraction part is to retrieve specific data from different resources. In this research one source (see section 7.7.1) was used per case (related to one user).

Specific information needs to be extracted from the retrieved design data from the data collection. For this, there needs to be taken into account what data is needed to achieve the final output. To be able to create process models the process mining technique should be taken into account. Therefor a timestamp was added to track all design activities back with an own specific timestamp. In addition, in paragraph 7.1.2 the structure of the TXT file is stated.

Furthermore, there was chosen to track the 'Unconnected Height', 'Width', 'Length', 'Location', because these properties could be viewed in 3D and to be able to visualize information of the elements in 3D. With some types of elements (such as a window or a door) the 'Family and Type' are being changed instead of modifying the specific dimensions within the properties. This is due to the fact that within Revit the dimensions with these types of elements could only be changed within the element type itself. Therefore, the family and type of the elements were also tracked. In addition, a distinction is made between additions, modifications and deletions within the design activities. Hereby is looked at the start and end states of the elements. Within a Revit file the following distinction is made:

- Addition: there is no start state id of an element,
- Modification: the start and end state id of an element is different,
- Deletion: there is no end state id of an element

When an element is assigned as a modification, the property type and the related start and end state are reported in the history log file (TXT). In figure 13 an example log is shown with two modifications on 06-08-2017:13.34.59 ('Length') and 06-08-2017:13.35.29 ('Unconnected height'). The distinction of the three types of design changes could also be seen in column 'Type Change'. The log (tracked design) data were used for creating the process models and the 3D visualization.

Every time a design activity (addition, modification or deletion) is done by the user, a so-called event is reported to the log file (TXT). The log data consists of different columns, every row corresponds to an event. In process mining a case, activity, and timestamp always need to be identified. The data in this research could be interpreted in different ways, because the case could be considered differently. It depends on how to group the data. Therefore, for one use case there need to be decided what question need to be answered. This is the problem which needs to be solved through analyses which could be done by using process mining tools (e.g. myInvenio). In

this research the focus is upon the bottlenecks within the design process. There is looked at the activities which will be created and grouped in the transformation part (section 7.6.3). In addition, the cases are considered to be the different levels of the building model. In this way the process models could be compared and the bottlenecks could be shown and compared.

An example is elaborated below with structured event logs. More information could be added for specific analyses (e.g. costs) but in this research this is not necessary and not the focus.

Time	User	ID element	GUID	Process	Type Change	Object Type	Case	Property Type	Start State	End State
06-08-2017 13.33.59	TUE\15051	309417	1mJy\YnFBr&W3FT2Cb	School_Mikevanriet.vrt	Added	Walls_Wall_Exterior - Brick on Mt_ Stud	Ground Floor			
06-08-2017 13.33.59	TUE\15051	309557	1mJy\YnFBr&W3FT24v	School_Mikevanriet.vrt	Added	Walls_Wall_Exterior - Brick on Mt_ Stud	Ground Floor			
06-08-2017 13.33.59	TUE\15051	309631	1mJy\YnFBr&W3FT25p	School_Mikevanriet.vrt	Added	Walls_Wall_Exterior - Brick on Mt_ Stud	Ground Floor			
06-08-2017 13.33.59	TUE\15051	309751	1mJy\YnFBr&W3FT27x	School_Mikevanriet.vrt	Added	Walls_Wall_Exterior - Brick on Mt_ Stud	Ground Floor			
06-08-2017 13.34.41	TUE\15051	309881	1mJy\YnFBr&W3FT28	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.34.59	TUE\15051	309881	1mJy\YnFBr&W3FT28	School_Mikevanriet.vrt	Modified	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor Length		2500	10300
06-08-2017 13.35.23	TUE\15051	309417	1mJy\YnFBr&W3FT22b	School_Mikevanriet.vrt	Modified	Walls_Wall_Exterior - Brick on Mt_ Stud	Ground Floor Unconnected Height		8000	7800
06-08-2017 13.36.35	TUE\15051	310349	1mJy\YnFBr&W3FT2H1	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.37.15	TUE\15051	310443	1mJy\YnFBr&W3FT2T2b	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.37.15	TUE\15051	310495	1mJy\YnFBr&W3FT2T2m	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.37.15	TUE\15051	310477	1mJy\YnFBr&W3FT2J1	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.37.15	TUE\15051	310495	1mJy\YnFBr&W3FT2J4	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.38.49	TUE\15051	310545	1mJy\YnFBr&W3FT2K-T	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.38.49	TUE\15051	310547	1mJy\YnFBr&W3FT2K-V	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.38.49	TUE\15051	310549	1mJy\YnFBr&W3FT2K-P	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.38.49	TUE\15051	310551	1mJy\YnFBr&W3FT2K-R	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.38.49	TUE\15051	310553	1mJy\YnFBr&W3FT2L	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.38.49	TUE\15051	310555	1mJy\YnFBr&W3FT2N	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.39.38	TUE\15051	310625	1mJy\YnFBr&W3FT2Lj	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.39.44	TUE\15051	310625		School_Mikevanriet.vrt	Deleted	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37				
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	310986	1mJy\YnFBr&W3FT2H6	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311003	1mJy\YnFBr&W3FT2R9N	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311010	1mJy\YnFBr&W3FT2R	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311015	1mJy\YnFBr&W3FT2R	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311025	1mJy\YnFBr&W3FT2S6	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311065	1mJy\YnFBr&W3FT2SL	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311082	1mJy\YnFBr&W3FT2S	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311101	1mJy\YnFBr&W3FT2S2n	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311101	1mJy\YnFBr&W3FT2T20	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311131	1mJy\YnFBr&W3FT2T2N	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311134	1mJy\YnFBr&W3FT2T2c	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311161	1mJy\YnFBr&W3FT2T2r	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311165	1mJy\YnFBr&W3FT2T2S6	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311176	1mJy\YnFBr&W3FT2U4	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311176	1mJy\YnFBr&W3FT2U2L	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	311210	1mJy\YnFBr&W3FT2U2c	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	312223	1mJy\YnFBr&W3FT2U2j	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	312328	1mJy\YnFBr&W3FT2V2A	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	312553	1mJy\YnFBr&W3FT2VP	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	31280	1mJy\YnFBr&W3FT2V2y	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	31297	1mJy\YnFBr&W3FT5Wd	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	313102	1mJy\YnFBr&W3FT5W5	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	313127	1mJy\YnFBr&W3FT5W5j	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	313142	1mJy\YnFBr&W3FT5V2y	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	313157	1mJy\YnFBr&W3FT5Wn	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	313174	1mJy\YnFBr&W3FT5k2	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	313174	1mJy\YnFBr&W3FT5k4	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	314006	1mJy\YnFBr&W3FT5Y	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	314223	1mJy\YnFBr&W3FT5P	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	314338	1mJy\YnFBr&W3FT5Y2	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.41.47	TUE\15051	314455	1mJy\YnFBr&W3FT5YJ	School_Mikevanriet.vrt	Added	Structural Columns_UC-Universal Columns-Column FamilyInstance: UC305x305x37	Ground Floor			
06-08-2017 13.43.02	TUE\15051	31482	1mJy\YnFBr&W3FT5Ys	School_Mikevanriet.vrt	Added	Floors_Floor_General_50mm	Ground Floor			

Figure 13 Example of a history log generated by design tracking tool.

7.6.3 Transform

The second step in the ETL process is the transformation part. The purpose of this section is to restructure the data which is needed to achieve the final output. The flowchart of this part could be found in appendix III.

In this research the data need to be transformed from a total history log (TXT) to a filtered log (CSV). The reason for using this file format is explained in section 7.1.1.

To restructure the log data (as shown in figure 13), different rules are created. There is looked upon the additions for the process on every floor, because this enables the user to view how every floor was created. In this way, the log is also reduced a lot and there is a better overview of all event logs. In addition, object classes were determined to create the activity column. These columns were created by using the type of change and the object class. The activities in the final CSV file (see the activity column in figure 14) are combined activities. This was done by combining the same object type on the same floor. The amount of combined rows were counted in a separate column. This is also shown in figure 14 in column 'Count'. There could be seen that the first activity that an external wall has been added 4 times on the ground floor. This correspond to row 2 up to and including row 5 in figure 13. In this combination process, a threshold was set to avoid unstructured processes (so called 'Spaghetti' processes in process mining). Analyzing these processes is more challenging because these processes are driven by experience, intuition, trial-and error, and vague qualitative information (van der Aalst, 2011).

The threshold means that lower than 1/8 of the maximum amount of the combined activities was extracted. This threshold could be chosen by the user, but in this study the estimation was made

based on testing the retrieved datasets. Furthermore, the first timestamp of the combined rows is the start time and the last timestamp is the end time of the combined activity. The difference between these timestamp is the duration in seconds.

Rule-set for process mining:

- Delete all modified and deleted records,
- Delete all added elements which are deleted in the future,
- Determine general object classes;
 - o Walls (internal/external)
 - o Doors
 - o Floors
 - o Roof
 - o Windows
 - o Columns
 - o Stairs
- Create start time,
- Create activities,
- Create end time,
- Create duration,
- Count same activities,
- Set threshold over added elements,
- Combine activities

User	Start Time	End Time	Duration	Activity	Case	Count
TUE\s150151	06-08-2017:13.33.58	06-08-2017:13.33.58	0	Added Exterior Walls	Ground Floor	4
TUE\s150151	06-08-2017:13.34.41	06-08-2017:13.41.47	426	Added Columns	Ground Floor	42
TUE\s150151	06-08-2017:13.43.02	06-08-2017:13.43.02	0	Added Floors	Ground Floor	1
TUE\s150151	06-08-2017:13.45.30	06-08-2017:13.45.30	0	Added Floors	Level 1	1
TUE\s150151	06-08-2017:13.45.59	06-08-2017:13.45.59	0	Added Floors	Level 2	1
TUE\s150151	06-08-2017:13.47.03	06-08-2017:13.47.03	0	Added Roofs	Roof	1
TUE\s150151	06-08-2017:13.52.07	06-08-2017:13.53.17	70	Added Interior Walls	Ground Floor	4
TUE\s150151	06-08-2017:13.55.45	06-08-2017:13.56.19	34	Added Doors	Ground Floor	3
TUE\s150151	06-08-2017:13.59.46	06-08-2017:13.59.46	0	Added Interior Walls	Level 1	2
TUE\s150151	06-08-2017:14.00.14	06-08-2017:14.00.14	0	Added Interior Walls	Level 2	2
TUE\s150151	06-08-2017:14.04.31	06-08-2017:14.04.31	0	Added Interior Walls	Level 1	2
TUE\s150151	06-08-2017:14.05.12	06-08-2017:14.05.12	0	Added Interior Walls	Level 2	2
TUE\s150151	06-08-2017:14.07.37	06-08-2017:14.19.33	716	Added Interior Walls	Level 1	17
TUE\s150151	06-08-2017:14.25.36	06-08-2017:14.40.08	872	Added Interior Walls	Ground Floor	18
TUE\s150151	06-08-2017:14.45.34	06-08-2017:14.45.34	0	Added Stairs	Ground Floor	1
TUE\s150151	06-08-2017:14.50.44	06-08-2017:14.50.44	0	Added Stairs	Level 1	1
TUE\s150151	06-08-2017:14.51.14	06-08-2017:14.51.14	0	Added Stairs	Level 2	1
TUE\s150151	06-08-2017:14.55.25	06-08-2017:14.55.25	0	Added Interior Walls	Ground Floor	3
TUE\s150151	06-08-2017:15.01.16	06-08-2017:15.01.16	0	Added Doors	Level 1	13
TUE\s150151	06-08-2017:15.03.08	06-08-2017:15.03.08	0	Added Doors	Ground Floor	7
TUE\s150151	06-08-2017:15.06.02	06-08-2017:15.06.02	0	Added Windows	Ground Floor	1
TUE\s150151	06-08-2017:15.15.46	06-08-2017:15.15.46	0	Added Interior Walls	Level 2	17
TUE\s150151	06-08-2017:15.16.17	06-08-2017:15.17.38	81	Added Doors	Level 2	11
TUE\s150151	06-08-2017:15.24.32	06-08-2017:15.25.49	77	Added Interior Walls	Ground Floor	3
TUE\s150151	06-08-2017:15.26.41	06-08-2017:15.26.41	0	Added Doors	Ground Floor	2
TUE\s150151	06-08-2017:15.32.43	06-08-2017:15.32.43	0	Added Windows	Ground Floor	6
TUE\s150151	06-08-2017:15.34.15	06-08-2017:15.36.02	107	Added Windows	Level 1	12
TUE\s150151	06-08-2017:15.36.47	06-08-2017:15.36.47	0	Added Windows	Ground Floor	11
TUE\s150151	06-08-2017:15.38.32	06-08-2017:15.38.32	0	Added Windows	Level 1	13
TUE\s150151	06-08-2017:15.41.35	06-08-2017:15.41.35	0	Added Windows	Level 2	22
TUE\s150151	06-08-2017:15.48.46	06-08-2017:15.48.46	0	Added Doors	Ground Floor	1

Figure 14: Example of a history log generated by using the rule-set.

Next to the process mining part in this research there is a 3D visualization part whereby a viewer was developed for IFC models. The total history log file was used to visualize the modifications within the IFC viewer. For this, a second rule-set was created whereby only the modifications of elements were extracted. Hereby, the GUID (Global Unique Identifier) of the modified elements were used. By testing there was found that when the length of a wall element was modified the location was also changed. Therefore, 2 modifications were counted instead of 1 modification that was really done by the user. Hence, at every ‘length’ modification every ‘location’ modification is not counted by means of the rule-set.

Rule-set for visualization:

- Only modified records,
- Filter out ‘Location’ at ‘Length’ changes,
- Count changes per GUID

The maximum amount of modifications were obtained by counting the amount of modifications per element. The maximum amount is used to set the color ranges for the 3D visualization. The following colors are assigned by using the amount of modifications from the history log file:

- Green; \leq max. modifications * 1 / 3;
- Orange; ($>$ max. modifications * 1 / 3) and (\leq max. modifications * 2 / 3);
- Red; $>$ max. modifications * 2 / 3.

In this way, the corresponding GUID (from the modified element) and the amount of modifications on that element were used to paint that element in the right color in the 3D viewer. The colors indicate the following:

- Green colored elements are the least modified,
- Orange colored elements are moderately modified,
- Red colored elements are the most modified.

7.6.4 Load

The CSV file was loaded into the process mining tool myInvenio. This CSV file was created in the data transformation part (section 7.6.3) and hereby the ‘rule-set for process mining’ was used. The right columns from the CSV file should be assigned to the next headings. These headings are given in myInvenio and could not be changed:

	Process Id		Activity		► Start time		■ End time		Resource		Role		Custom Fields	0/12
--	------------	--	----------	--	--------------	--	------------	--	----------	--	------	--	---------------	------

By assigning the data to the right columns, the process models could be visualized. Figure 15 shows the total process model (from all floors), the process model of the ground floor, first floor and second floor by using one of the delivered datasets. The function for visualizing the maximum durations of activities within myInvenio was used to discover the bottlenecks within the process more easily. The following colors are indicated in the process models:

- Light orange colored activities took the least time,
- Orange colored activities took a moderate time,
- Dark red activities took the longest time.

By using this visualization with process models there could be seen if the data was created correctly to be able to load in the myInvenio tool. Thereby, there could be viewed if the durations and order of activities correspond to the history log file.

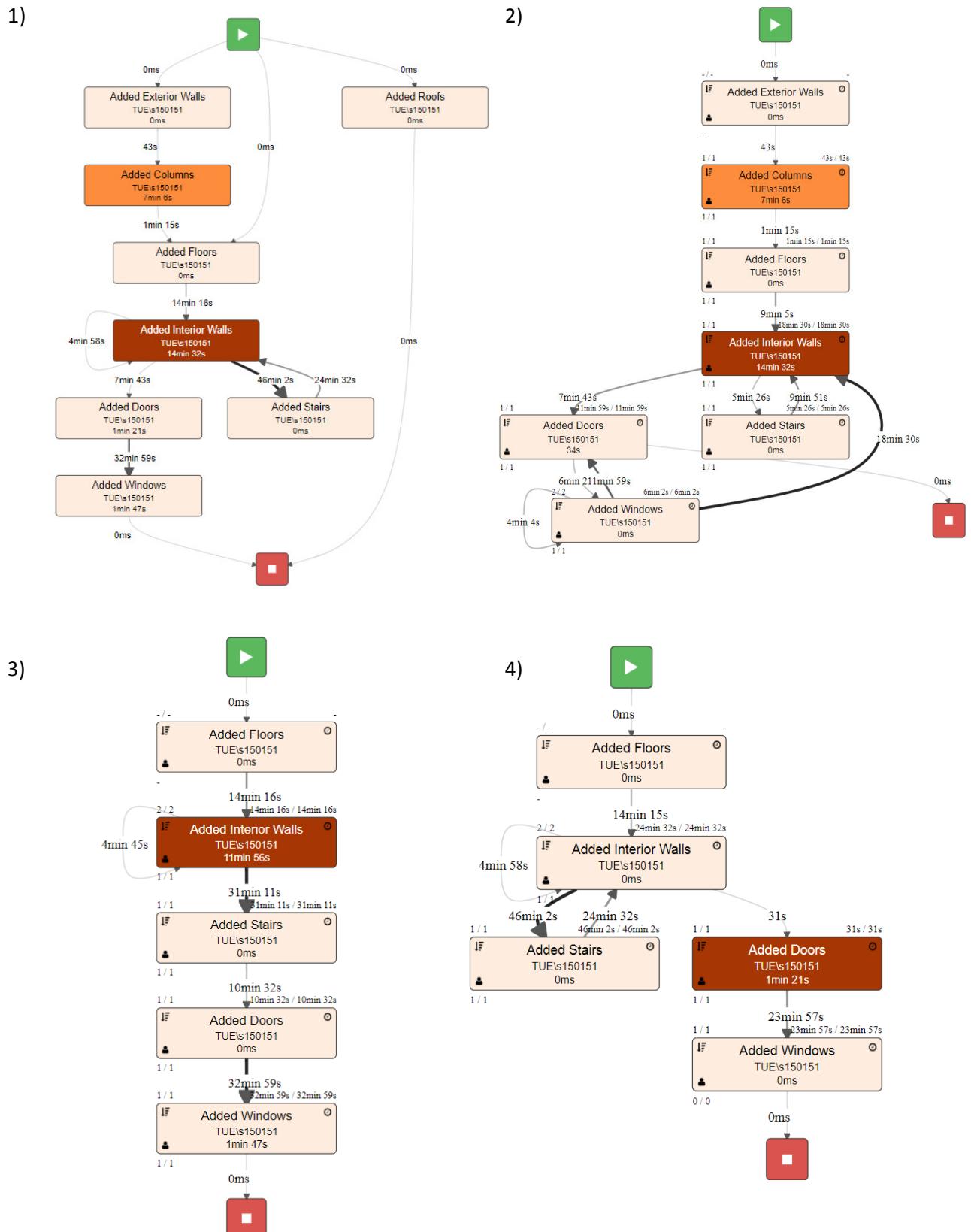


Figure 15: Process models of one example project with the maximum durations generated from myInvenio³: 1) Total process. 2) Ground floor. 3) Level 1. 4) Level 2.

³ <https://www.my-invenio.com/>

7.6.5 Visualization

A lot of project members use different modeling tools, what could add complexity and introduce potential errors to the project. Such problems could be reduced by communicating with all BIM applications through IFC for exchanging data. IfcOpenShell (open source software library) could be used to help users to work with the IFC file format. This could be used to describe building and construction data. IfcOpenShell uses Open CASCADE (OCC) internally to convert the implicit geometry in IFC files into explicit geometry that any software CAD or modelling package can understand. Also, Python is built on top of OpenCascade. PythonOCC is a 3D CAD development framework for the Python programming language. It provides features such as advanced topological and geometrical operations, data exchange in various file formats and GUI management support (Using IfcOpenShell and pythonOCC, sd).

By using PythonOCC and IfcOpenShell modules a geometric representation of the loaded IFC file could be made. In addition, the GUIDS (Global Unique Identifiers) are located in the IFC file and these were used for the visualization with IfcOpenShell. The script for the data visualization could be found in appendix IX. Figure 16, 17 and 18 show the three created tabs. By using the five delivered datasets (section 7.6.6) in these tabs, the completeness of the tool could be tested.

The first tab of the tool offers the functionality to import the original history log file (TXT). This file was used in the color and history visualization in the second tab ('3D Viewer' tab).

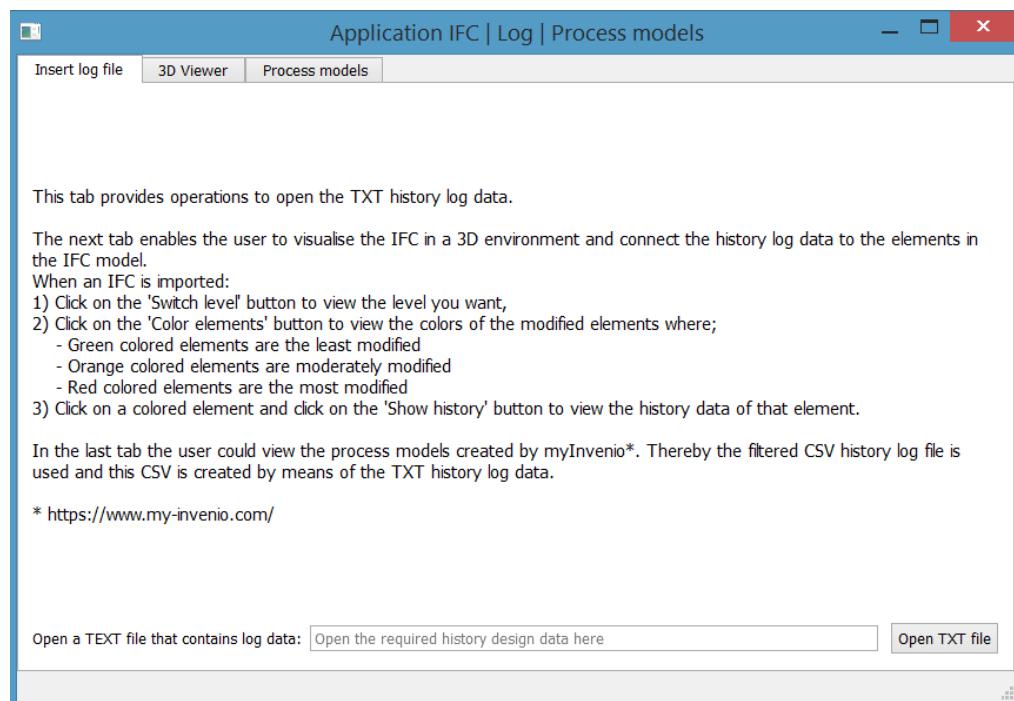


Figure 16: Graphical user interface of the 'Insert log file' tab.

The '3D Viewer' tab shows an example of the result of the query explained in section 7.6.3. The elements in the screenshot were located on the ground floor and the red color indicate that an element was modified the most. This could be seen as a bottleneck. In addition, the button 'Show history' could be used by selecting an element. The query that is used, provided in appendix VIII rows 185-208, retrieves the history data of the modified elements. In the screenshot could be seen that a green colored element is selected and this element was modified one time. In fact, the height was changed from 2600 mm to 7800 mm.

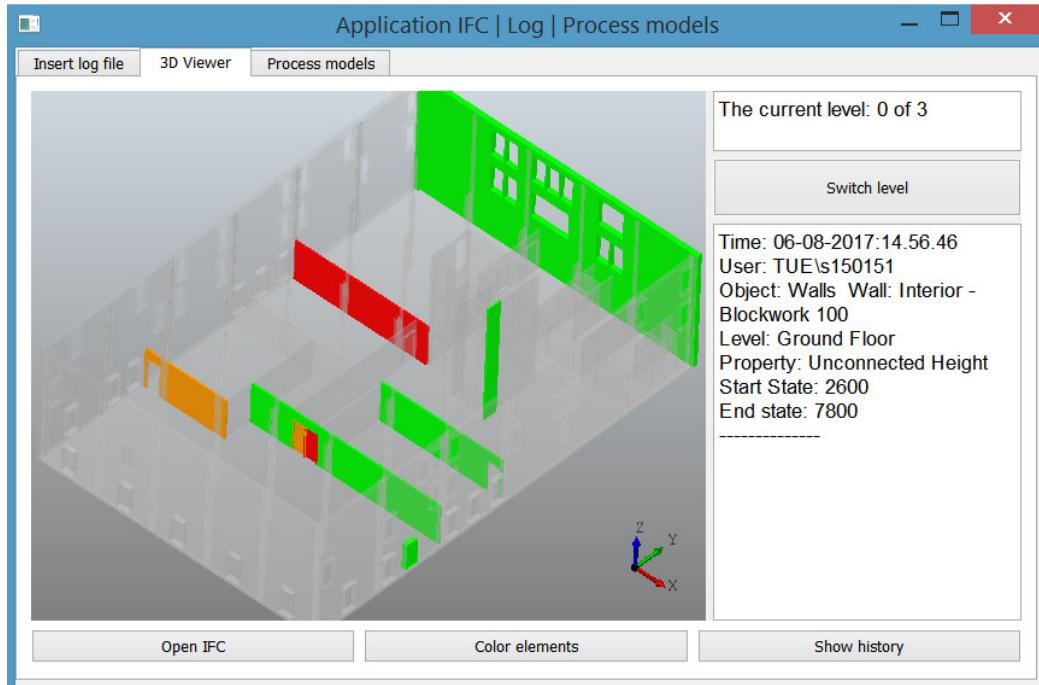


Figure 17: Graphical user interface of the '3D Viewer' tab.

Finally, the tool offers the functionality to visualize the process models by using the (filtered) CSV file. Figure 18 shows example processes (in the 'Process models' tab) as explained in section 7.6.4 whereby the rule-set for process mining and the myInvenio tool were used (as explained in section 7.6.3). Appendix X shows the script which is used to visualize the process models in the created tool as shown in figure 18.

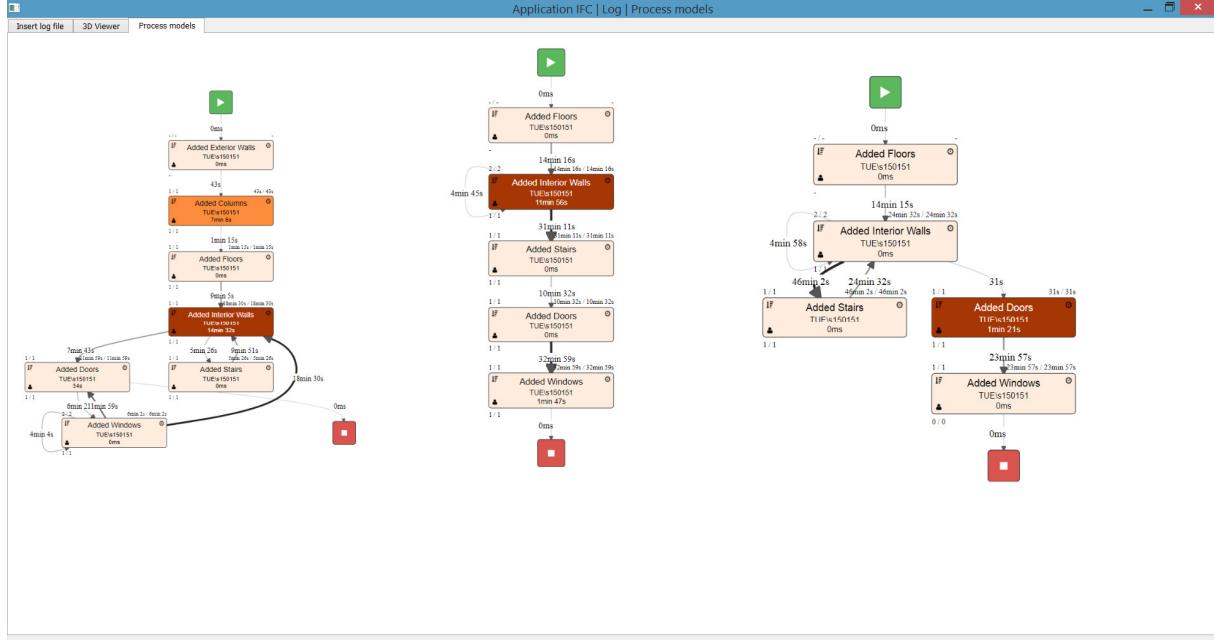


Figure 18: Graphical user interface of the 'Process models' tab.

7.6.6 Summarizing data

In order to script the tool's functionality, data were obtained from an own created pilot case. An user manual was created for users in order to perform the case properly and to meet specific requirements.

The case was performed by different Revit users of which datasets were retrieved along with associated building models. This use case is elaborated in section 7.3. This section provides a data analysis. Table 3 shows the main characteristics of the acquired datasets. Eight datasets were produced by different actors, namely by a BIM coordinator, BIM Engineers, 3D modelers and CME (Construction Management and Engineering) master students. In addition, the produced data were created by the same applications and therefore exist of the same information structures.

Tools	Construction phase	Retrieved data
Revit 2016, ActivePresenter 6.1.1	Design	<ul style="list-style-type: none"> - HistoryLog_yourname.txt, - School_yourname.rvt, - IFC_School_yourname.ifc, - ScreenRecord_yourname.approj and a folder with the audio/video files

Table 3: Characteristics acquired data.

It is crucial for the building model to be set up in IFC file format in order to enhance interoperability. Therefore, the users need to export the Revit project to an IFC file mentioned in the user manual. This gives different outcomes (from the users) as shown in figure 19.

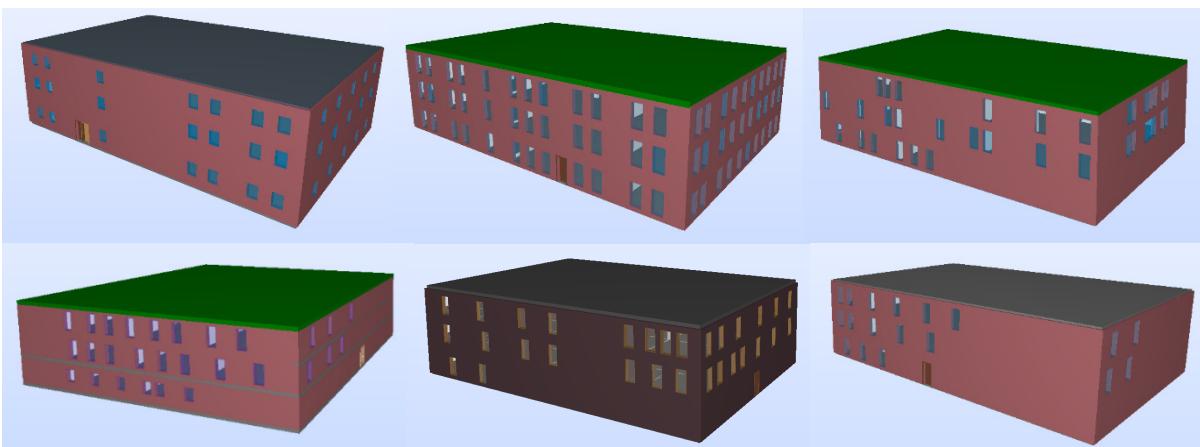


Figure 19: IFC models from different users after executing the case.

Unfortunately, one of the data sets (with log: HistoryLog_jonasplancke.txt) does not include stairs and columns and the history log file was not total. This was because the user was forgotten to start the add-in. However a 3D visualization could still be made. Thereby, in two data set (with log: HistoryLog_MikevanVliet.txt and HistoryLog_JeffreySchrijns.txt) does not include columns on every floor but includes columns from ground floor till the roof. Furthermore, one dataset includes a floor instead of a roof element (with log: HistoryLog_JeffreySchrijns.txt).

In conclusion, from the total eight produced datasets, five datasets could be used to create the process models and visualize these. For this study, the bottlenecks within the design process could be found by analyzing the produced process models of the five users. By comparing the outcomes of the users different conclusions could be drawn. The following classification is used to create an order in bottlenecks. For this, the three colors (as explained in section 7.6.4) in the process models created by myInvenio were used as a starting point:

1. 0: No bottleneck
2. 1: Second bottleneck
3. 2: Biggest bottleneck

The so-called ‘Biggest’ bottleneck appears to be the greatest bottleneck in the process models. This could be seen by means of the dark red color (as explained in section 7.6.4) in the process models created by myInvenio. These bottlenecks are bottlenecks because these have the longest duration in the process. Herein, one process model was created per floor level of the designed building for every user. The roof level was not included because this level only consists of one (roof) element. These process models were compared and the outcomes are shown in table 4. The red numbers in this table represent the bottlenecks per user (P1, P2, P3, P4, P5) and the average. There can be seen that the bottlenecks on the ground floor and first floor are the interior walls. In addition, the bottlenecks on the second floor were very diverse when comparing all bottlenecks of all users. In total, on average the windows were the biggest bottleneck and the interior walls were the second bottleneck.

Ground Floor							
	Persons Elements	P1	P2	P3	P4	P5	Average
	Exterior Walls	0	2	0	0	0	0.4
	Interior Walls	2	2	2	2	2	2
	Doors	0	0	0	0	0	0
	Floors	0	0	0	0	0	0
	Windows	0	0	0	0	1	0.2
	Columns	1	0	1	0	0	0.4
	Stairs	0	0	0	0	0	0
First Floor							
	Exterior Walls	0	0	0	0	0	0
	Interior Walls	2	2	2	2	2	2
	Doors	0	0	0	0	1	0.2
	Floors	0	0	0	0	0	0
	Windows	0	0	0	0	0	0
	Columns	0	0	1	0	0	0.2
	Stairs	0	0	0	0	0	0
Second Floor							
	Exterior Walls	0	0	0	0	0	0
	Interior Walls	0	0	2	1	0	0.6
	Doors	2	0	0	0	0	0.4
	Floors	0	0	0	0	0	0
	Windows	0	0	0	2	2	0.8
	Columns	1	0	1	0	0	0.4
	Stairs	0	0	0	0	0	0

Table 4: Comparison of datasets with bottlenecks.

Furthermore, the maximum durations of all activities in one case (floor level) are listed in table 5. The durations of every activity in the separate processes could be viewed in the process models created by myInvenio. Only the durations of activities were used and not the durations in between activities, to view the real modelling process of a user. Finally, the average durations of the five users per floor level were calculated. In table 5 can be seen that the average duration of activities on the second floor is the smallest and on the ground floor the highest.

Ground Floor								
	Persons Durations	P1	P2	P3	P4	P5	Average	
		Time	23min	40min	15min	1h2min	16min	32min
First Floor								
	Time	12min	13min	15min	25min	3min	14min	
Second Floor								
	Time	1min	0min	19min	3min	9min	6min	

Table 5: Comparison of datasets with process durations.

Moreover, the 3D (IFC) models and the design history data for a selected element could be visualized. Appendix VI shows the 3D visualizations with the modifications (as explained in section 7.6.3) by using the five datasets. There can be seen that there is a big diversity in element modifications. However, the average of all modifications per element shows that the interior walls were most modified. Table 6 shows the design modifications for all five users per element from the total (designed) models.

Elements \ Persons	P1	P2	P3	P4	P5		Average
Exterior Walls	1	5	1	0	7		2.8
Interior Walls	8	7	8	32	35		18
Doors	5	1	2	0	4		2.4
Floors	0	0	0	1	0		0.2
Windows	1	0	0	1	6		1.6
Columns	1	0	2	39	0		8.4

Table 6: Comparison of datasets with design modifications.

7.6.7 Conclusion prototype

The development of the proof of concept resulted in a working prototype and a functioning tool. IFC files were easily linked to a data source. The ability to connect these data sources arises through common element indicators (i.e. GUIDS). Thereby, the collected data could be structured beforehand because in this research the data was collected by means of an own created tool. Because of this, the data transformation could be done faster and more efficient. Discovering bottlenecks can be done more easily by using the collected data (history log data) combined with the use of a query which filters the collected data based on the process mining technique. In addition, the design processes become more clear for different people. Furthermore, by usage of

a query for modifications of elements in the way that the prototype tool proposes, the overview of the modification process becomes more transparent.

However, tracking the design process within the design phase of construction projects or capturing the generated data from information systems is not common. Therefore, data collection is still required which involves the issue of influencing the actual work time (for designing) and structuring the data in the same way. Despite this, the process mining technique appears to have great potential to improve the management and maintenance of existing and future facilities. Here, the focus is on extracting knowledge of different information systems. This has the potential to enhance data tracking and sharing between different project members in a construction project in the AEC industry.

PART I: PROBLEM STATEMENT

PART II: THEORETICAL REVIEW

PART III: PRACTICAL IMPLEMENTATION

PART IV: CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

8. Conclusions and recommendations

This chapter summarizes the answers to the research question as described in section 1.4. First, the developed “proof of concept” (or prototype) is described while stating its societal and scientific relevance. Then, several design decisions will be highlighted which could be improved in the case this study would be reproduced in the future. Finally, several proposals will be suggested for additional studies in the context of further research or development initiatives.

8.1 Conclusions

As stated in the introduction of this thesis multiple persons work together in the processes within construction projects. The information they see and the decisions they make are limited to their specific role in the process. Each person is aware of the part they are involved in, but they have a limited view on the upstream and downstream processes. By means of this limited view on these processes (e.g. the modeling process), project members do not know what could be improved in the processes. In addition, different persons within construction projects often make decisions based upon experience and intuition rather than known facts.

Furthermore, the issue of managing design changes using BIM has not received as much attention in literature. Creating a BIM process depends on the current software available, but at the moment the tracking of changes during the evolution of the design is not included. As a result, monitoring methods depend on hand written notes. In theory, this could be solved by applying process mining techniques to record existing facilities. Process mining could be used to discover bottlenecks in the design process. Therefore, the research question during this project was:

*“In which way could process mining be used to discover bottlenecks
during BIM design activities of construction projects?”*

A bottleneck is in projects and processes a critical point where inefficiencies often create delays and higher production costs. A process could be improved and accelerated if the bottleneck is being solved.

In order to solve the research question, a proof of concept was developed enabling people in the AEC domain to utilize history data during the design process with the use of a BIM model. The goal of developing this tool is to discover bottlenecks and create awareness of the actions of different design disciplines. The proof of concept allows to visualize the BIM model with the associated history design data. Thereby, the history design data is generated by means of a Revit add-in whereby the design activities from a user are logged and retrieved. In this study, 5 datasets were retrieved from 5 different users. The history data from these users was filtered by means of a rule-set allowing the application of a process mining analysis, so that for example process models could be made. In this way, the design process and potential design bottlenecks could be viewed.

Finally, the modifications in the whole BIM model and the history of modifications per element were visualized within the developed proof of concept by means of a rule-set. A RGB (Red-Green-Blue) color code is used to view the (most, moderate and least) modified elements of the BIM model.

By using the designed proof of concept and the retrieved datasets different conclusions were drawn:

1. First, the visualization of the element modifications in the five datasets (appendix VI) showed that there is a large diversity in amount of modifications on elements. However, the average of all modifications per element per floor level showed that the interior walls were most modified (18 times).

2. In addition, for two floor levels (out of three) ‘adding interior walls’ took the longest time (dark red in process models) when comparing all users activities per floor level. Hence, in this example, one could conclude that ‘adding the interior walls’ is an obstacle in time in the modelling process.
3. When comparing the process models (created of every floor level) of one user there is always a part of the process which is repeated at every level.
4. Also, it appears that for most users often the following order occurs: added interior walls – added doors – added windows.
5. Furthermore, for most users the ground floor level process took the longest time (32 minutes) and the second floor level the least (6 minutes). In this way, the second floor level process is on average the most efficient modeling process (based on solely time duration).

The specific experiment in this research has several precise conclusions mentioned above. Based on this experiment it becomes clear that process mining could be effectively applied to map all design actions and interactions between design disciplines in the BIM model. This map could be used to analyze bottlenecks in the design process. But analysis can also reveal more, such as finding patterns in the processes, when and what is modified/ done by which person and the time spent on the activities. As a result, the intermediate steps within the design process become insightful instead of only the end products.

8.2 Recommendations for future work

This thesis provides a proof of concept for a tracking and transformation mechanism combined with a 3D viewer based on IFC, a modification history representation and process models visualization. The prototype has yielded an easy to use and open way of accessing (design) data in a model. But aside from these benefits, the proof of concept has its practical limitations.

Firstly, the developed tracking-tool (Revit add-in) will slow down the normal design operations when using large BIM models. Because of this, a limited pilot case was created for this research. The case consists of specific requirements for the requested model to get smaller BIM models back. Future research is recommended into improving the performance of the add-in it in much larger, real-life projects.

Secondly, within the transformation process several rules were set which, within the scope of the research, only looked at specific model elements namely walls, doors, floors, windows, columns, stairs and roofs. Future research could expand these rules and the filtering on model elements. There are a few limitations within the created rule-sets namely the filtering on specific elements, the color ranges and the threshold. The filtering on specific elements was done due to the limitations of this research to get less complex data. In this way, the research was done on a smaller scale, but this can always be expanded. Furthermore, the color range was chosen in this way (section 7.6.3) because the number of modifications in the retrieved datasets was rather limited. This is because the pilot case was too small. The history log files did not contain sufficient modifications allowing the elements to be colored in every available color on every floor. Therefore, the maximum amount of modifications of an element in the total model was used, instead of per floor. But it could be that the user (of the visualization tool) does not agree with the created color range. A way of dealing with this is to let the user set his own ranges. Hence, the user could set his own level of importance for the modifications.

Thirdly, further research into the factors that makes an process efficient is recommended, because the assumption is made that the shortest process is the most efficient. Hereby, only the time aspect was included in this research. The GOTIK (Dutch: Geld, Organisatie, Tijd, Informatie,

Kwaliteit – English: Money, Organization, Time, Information, Quality) aspects are recommended for further investigation. For example to examine if the order of the activities in a process yields a good result.

Furthermore, further research into tracking relevant design information in other software than Revit could be an added value for the non-Revit users. Hereby, the basic methodology developed in this study for getting the history log could be used. The design software needs to offer the functionality to export the model(s) to IFC, because in this study IFC was used for the visualization. The visualization tool is now able to assist users by visualizing the BIM model and the design history log. However, there is lack of exporting history design data. Better methods and/or tools could be researched.

Additionally, possible consequences of design modifications could be added to the prototype in this study. For example, the impact of changes on costs or schedule could be identified. This makes it possible to understand what positive or negative influences the design modifications have on the building design process. Also, the design modifications could be used to view which object types were modified most and in which phase in the project most modifications occur. Thereby, which disciplines interact most could be concluded when integrating the (tracked) activities from all disciplines.

Thereafter, this research focuses on the design phase within construction projects but the combination of tracking facts in daily processes and process mining could also be used in the other phases in the life cycle of a construction project. In this way, for example a development process could be analyzed in the as-required, as-designed, as-is and as-maintained phases. Based on this, improvements can be made to the process.

Finally, when looking at recommendations for future developments within the company Neanex, research upon extending or integrating the developed proof of concept in BIM or SE tools could be an added value. One way, is to integrate the add-in for tracking design activities in the developed IBIM connector by Neanex or to link the history log data to Relatics by means of the IBIM connector. The visualization tool could also be integrated within Relatics. For example a visualization of the 3D model could be shown with the specific element which is selected in Relatics. The element in de (total) 3D model could be viewed with the design history data of that specific element. In this way, a clear up-to-date design history overview could be created for all elements within the project.

References

- Aalst, W. v., Leemans, S., & Eck, M. v. (2015). *PM2: A Process Mining Project Methodology*.
- AIIM. (2015). *What is Document Management (DMS)?* Retrieved from <http://www.aiim.org/What-Is-Document-Imaging#>
- Ailenei, I., Rozinat, A., Eckert, A., & Aalst, W. v. (2012). *Definition and Validation of Process Mining Use Cases*.
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*.
- Berlo, L. v., & et al. (2012). *BIM quickscan: benchmark of BIM performance in the Netherlands*.
- Bharathan, K., Poe, G., & Bahill, A. (1995). Object Oriented Systems Engineering. *IEEE*, 69-76.
- Bilala, M., Oyedelea, L., & et al. (2016). *Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends*. Elsevier.
- BNA, & NLIngenieurs. (2014). *Standaardtaakbeschrijving DNR-STB*.
- Browning, T. (2001). Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions. *IEE Transactions on Engineering Management* 3, 292-307.
- BuildingSMART. (n.d.). *Ifc Overview*. Retrieved from <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview>
- Chacon, S., & Straub, B. (2014). *Pro GIT*. Mairdumont GmbH & Co.
- Christiansson, P., Svidt, K., & Sorensen, K. (2009). Future Integrated Design Environments. *Journal of Information Technology in Construction* 14, 445-461.
- Christiansson, P., Svidt, K., Pedersen, K., & Dybro, U. (2011). User participation in the building process. *Journal of Information Technology in Construction* 16, 309-336.
- CRC, C. (2007). *Adopting BIM for Facilities Management: Solutions for Managing the Sydney Opera House*. Cooperative Research Center for Construction Innovation.
- Crow, M., & Kydd, S. (2001). Agents and Suggestions in a Web-based Dynamic Workflow Model. *Automation in Construction* 10, 639-643.
- Dankers, M., Geel, F. v., & Segers, N. (2014). A web-platform for linking IFC to external information during the entire lifecycle of a building. *Elsevier*.
- Darwin, D. (2016). *Business Process Management*. Retrieved from PIT Solutions: <https://www.pitsolutions.ch/blog/business-process-management/>
- Department of Defense. (2001). *Systems Engineering Fundamentals*. Defense Acquisition University Press.
- DSDM Consortium. (2008). Enabling Business Agility. *Framework*, 1-289.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook*. Wiley.
- Eck, E. v. (2017). *Systems Engineering en BIM vullen elkaar aan*. Retrieved from BIM Advies: <http://www.bimadvies.com/bim/systems-engineering-en-bim-vullen-elkaar-aan/>

- Eldin Adam Hamza, S. (2009). Monitoring and controlling design process using control charts and process sigma. *Business Process Management Journal*, 358-370.
- Forbes, H., & Ahmed, S. (2011). Modern Construction – Lean Project Delivery and Integrated Practices. *CRC Press*.
- Gidado, K. (1996). Project complexity: The focal point of construction production planning. *Construction Management and Economics* 14, 213-225.
- Hardin, B. (2009). *BIM and Construction Management Proven tools, methods, and workflows*. Wiley Publishing Inc.
- Hardin, B., & McCool, D. (2015). *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*. John Wiley & Sons Inc.
- House, S. (2015). *Building Information Modeling: How the construction industry is getting 'smart'*. Retrieved from Popular science: <http://www.popsci.com/building-information-modeling-how-construction-industry-getting-smart>
- Hull, E., Jackson, K., & Dick, J. (2005). *Requirements Engineering*. Springer.
- International Council on Systems Engineering. (2015). *Systems engineering handbook : a guide for system life cycle processes and activities : version 4.0*.
- Isaac, S., & Navon, R. (2008). Feasibility study of an automated tool for identifying the implications of changes in construction projects. . *Journal of Construction Engineering and Management* 134, 139-145.
- JBKnowledge. (2015). The 4th Annual Construction Technology Report. *Construction Technology Surveys*.
- Kossiakoff, A., Seymour, S., & Biemer, S. (2011). *Systems Engineering Principles and Practice*. John Wiley & Sons.
- Lamers, M., & Walta, H. (2005). *Systems Engineering bevordert kwaliteit ontwerpproces*. Retrieved from Cobouw: <https://www.cobouw.nl/bouwbreed/nieuws/2005/11/systems-engineering-bevordert-kwaliteit-ontwerpproces-eisen-niet-alleen-nodig-om-te-kunnen-beginnen-de-ontwikkeling-van-de-toepassing-van-se-10164439>
- Lester, A. (2014). *Project Management, Planning, and Control*. Elsevier.
- NEN. (2008). *ISO/IEC 15288:2008*. Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.
- Netten, J. v. (2005). *Handreiking Functioneel Specificeren*. Utrecht: Expertise Centrum.
- Odoo. (2011). *Integrated Document Management*. Retrieved from https://doc.odoo.com/6.1/book/7/7_19_Documents/
- Ozkaya, I., & Akin, O. (2006). Requirement-driven design: assistance for information traceability in design computing. *Design Studies* 27, 381-398.
- Ozkaya, I., & Akin, O. (2007). Tool support for computer-aided requirement traceability in architectural design: The case of DesignTrack. *Automation in Construction* 16, 674-684.
- Peng, W., Liew, P., & Rosenblatt, J. (2003). *Using Data Mining Techniques for Improving Building Life Cycle*.

- Piaszczyk, C. (2011). Model Based Systems Engineering with Department of Defense Architectural Framework. *Systems Engineering Vol. 14*, 305-326.
- Rijkswaterstaat. (2015). *Procesbeschrijving systems engineering voor RWS projecten*.
- Schaijk, S. v. (2016). *BIM based process mining*. Eindhoven.
- Schaijk, S. v., & Berlo, L. v. (2016). *Introducing process mining for AECFM: three experimental case studies*.
- Sepulveda, M., Rojas, E., Munoz-Gama, J., Capurro, D., Traver, V., & Fernandez-Llatas, F. (2017). Question-Driven Methodology for Analyzing Emergency Room Processes Using Process Mining. *applied sciences*.
- Shen, W., Shen, Q., & Sun, Q. (2011). Building Information Modeling-based user activity simulation and evaluation method for improving designer–user communications. *Automation in Construction*.
- Straatman, J., Pel, W., & Hendriks, H. (2012). *Aan de slag met BIM; gewoon doen! Handreiking Virtueel Bouwen*. Zoetermeer: Stichting Research Rationalisatie Bouw.
- Underwood, J., & Isikdag, U. (2009). *Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies*. Hershey: IGI Global.
- Using IfcOpenShell and pythonOCC*. (n.d.). Retrieved from <http://ifcopenshell.org/pythonOCC/example1/>
- Uz Tansel, A., & Koc, A. (2011). *A Survey of Version Control Systems*.
- van der Aalst, W. (2011). *Process mining Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Eindhoven: Springer.
- van der Aalst, W. (2013). *Process Mining in the Large: A Tutorial*.
- Vanderfeesten, I. (2004). *Design workflow systems*. Eindhoven.
- visual-paradigm. (2011). *Business Process & Document Management with Version Control*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=zSljHcUYZEk>
- Wamelink, J., Stoffele, M., & Aalst, W. v. (2002). *Workflowmanagement in construction*.
- Werkgroep Leidraad SE. (2013). *Leidraad voor Systems Engineering binnen de GWW-sector*.
- Weske, M., Aalst, W. v., & Hofstede, A. t. (2003). *Business Process Management: A Survey*. Berlin: Springer.

Appendix I: Interview questions and expert interviews (Dutch)

Interview questions (Dutch)

Naam:

Bedrijf:

Functie:

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?
2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?
3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?
4. Wordt er een BIM execution plan of zoiets gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?
5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?
6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?
7. In welk subproces komen veel fouten of knelpunten in de ontwerpfas voor?
8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?
9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?
10. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?
11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?
12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?
13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?
14. Wijzigingenproces; Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Workflow/Gelogd/ tools)
15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?
16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?
17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?
18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?
19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?
20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?
21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

Common Data Environments

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?
23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?
24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?
25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

Process mining/ geschiedenis data

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?
27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?
28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

Interview Bimplan

Naam: Jan van Sichem

Bedrijf: Bimplan

Functie: BIM consultant

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Implementeren in organisatie bedrijfsprocessen van BIM, modelleren in Revit (modellen opbouwen) in opdracht van verschillende klanten (zoals architecten, opdrachtgevers etc.) vaak op bouwplaatsen (BIM manager met modelleur), informatiestromen in kaart brengen. Ook bekijken waar communicatiestoornissen zijn en hoe deze aan te pakken. Elk bedrijf heeft andere processen en er is geen standaard van implementatie van BIM. De start is altijd inventarisatie van de bedrijfsprocessen en de taken per persoon worden beschreven hoe het traditioneel was en hoe het in de BIM samenwerking zal gaan.

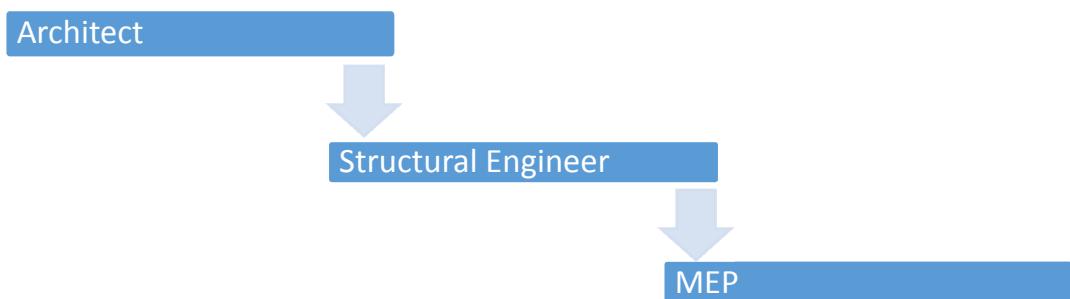
2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

Het samenwerkingen op een efficiënte manier door niet informatie over de 'muur' heen te gooien naar de andere partij. Elke organisatie is totaal anders georganiseerd dus wij werken ad hoc en analyseren elke organisatie opnieuw. Er zijn wel standaard vragenlijsten, maar er moet steeds opnieuw bekeken worden waar de problemen zitten in de organisatie en de rollen herdefiniëren en activiteiten eraan koppelen. Goede afspraken samen overeen komen en de betekenissen afstemmen is erg belangrijk in de samenwerking.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

BIM: Vraagspecificatie > PvE > VO > SO > DO > technische ontwerpfase > uitvoering

Daarin de volgende stakeholders werken steeds achter elkaar met iets overlap:



Bij elke ontwerpfase werkt de architect en structural engineer en MEP redelijk achter elkaar. De MEP komt op het laatst steeds omdat dit veel kosten met zich mee brengt en het is dus belangrijk dat er niet veel wijzigingen plaatsvinden (dit is op het einde in mindere mate). Maar het geeft ook tijdsdruk omdat MEP er zo laat bij komt en tegen een deadline aan zit.

4. Wat is het vooropgestelde proces model of document(en) die over het verloop van het ontwerpproces gaan?

Het document 'BIM protocol' wordt gebruikt waarin afspraken staan en wie welke functie heeft. Ook de verwachtingen van elkaar zijn belangrijk om mee te nemen. Elk sub proces staat gedetailleerd beschreven in een apart document (o.a. technisch beschrijvingen).

5. Hoe bepaalt u de huidige efficiëntie van het ontwerpproces?

Bereidwilligheid om te veranderen van traditioneel naar BIM samenwerking van de stakeholders is erg belangrijk. De BIM procesmanager heeft de toezicht aan hier moeten de stakeholders ook naar luisteren. Hij houdt bij of het proces verloopt zoals het moet en houdt

de planning aan. Hij heeft contact met de projectmanager over bijvoorbeeld de kwaliteitscontroles.

6. Waar zitten verschillen in het vooropgestelde proces model en hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

- Competentie: clashcontroles worden door de BIM coördinator uitgevoerd. Er zijn meestal erg veel clashes maar er moet geen informatie overload op mensen afkomen. Er moet gefilterd worden op belangrijkheid. Het issuemanagement moet handelbaar zijn.
- Te laat dat MEP bij het proces meedoet, omdat het erg arbeidsintensief is om zo'n model te produceren. Daardoor kan de coördinatie niet tijdig gebeuren en op het laatste moet nog veel gecoördineerd worden.
- Veel kosten voor de architect door het meer uitwerken van de modellen, maar de aannemer heeft meer voordelen als de architect het goed heeft uitgevoerd. Dit kan naar de opdrachtgever een argument zijn dat het proces beter verloopt.

7. Hoe worden processen gemonitord en gemanaged?

Door de BIM procesmanager die toezicht heeft op het proces. Hij voert ook steekproefsgewijs controles uit op de kwaliteit van de modellen en hij stuurt de stakeholders bij.

8. In welk sub proces in de ontwerp fase is het minste/geen overzicht van de activiteiten in het proces en inzicht in hoe het proces verloopt?

Nogmaals de BIM manager houdt het overzicht. Er moet geanticipeerd worden op regelgeving bijvoorbeeld of eisen van de opdrachtgever. De deadline blijft staan, maar er moet mee omgegaan worden. Het probleem is meer over-documentatie dus teveel staat in verschillende documenten vastgelegd. De vergaderverslagen zijn wel het belangrijkst en kan gezien worden waar in het proces op een bepaald moment bevindt. Dit is de rode draad in het proces. Daarnaast is het meer nodig om het notuleren steeds op een consistente manier te doen om efficiënte data op te leveren. Ook bijvoorbeeld de BIM protocollen worden steeds aangepast en moeten goed overeen gekomen worden.

9. Waar komen veel fouten of knelpunten in de ontwerpfase voor?

In de aanbestedingsfase het meest want hier is de LOD het hoogst en moeten de architect, structural engineer en MEP veel overeenstemmen.

10. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

Ja, door vroegere deelnemen van MEP in het proces maar hiervoor moeten dan meer kosten gemaakt worden. Daarnaast kan het ontwerpproces verbeterd worden door procesmatig te bekijken naar de communicatiestoornissen.

11. Wat zou er handig/nodig zijn om het proces overzichtelijker te maken?

Volgens mij niet want de BIM procesmanager heeft het overzicht en houdt alles bij en de ontwerp planning is altijd leidend.

12. Hoe wordt de planning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

Dit doet de BIM procesmanager en hij stuurt inderdaad de stakeholders volgens de planning aan.

13. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten?

- De architect inventariseert het PvE,
- Er wordt rekening gehouden met ontwerp invloeden en het programma,

- Schetsen/ontwerpen, toetsen (o.a. of het aan de eisen voldoet) en aanpassen gebeurt steeds,
- Goedkeuring vindt steeds plaats na het aanpassen
- Een fout wat vaak wordt gemaakt is het overslaan van het toetsen omdat wordt gedacht dat het toch wel goed gaat. Alleen hierdoor worden de fouten naar het einde opgestapeld.
- Ook is er tussen stakeholders coördinatie meetings maar modelleurs moeten hierbij betrokken worden omdat zij de wijzigingen toe gaan passen.
- Verslagen worden niet altijd gelezen nadat ze zijn genotuleerd omdat er soms geen belang voor is. Maar het is nodig dat iedereen hetzelfde denkt over verschillende punten.

14. Welke verbeteringen heeft u opgemerkt die nodig zijn in de fase van de clash detectie?

Clash detectie is wel een klein deel om op te focussen. Zoals eerder gezegd zijn de hoeveelheid clashes belangrijk zodat dit niet teveel wordt voor personen die deze aan moeten pakken. Een filtering moet plaatsvinden op de belangrijke clashes.

15. Welke objecten hebben de meeste problemen/clashes met elkaar?

Sparingen in wanden (wandopeningen). Hierbij verloopt de communicatie meestal niet goed.

16. En tussen welke stakeholders komen vaak problemen voor?

Architect, structural engineer en MEP.

17. Is er van dit proces een vooropgesteld proces model?

Ja, maar op hoger niveau. Van deze processen zijn weer documenten die meer de details uitleggen van dat proces.

18. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics of Sharepoint, en zo ja welke?

Chappo en Revit server en BIM 360 maar de security is lastiger hierbij. Dus de rechten die iedereen heeft bijvoorbeeld.

19. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

Veelal voor documenten uitwisseling en niet de eisen opstellen want hierin ziet de markt nog niet de meerwaarde en Relatics is nog te complex en te weinig gebruiksvriendelijk. Eerder wordt Revit gebruikt om hier te integreren welke ruimtes hebben we nodig en hoe groot moeten die zijn etc.

20. U heeft ook project meegeemaakt die deze omgevingen niet gebruikt. Wat is de meerwaarde van de omgevingen?

Handig voor evaluaties wanneer processen meer gestroomlijnd moeten worden. De traceerbaarheid van informatie en beslissingen om terug te vinden is ook een meerwaarde en een stuk efficiënter dan het traditionele proces.

Voor toekomstige meerwaarde van Relatics ons willen we bijvoorbeeld dat alle maatvoeringen en informatie vanuit de objecten van de modellen in Relatics komen te staan en dat iedereen hierin inzicht heeft.

21. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Nee.

22. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

Alleen door middel van evaluaties na een project wordt er persoonlijk geleerd wat de fouten zijn die worden gemaakt of dingen die anders kunnen.

23. Welke voordelen zijn daaruit gekomen of denkt u die er kunnen ontstaan?

Zie 22.

24. Bent u bekend met Business Process Reengineering of kortweg BPR? Zo ja, wat heeft u hierin al eens gedaan, hoe en wat was het resultaat?

Nee, maar het lijkt dus op wat wij doen. De bedrijfsprocessen analyseren en verbeteren door middel van het toepassen van BIM en bekijken waar verhinderingen op te lossen zijn.

Overige tips:

- Belangrijker is de contractvorm dan het type project.

Interview BESIX Brussel

Naam: Johannes Anrijs

Bedrijf: BESIX

Functie: BIM manager

Activiteiten bij Hogeschool Utrecht:

Proces vastleggen via BIM execution plan, tijdens het ontwerp ook BIM coördinator zoals clashtesten uitvoeren en vanuit de ervaring van vorig project (Velsertunnel) waar Systems Engineering (SE) is toegepast communiceren, processen bewaken, adviseren op het gebied van SE.

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Een grote aannemer die veel werkt met DBFM contracten en focust op complexe projecten in infrastructuur en utiliteit waarbij begin tot einde het proces wordt doorlopen.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

Door BIM maak je een 3D visueel beeld zichtbaar en samen met Systems Engineering is het zeker de toekomst voor de bouw in digitaal samengewerkt kan worden. Het is niet zo dat door BIM een project succesvol wordt want het blijft een tool voor het proces en het belangrijkste is dat het erg afhankelijk is van de personen in het project die open moeten staan om goed samen te werken en afspraken te maken en tools te gebruiken. Het moet wel werkbaar blijven en het is nog constant in ontwikkeling. Sinds 2010 werkt BESIX met BIM en dit helpt de processen te ondersteunen.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

Overall is natuurlijk PvE > VO > SO > DO en globaal bestaat het uit een multidisciplinair proces met de architect die start en wie welke input van elkaar nodig heeft. Al de afspraken die gemaakt worden moeten gecontroleerd worden (clash detectie proces). Daarna is er nog een finale review en verificatie en goedkeuring door de klant.

In het begin van het project is het belangrijk dat je per fase bekijkt wat je gaat ontwerpen en op welk niveau.

4. In welk sub proces werk jij bij Hogeschool Utrecht?

In fasen vanaf de start tot begin uitvoeringsontwerp. Vanaf begin UO heb ik de taak overgegeven naar meer een werkvoorbereider in de uitvoering die meer een technische achtergrond heeft dan procesmatig.

5. Wat is het vooropgestelde proces model (activiteiten schema's) of document(en) die over het verloop van het ontwerpproces gaan?

In principe wordt er in het begin een documentenlijst opgesteld en daarna wordt gekeken welke activiteiten moeten daarvoor uitgevoerd worden en wanneer moeten deze ingeplant worden. Wat er bij Hogeschool Utrecht wel gedaan werd is welke input is nodig van voorgaande activiteiten voor en wat zijn de eisen en de eisen zijn gekoppeld aan een object. Een leer voor een volgend project is om niet te kijken met deze activiteiten gaan we die eisen afvinken, maar de documenten die in voorgaande fasen zijn gemaakt meegaan in de volgende fase.

6. Wordt er een BIM execution plan (BEP) of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Ja, bij BEP ga je eerst de doelen vastleggen en niet de workflows vastleggen en later wanneer het meer aan de orde was werden meer de afzonderlijke documenten opgesteld. Het was dus niet compleet op voorhand vastgelegd, maar er werden wel een soort procedure documenten aangemaakt wanneer eenmaal het effectieve proces aan de gang ging.

Van te voren wordt dus in BEP meer opgeschreven op welke manier het getracht te gaan doen. En wanneer echt de ontwerfase begon, werd meer een stappenplan met wat te gaan doen opgesteld.

7. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

Het wordt wel vergeleken, of de stappen gevuld zijn maar bijvoorbeeld prestatie indexen meten werd bijvoorbeeld niet gedaan. De coördinatie wordt wel gedaan door de BIM manager of iedereen zijn zaken op tijd aanlevert maar er zijn automatische indicatoren die afgaan wanneer het mis loopt. Het is altijd een interpretatie.

8. Hoe bepaalt u de huidige efficiëntie van het ontwerpproces?

Steekproefsgewijs en menselijk wordt door de BIM manager vergeleken of het proces ongeveer verloopt zoals de planning. De planning is de belangrijkste factor waarop je meet omdat dit het project drijft en daardoor wordt er te weinig gekeken naar de kwaliteit en kwantiteit.

Daarnaast kunnen wel lessons learned uit clash detecties komen zoals meer de focus op werkpakketten dan op eisen. Uiteindelijk als de discipline op tijd levert wat afgesproken is dan is dat meestal wel efficiënt. Op de juiste tijd de juiste informatie verkrijgen is efficiënt.

9. Hoe worden processen gemonitord en gemanaged?

BIM maakt eigenlijk de voortgang visueel. De klant wil altijd wel visueel zien hoe het project in elkaar zit. De BIM controleert effectief (geometrisch) je proces.

Via de systems engineering omgeving wordt verder alle informatie die erbij hoort bijgehouden. Maar hierbij wordt er dan vaak de eisen afgevinkt maar dit is niet altijd de goede strategie.

10. In welk sub proces in de ontwerp fase is het minste/geen overzicht van de activiteiten in het proces en inzicht in hoe het proces verloopt?

De integraal manager heeft wel een overkoepelend overzicht over wie waar tussen staat met zijn activiteiten en de BIM manager stuurt de verschillende partijen aan volgens planning. Maar als deze persoon onervaren is dan kan er proces ook mislopen.

In de DO fase want daarin werkt iedereen op zichzelf en zijn er meer details dan in voorgaande fases. En daarin bevinden zich de meeste partijen en is meestal het team compleet. Hoe de juist informatie bij de uitvoeringsfase komt is ook een belangrijk punt.

11. Waar komen veel fouten of knelpunten in de ontwerfase voor?

Het punt waarbij je niet de juiste informatie krijgt van de andere partij.

12. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

Bij bouwprojecten zijn er zoveel meer objecten dan bij infrastructuur projecten en dit is veel complexer. Het is belangrijker welke input voor een activiteit nodig is en welke output geleverd wordt, want daar is vaak geen overzicht van en de focus ligt meer op opleveren van documenten. In het integraal afstemmen van activiteiten is nog wel een slag te slaan, dus het goed van te voren afspreken over in- en output. En het standaardiseren van processen maar dit is meestal lastig omdat in elk project nieuwe partijen samenwerken.

13. Wat zou er handig/nodig zijn om het proces overzichtelijker te maken?

Door van te voren in kaart te brengen en overeen te komen wie welke activiteiten uitvoert en wat levert en personen aanwijzen die alleen bezig zijn met het proces en effectief met iedereen contact houdt en ervaring kan gebruiken in de praktijk. Door visueel te maken waar iemand staat is het proces is zeker handig, maar er zit wel een betrouwbaarheidscomponent in omdat iemand zich aan zijn afspraken moet houden en de waarheid aangeeft.

14. Hoe wordt de planning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

Er worden milestones gezet voor het project en enkel de fases vastlegt. En aan de hand van BIM wordt kijk je bijvoorbeeld in de eerste twee weken wil je alleen de eerste twee verdiepingen bekijken. Hiermee probeer ik te zeggen dat iedereen wel op tijd aan bepaalde zones werkt binnen de fases en de sequentie houdt voor de clashcontrole. Dit wordt opgesteld in een planning door de integraal ontwerpleider.

15. Welke software wordt voor de planning gebruikt?

Microsoft Project.

16. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?

Er wordt door de BIM manager bijgehouden of het volgens planning verloopt, maar het is niet zo dat voor elk detail steeds gekeken wordt is dit nu op tijd opgeleverd. Er wordt meer gekeken naar de uiteindelijke oplever datums. Er moet eigenlijk meer gekeken worden naar welke input heb je nodig voor een activiteit en levert een bepaalde output.

17. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten?

Ik heb daar te weinig ervaring mee, omdat ik maar twee projecten gedaan heb en dan is ook nog eens een infrastructuur en een bouwproject. Dus hierin kan ik niet erg vergelijken.

18. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

PAS 1992, de Engelse BIM norm wat beschrijft wat in de BEP moet komen. Voor de processen die worden goedgekeurd moet je een ISO certificaat behalen, maar of je hier uiteindelijk aan hebt gehouden worden niet bekijken. Het zijn allemaal leidraden die je helpen bij het proces invullen wat toepasbaar is op het project.

19. En tussen welke stakeholders komen vaak problemen voor?

De eindgebruikers en de klant omdat zij aan het einde toch nog veranderingen willen. In het ontwerpteam zitten veel kleine conflicten.

20. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

Tijdens het ontwerp, werd op het einde van elke ontwerpfase een IFC file gemaakt inderdaad. Met een exporter van Revit, waarin je een bepaald export bestand kan inlezen. Het kost evenwel teveel tijd bij grote modellen, om het iedere week te doen. Dus werd tussendoor voornamelijk met de native extension gewerkt (aangezien alle partijen tijdens ontwerp met Revit werkten), of natuurlijk de NWC en NWD files.

Common Data Environments**21. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?**

Ja Relatics en document management systeem zoals Sharepoint en soms Chapoo. Voor Relatics vaak op een server.

22. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

Op basis van documenten is Sharepoint.

23. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

Relatics voor alle inhoudelijk informatie en Sharepoint voor delen van documenten.

24. Wat vindt u de meerwaarde van de Relatics omgeving?

Actiemanagement met bijvoorbeeld vergaderingen en de daaruit volgende acties en alle eisen overzichtelijk hebt en ze effectief gaat afvinken. Ook dat alle informatie aan elkaar gelinkt is en relaties zijn. Voor grote projecten is het helaas nog te gebruiksvriendelijk doordat er zoveel documenten zijn die je moet delen en wordt Relatics traag. Iedereen spreekt wel 1 taal door het gebruik van Relatics.

25. Hoe is Relatics ingedeeld: hoe is een eis aan een ruimte (objecten) gelinkt en hoe de status of het ontwerp voldoet aan de eis?

Functies hebben bepaalde eisen en functies kunnen vervuld worden door systemen of door ruimtetypes. Liever ruimtetypes dan objecten omdat objecten ook systemen kunnen zijn. Een eis is ook gekoppeld aan een ruimtetype en een systeem dus die ruimte moet aan een eis voldoen en die eis heeft betrekking op mijn systeem. Door verificatie wordt nagegaan of een ruimte voldoet aan een eis.

26. Hoe wordt dit bijgehouden? (verificatie?)

Dit wordt in Relatics handmatig met verificaties bijgehouden in elke fase. De verificaties worden alleen aan het einde van elke fase alle eisen opnieuw gecontroleerd. Er kunnen nog wel eisen optreden die problemen opleveren maar om dit eerder in het proces aan te pakken moet door alle eisen gegaan worden en dit kost veel tijd. Het is beter om te kijken naar een hoger niveau bijvoorbeeld of per verdieping de activiteiten die betrekking hebben op een activiteit gaan volgens planning. Het moet wel werkbaar blijven.

27. Hoe wordt gecheckt of een ruimte bijvoorbeeld voldoet aan de m2 (eis)?

Dit gebeurd handmatig aan het einde van elke fase door verificatie.

Process mining/ geschiedenis data**28. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?**

Nee.

29. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

Nee en dit is wel interessant alleen ik zou me wel richten op het WBS en de activiteiten. Want normaal wordt er een objectenboom gemaakt en de eisen daarbij verifiëren.

30. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

Bij gebouwen zou wel een standaard in te krijgen op een grof niveau in activiteiten. Dat je kunt meten of je activiteiten op tijd gaan per fase. En bijvoorbeeld kunt concluderen tussen welke activiteiten vaak fout gaat. Focus niet bijvoorbeeld op het clashdetectie proces want dit is juist project specifiek en misschien kan je wel uiteindelijk concluderen tussen welke objecten de meeste clashes voorkomen.

Interview Hendriks Bouwbedrijf

Naam: Joost van de Koppel
Bedrijf: Hendriks Bouwbedrijf
Functie: Informatiemanager

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Hendriks Bouw bestaat uit een aantal takken en ik zit in de Hendriks bouw en ontwikkeling. De vier takken zijn; Hendriks projectontwikkeling, Hendriks bouwbedrijf, Schrijvers technische installaties (STI), Hendriks onderhoud en beheer. Wij kunnen dus van begin tot eind van een project begeleiden. Van oudsher is het een woningbouwbedrijf in regio Den Bosch, maar tegenwoordig ook meer Utilitaire werken en ook wel woon-zorgcomplexen.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

Ik ben verantwoordelijk voor BIM in het bedrijf en Hendriks in al sinds 2009 bezig met BIM. Vanuit het bouwbedrijf doen we alle werken met BIM. BIM draait bij ons om informatiemanagement en wij zijn bezig met wie, wanneer, waarom en welke informatie nodig heeft over de fases heen, zodat we dit in het model kunnen stoppen en er ook weer uit kunnen halen. Dit is waarom BIM om draait, dat je bijvoorbeeld weet wat je over 4 maanden nodig hebt, zodat je daar nu al rekening mee kunt houden en daar helpt een 3D bij maar daar draait het niet om. Een 2D tekening kan ook in verschillende gevallen genoeg informatie leveren.

In onze projecten focussen we nu met BIM meer op de engineering en werkvoorbereidingsfasen, maar ook redelijk in de uitvoering alleen ligt het er erg aan welke uitvoerder op het werk zit. In de werkvoorbereiding is BIM het meest in de processen geïntegreerd en we sturen onderaannemers zoveel mogelijk aan vanuit modellen. En communiceren en controleren door middel van modellen. Daarnaast in de DO fase zijn we juist bezig om uiteindelijk te beginnen met BIM vanaf DO, want nu gebeurd het na DO.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

De naamgeving omvat niet altijd hetzelfde, dus kijk meer naar de inhoud dan de namen. Wij hebben wel SO, VO, DO, bouw en gebruik. Er is een scheidingslijn na uitvoeringsontwerp. Dit is meer het oplevermoment van het virtuele gebouw, want hierna wordt niets meer gedaan aan het model en het is nu van voldoende detail om de onderaannemers aan te sturen. Belangrijke doelen van opleverdocumenten in de SO en VO fase zijn de raming en omgevingsvergunning.

We hebben een eigen ILS, de Hendriks BIMnorm, wat beschrijft van welk onderdeel aan welke informatie moet voldoen en welke uitgangspunten er gelden (level of information per onderdeel).

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Voorheen hadden wij een BIM protocol, maar daar staan product en procesafspraken door elkaar en in de praktijk wordt het eigenlijk niet gebruikt. Hendriks BIMnorm gebruiken we en daar staat in waaraan alles moet voldoen in welke fase en dit is aanvullend op de basis ILS. Om het proces te borgen hebben we een BIMplacemat en deze vullen we gezamenlijk in bij de kick-off van een project bij DO en UO. Hierop vullen we bepaalde werk afspraken in op 1 A3 en is handig te gebruiken in het proces en mag niet gewijzigd worden in de tussentijd.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

Nee, er wordt niet gekeken of het precies zo is gegaan zoals het moet gaan op de engineeringsplanning. Je ziet wel dat het bijna altijd wel langer duurt in de werkelijkheid. Daarnaast hebben we wel eens evaluaties over precies over wat ging er goed en wat fout.

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

Nee, want daar heb je KPI's voor nodig en ik heb alleen als een soort KPI de hoeveelheid clashes die er zijn ten opzichte van de kwaliteit van het model. Bijvoorbeeld als er nog erg veel clashes zijn en nog maar 2 weken tot de deadline, dan is dit niet goed. Dit wordt wel weer menselijk bijgehouden.

7. In welk subprocess komen veel fouten of knelpunten in de ontwerp fase voor?

Het clashen proces gebeurd vanaf de fase als we een model hebben en dit is meestal al DO fase. Voor grondgebonden woningen pas vanaf UO.

Het is niet zo dat is een bepaald proces bepaalde knelpunten veel voorkomen.

8. Is hierin behoefte om dit proces te verbeteren? En hoe?

Het is slim om in DO fase al op een hoger niveau te modelleren, waardoor je al meer fouten eruit kan halen. BIM helpt om de processen integraler in te delen, maar dit kan nog beter omdat nu vaak de punten tijd en geld belangrijker zijn, gebeurd het verdiepen in bepaalde aspecten niet of minder in eerder fases.

9. Hoe wordt gecheckt of het engineeringsproces volgens planning verloopt?

Er is een engineeringsplanning, maar hierop checken we niet speciaal of we volgens planning lopen. Alleen wordt er door het team bekeken of er bijvoorbeeld niet nog heel veel clashes open staan voor een korte periode. Het is moeilijker om op de engineeringsfase te sturen dan de uitvoeringsfase, omdat je niet vooraf kan definiëren op welke datum bijvoorbeeld bepaalde wanden gemodelleerd moeten zijn.

10. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Het is dus zo dat wij volgens de BIMplacemat het proces volgen met eerst bekijken of de modellen op zich kloppen (model check 1) en daarna of de modellen met elkaar kloppen (model check 2), en wij hebben nog specifieke eisen of daaraan wordt voldaan (model check 3). Dus door de kennis die we hebben opgedaan kunnen we zeggen dat dit gemiddeld 8 weken duurt, maar dit is weer menselijke benadering en wordt niet op basis van feiten bekeken.

De partijen die meestal problemen met elkaar ondervinden zijn de installateur met de andere disciplines. Eerst begint meestal de architect en daarna haakt de constructeur aan, alleen de installateur (MEP) die komen pas later in het proces. Maar het installatiegedeelte in een project wordt steeds groter dus dit levert vaak problemen op omdat hij in een te korte tijd veel moet uitwerken. Hij geeft wel vaker eerder in het proces aan waar hij ongeveer in het model ruimte nodig heeft.

11. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

De placemat is het stuurdocument voor het proces en we maken gebruik van een engineeringsplanning tijdens het proces.

12. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?

Alleen gedeeltelijk wordt dat gedaan aan de hand van evaluaties van het proces, maar dit wordt niet altijd formeel gedaan.

13. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Gelogd?/ tools)

In Solibri wordt wekelijks bijgehouden wie welke issues moet oplossen en deze smc bestanden worden met elkaar gedeeld op Google Drive, dus er kan wel worden teruggekeken in de aparte bestanden wanneer welke issues zijn opgelost want we bewaren alle oude modelchecks. Maar je moet wel zoeken door alle bestanden wanneer iets is gebeurd. Als een issue commentaar of uitleg behoefd dan zet de discipline dat er ook bij, maar het is niet zo dat een discipline aangeeft in zijn commentaar dat hij nu iets uitgevoerd heeft omdat hij een clash moet oplossen.

14. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Het zou handig zijn als je een check kan doen aan de hand van het PvE en alles wat afwijkt dan loggen. Ten opzichte van het bestek zou ook nuttig zijn, maar ook wat wij opmerken bij de clashes. Ik zou het interessant vinden om bijvoorbeeld te weten hoeveel clashes van welke aard zijn er in het project en waar gaat het vaak mis. Er is geen beeld over tussen welke objecten de meeste clashes voorkomen.

15. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Nee, alleen als er uitleg of opmerkingen nodig zijn bij bepaalde clashes/ issues.

16. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

Ja dit zou nuttig zijn, maar wel op bepaalde mate en het is nuttig om clashes te loggen. Want clashes zegt ook meer over de kwaliteit van het model.

17. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

In DO en UO fase want dan ben je echt aan het bimmen, want eerder wijzigt er erg veel.

18. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer

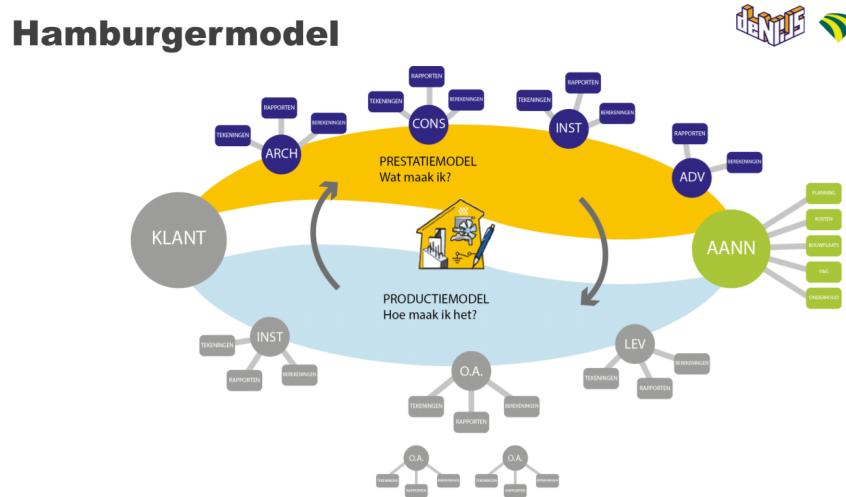
Wekelijks worden modellen uitgewisseld in IFC met ons, maar als de disciplines met elkaar met bepaalde format uit willen wisselen dan kan dat. Wij integreren de IFC modellen bij elkaar en maken wekelijks clashrapportages. Eerst gaan de architect en constructeur modelleren, dan uploaden ze hun modellen maar daarvoor moeten ze wel ook wekelijks hun kwaliteitscontrole uitvoeren (of het voldoet aan de ILS). De dag erna doen wij de modelcheck waar we Solibri voor gebruiken en delen we het smc bestand via Google Drive, waarin de clashen staan en wie wat op moet lossen voor de volgende week. Als je kijkt naar of er informatie verloren gaat met exporteren naar IFC is dit niet het geval, omdat het exporteren steeds beter gaat. Partijen gebruiken wel de alternatieve exporter waarbij je meer opties hebt, maar alle elementen worden aangevinkt waardoor je veel propertysets krijgt bij 1 object.

19. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

Bij complexe werken hebben we wel clashsessies, maar bij kleinere werken niet. Voor alle clashprocessen gebruiken we Solibri en daarin hebben we regels opgesteld per fase waaraan modellen moeten voldoen. Bij het openen van een IFC moet je aangeven in welke fase je zit en daardoor worden de regels bepaald waaraan het model wordt gecontroleerd.

Het ‘Hamburgermodel’ (zie onderstaand) wordt vaak gebruikt bij aannemers die bimmen. Bovenstaand van het model is SO, VO, DO, UO en onderstaand is realisatie en als aannemer zitten wij hiertussen. Bovenstaand wordt bekeken of de modellen op zich kloppen (model check 1) en daarna of de modellen met elkaar kloppen (model check 2), en wij hebben nog specifieke eisen of daaraan wordt voldaan (model check 3). Onderstaand in realisatie zijn de

eerste twee checks hetzelfde en als derde het leveranciersmodel ten opzichte van het ontwerp.



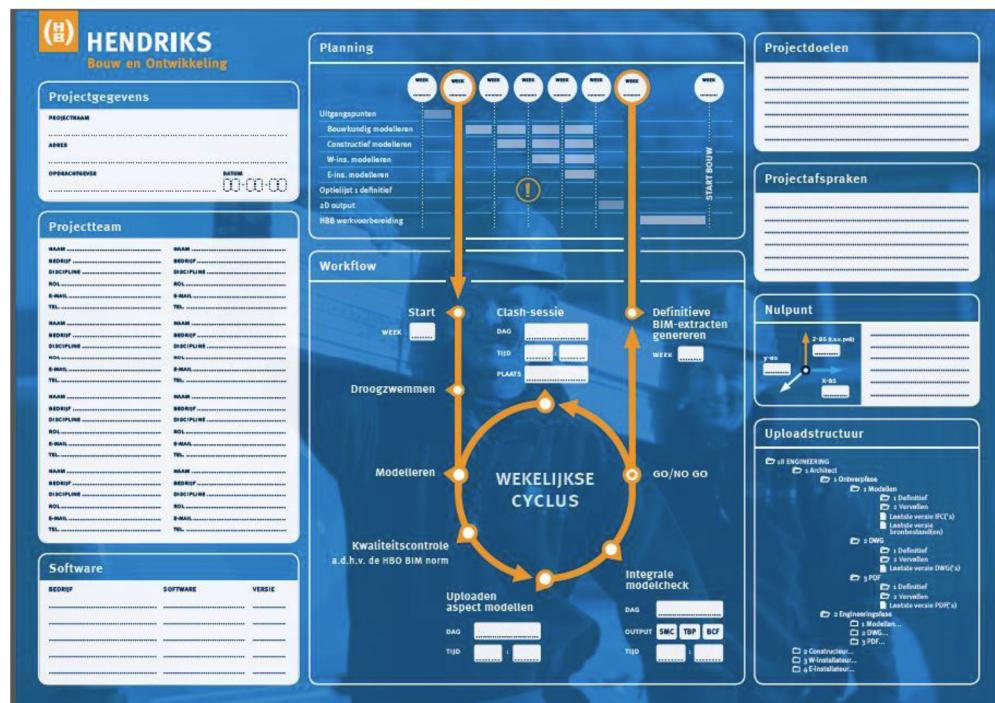
De communicatie wordt gedaan via Solibri en per discipline worden de openstaande punten bijgehouden. Het Solibri bestand wordt gedeeld op Google Drive en hierin staan de beschrijvingen en de personen die het moeten oplossen. De disciplines werken afzonderlijk van elkaar zijn/haar punten af. Het zou ook hadden gekund door een BCP bestand te maken en in te laden in Revit om precies te zien welke punten ze aan moeten passen. Een week later krijgen we de nieuwe modellen weer van elke discipline waarin ze hun punten hebben afgewerkt en wordt weer een nieuwe clashcontrole gedaan.

20. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

Nee, maar elk object heeft wel een eigen VO, DO, UO en niet elk object loopt met de fases gelijk aan elkaar. Sommige onderdelen hebben vaak in een model de status 'gereed voor uitvoering' en anderen nog niet. Het is interessant wanneer een object gereed is voor bouw of werkvoorbereiding en door tijdgebrek kunnen delen al eerder beginnen in de uitvoering.

21. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

Nee, wij gebruiken Google Drive voor het uitwisselen van documenten en omdat we dit gebruiken hebben we geen goed document management systeem. We hebben bijvoorbeeld geen automatisch versiemanagementsysteem en daarom moeten er duidelijke afspraken gemaakt worden over wie waar wat upload (dit staat op de BIMplacemat, zie figuur 1).



Figuur 1 Hendriks Bouw BIMplacemat

22. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

Dit is op basis van documenten.

31. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

-

23. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

Met Relatics kun je relaties creëren tussen de objecten en de eisen vanuit het PvE vastlegt en een stuk formaliseert.

24. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Ja nu globaal wel dat er gebruik gemaakt wordt van voorgaande projecten om daaruit te leren van de problemen die zich voor hebben gedaan bijvoorbeeld.

25. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

Nee, maar we zien wel dat dat de toekomst is en hoe we daar meer mee om kunnen gaan en meer richting kennismodellen kunnen gaan die de start vormen van een project en bij een project leer je van alles en zet je in het kennismodel.

26. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

Zie voorgaand antwoord.

Interview BAM Bouw en Techniek

Naam: Timothy Lievendag

Bedrijf: BAM Bouw en Techniek bv

Functie: BIM manager

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

BAM is actief in de twee business lines Bouw en vastgoed en Infra, en op het gebied van Publiekprivate samenwerking. BAM Bouw en Vastgoed heeft de activiteiten van BAM Bouw en Techniek, BAM Wonen en AM en ik werk onder Bouw en Techniek. Wij richten ons op commerciële en technische ontwikkeling, voorbereiding en realisatie van utiliteitsbouwwerken in Nederland en biedt uitgebreide diensten op het gebied van technische installaties (zowel voor utiliteitsbouw en industrie, als voor woningbouw en infra). In totaal werken er bij de BAM ongeveer 25.000 mensen.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

BIM is samenwerken in een project en op een efficiënte manier. In samenwerken hoort het nadenken over het totale proces en hoe vliegen we dit het meest efficiënt aan zonder dat ik partijen belast met onnodige werkzaamheden. Het gaat om de inrichting van een project en dit ligt erg aan de mensen die hierin zitten hoe hun mindset is. Het is een stap vanuit het traditionele proces waarin de focus van product gericht naar proces gericht maatgevend is. Om deze verandering te laten plaatsvinden is het bedrijf meer gericht op kennis overbrengen naar elkaar vanuit verschillende projecten, innovatie en ontwikkelingen in nieuwe technologieën.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

Het ligt aan het soort project. Bij grotere projecten (40-50 miljoen) opereren wij in 2 fases namelijk de tender en realisatie fase. In een tenderfase ben je niet altijd in staat om te sturen op of je in een bouwteam kan opereren of niet. Als een bouwteam aan de orde is, gaan we samen met alle partijen (adviseurs, installateurs etc.) het traject zo goed mogelijk definiëren. In de fases SO, VO gaan de bouwkundige, installateur, constructeur nadenken over de maakbaarheid van het project en daarna naar de uitwerking hiervan in DO.

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Ja, in de tenderfase dienen we een Plan van Aanpak in en na gunning gaan de voorbereiding en inrichting van systemen plaatsvinden. Daarin komen de BIM protocol en BIMPVe etc. aan de orde. Wij zijn zelf bezig met een plan schrijven over de aanpak in de tenderfase om zo vroeg mogelijk bepaalde afspraken willen meegeven over hoe het onderliggende proces is. In de praktijk wordt inderdaad tijd gestopt in het maken van goede afspraken, maar gedurende het proces wordt er eens afgeweken door bijvoorbeeld de opdrachtgever die wijzigingen doorvoert. De grootste fout hierin is dat men niet bijhoudt waarom men is afgeweken en op welke punten.

Het liefst hebben wij een schets (o.i.d.) waarin aangegeven wordt wat iemand wilt en wij beoordelen dit en kijken naar de raakvlakken, of het is de tijd nog gaat lukken en leveren opmerkingen weer terug en vragen om akkoord. Deze workflow moet wel aan de voorkant met de opdrachtgever zijn besproken en ook de planning met milestones wanneer de design freezes zijn (waar geen wijzigingen meer doorgevoerd kunnen worden).

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

Nee, het is niet zo dat er wordt teruggekeken op het project en ook niet of het proces goed verloopt zoals vooraf afgesproken.

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

Het hangt af van het projectteam of het proces handmatig wordt bijgehouden. We beseffen het wel, maar dit wordt niet altijd gedaan. Wat we moeten doen is kerngetallen bijhouden bijvoorbeeld in de vorm van een monitorplanning. Modelleurs hebben een planning hoe ze een project idealiter willen uitwerken, maar we moeten gaan monitoren hoe het in de praktijk is verlopen en hoe dit komt. Wat hierin goed ging kan worden gebruikt in een nieuw project en kan worden gezet in een database. Nu blijft dit in het hoofd van een modelleur en kan het niet feitelijk gebruikt worden en is niet onderbouwd.

7. In welk subprocess komen veel fouten of knelpunten in de ontwerpfas voor?

Wijzigingen verstören het proces en dit is prima maar niet als dit komt omdat de voorbereiding niet of niet voldoende is gedaan door tijdsdruk om te beginnen. Hierdoor loop je tegen meer dingen aan. Maar het ligt erg aan de aard van het project, maar vaker komen wijzigingen van de ontwerpende partijen maar ook opdrachtgevers komen soms nog met bepaalde wensen.

8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

Ja, er moeten vaak betere afspraken vooraf in een project gemaakt worden die het wijzigingsproces in kaart brengen maar ook beter voorbereid zijn op wat gaat komen. Want achteraf kost het tijd en geld en soms zijn er bepaalde zaken niet meer mogelijk.

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

-

10. Hoe wordt gecheckt of het engineeringsproces volgens planning verloopt?

Er ligt inderdaad een planning ter grondslag en daar moeten partijen zich aan confirmeren en dit moet aangestuurd worden. Als een engineeringsmanager op een project zit is het zijn verantwoordelijkheid om dit te toetsen. Het is wel vaak zo dat er een totale planning is en iedere discipline volgens zijn eigen planning werkt en dit is meestal anders. Dan is er de issue over wijzigingenbeheer en wat precies meerwerk is.

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Dit is een stuk innovatie en cultuur, want er zit verschil tussen de regio's en disciplines door de ervaring die is opgedaan. Want als mensen alleen nog de traditionele stappen kennen, vallen ze hier snel op terug. En nogmaals mensen zien nog niet altijd de intentie wat je van te voren allemaal moet regelen om een goed proces in te gaan. En hierbij komt ook een stuk 'training on the job' bij kijken zodat iedere rol zijn werk efficiënt kan doen. Hiervoor moeten de normale activiteiten gewoon uitgevoerd worden maar dan efficiënter, want dan gaan mensen het eerder adopteren.

Er is een soort afstemming tussen architect, installatie adviseur en constructeur alleen nog niet alles is uitgekristalliseerd. Binnen een ontwerpteam moeten ze vastleggen wat ze beter uit moet zoeken of definiëren waar anderen beter uitgezocht moet worden. Daarnaast is vaak dat elke ontwerppartij een ander detailniveau heeft uitgewerkt uiteindelijk en dit is wel kritisch.

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

Ja, de basis ILS, Dutch Revit Standards en in Rijksvastgoed spelen wij een rol (RVB BIMnorm). En alleen uit de RVB plukken wij aspecten uit die wij implementeren in onze eigen processen.

13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?

Er wordt wel geëvalueerd, maar er wordt van op terug gekeken of van geleerd.

14. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden (gelogd)?

Dit wensen we erg graag dat partijen wijzigingen voor zichzelf bijhouden in hun model, zodat het voor iedereen ook traceerbaar is. Het wordt niet gedaan waarom precies wijzigingen worden gedaan en wat is opgelost, maar ook wijzigingen worden vergeten door te geven als er meerdere tegelijk zijn.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Afwijkingen van stukken die aangeleverd zijn, waar wij ons aan moeten conformeren. Daarnaast heb je meerwerk en wat precies geef je op hiervoor. Je bepaalt dit aan de hand van welke informatie hoort bij welke fase en ook aan de hand van bepaalde normen. Ook de afspraken die wij definiëren aan de hand van protocol, informatiepakketten en PvA voor welke informatie moet in het model zitten in welke fase.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Voor alle wijzigingen moeten redenen voor worden opgegeven en wij hebben een hele workflow van het wijzigingenproces (o.a. welke formulieren moeten ingevuld worden). Wij gebruiken een database waar we specificaties aanpassen en dit wordt weer naar de modelleurs door gespeeld die het model aanpassen.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

Zoals eerder al aangegeven, is het zeker nuttig om traceerbaarheid van wijzigingen te verkrijgen.

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

Vanaf wanneer er met ontwerpen begonnen wordt maar vanaf DO worden er concretere beslissingen genomen.

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

Wij zijn een Revit organisatie, maar als disciplines daar niet mee werken gebruiken we IFC. Maar het ligt aan het project als er vooraf is opgesteld of je bijvoorbeeld op basis van BCF moet uitwisselen. En wij werken ook met Navisworks waar we elke week een bestand van moeten uploaden. Maar elke discipline is verantwoordelijk voor zijn eigen modellen en het exporteren hiervan. Er zijn meerdere uitwisselingsmomenten.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

Solibri gebruiken we dual aan Navisworks. Er is een BIM coördinator gericht op de discipline en zij controleren hun eigen model, en de integraal BIM coördinator vergelijkt de disciplines onder elkaar. En er zijn coördinatiesessies met degene die clashes tussen elkaar hebben.

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

Nee, niet wanneer welk object in welke fase zich bevindt. Wel wordt een project in fases gedeeld wanneer een projectdeel in uitvoering kan gaan bijvoorbeeld.

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

Ja dat gebruiken we en ook onze eigen applicatie xd-manager waarbij de koppeling met Revit wordt gemaakt met het dashboard waarin specificaties aangegeven kunnen worden maar we gebruiken het ook voor verificatie en wat precies gewijzigd is ten opzichte van de vorige versie.

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

Expliciete data en voor documenten uit te wisselen gebruiken we Sharepoint en Thinkproject en dit beoordelen we per project verschillend.

24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

-

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

Met Relatics kun je gestructureerd werken en wil ik alle facetten en systemen kunnen toepassen om de data beheersbaar te houden en het begint met het beheersbaar opzetten. En Relatics wordt niet bij elk project gebruikt, maar bij een Rijksvastgoedbedrijf ontkom je er niet aan.

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Dit is me niet erg duidelijk.

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

Nee, alleen dat ik met een training heb meegekregen op welke manieren je kan monitoren hoe processen verlopen. Je geeft aan op welke punten je wilt toetsen en de betrokkenen en wat is er fout gegaan.

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

Dat je kan leren van voorgaande projecten zoals eerder gezegd vind ik iets waardevols.

Interview Stam + De Koning Bouw bv

Naam: Stijn van Schaijk

Bedrijf: Stam + De Koning Bouw bv

Functie: BIM procesmanager

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

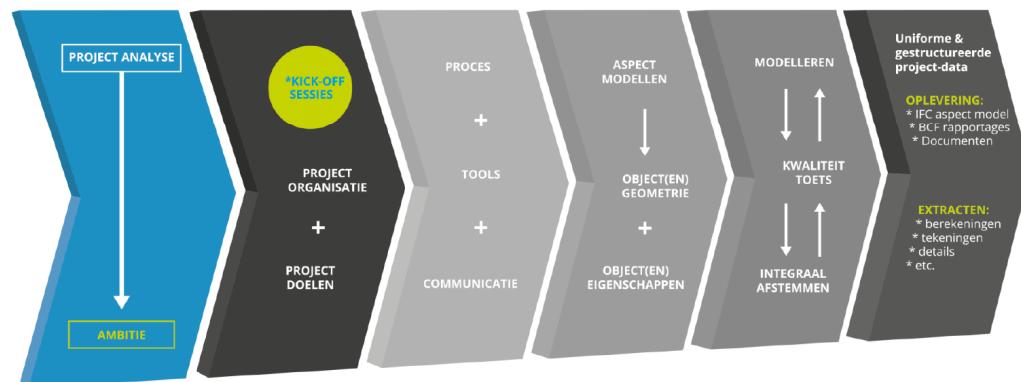
Stam en de koning bestaat uit 150 man en VolkerWessels is de grootste aannemer binnen Nederland binnen bouw en vastgoed. Van deze 150 man weten ongeveer 30 man meer over BIM. Er is VolkerWessels infra, rail, telecom en bouw en vastgoed. En ik zit onder bouw en vastgoed, en er zijn ongeveer 52 zusterbedrijven die allemaal onder VolkerWessels vallen, zoals Stam + de koning. De kracht daarvan is dat iedereen in die regio bij die bedrijven erg bekend is. Ieder zusterbedrijf heeft ook zijn eigen verantwoordelijkheden. Ook de ICT zaken zijn allemaal vanuit VolkerWessels geregeld maar daar hoeft niet gekozen voor te worden.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

We zijn nu bezig met binnen het bedrijf iedereen af te gaan om erachter te komen hoe de organisatie in elkaar steekt maar ook wat is er voor training bijvoorbeeld nodig om iedereen op hetzelfde niveau te krijgen. We hebben ook een standaard presentatie voor bij onze aannemers met wat kun je met BIM, waarom BIM, en we hebben een stappenplan wat we in elke fase van een project doen. Op bepaalde momenten bijvoorbeeld als we beginnen met ontwerpen dan lopen we deze stappen door bijvoorbeeld met de architect en constructeur. Dus meestal als we afspraken moeten maken met een partij.

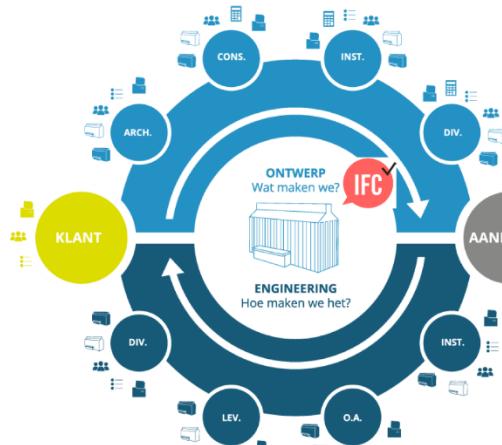
HOE DOEN WE DAT | UNIFORM STAPPENPLAN

01 Analyseren 02 Organiseren 03 Samenwerk afspraken 04 Informatie levering afspraken 05 Uitwerken 06 Output



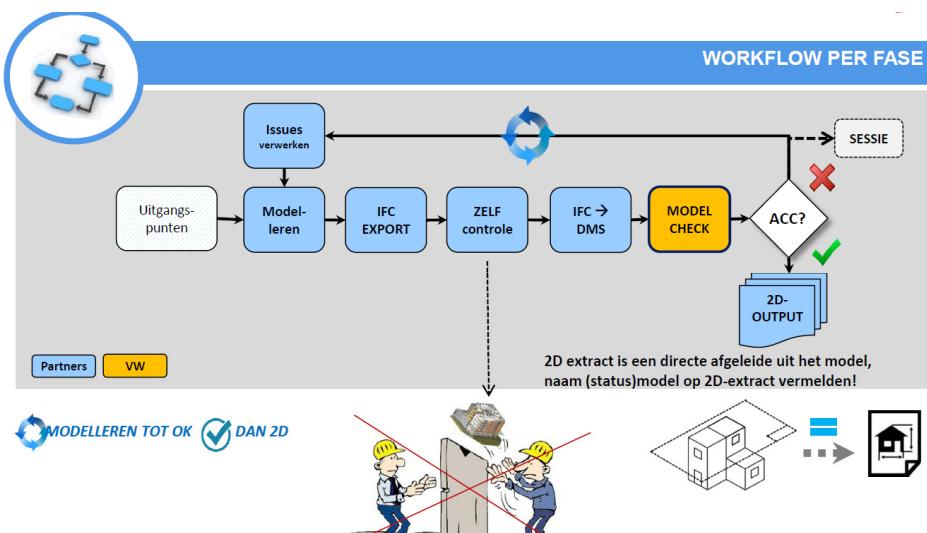
Voor deze stappen hebben we een presentatie waarin je met alle partijen gelijk de afspraken kunt vullen en overeen te stemmen wat de output is die geleverd wordt. De ambitie is belangrijk om op te stellen wat we met een project willen bereiken. Bij stap 3 bijvoorbeeld de communicatie houdt in hoe gaan we met elkaar communiceren (bellen, mailen of systemen gebruiken). Hierin staat niets vast en we houden een open discussie, want we willen de beste tool voor dat werk gebruiken. Vaak gebruiken we wel Trimble Connect (deelplatform voor o.a. BIM bestanden) voor communicatie op projecten, maar als een partij komt met een goed alternatief dan staan we hier wel voor open. Ook wat er precies bijvoorbeeld in tekeningen moet staan, daarvoor is er wel een basis maar moet project specifiek nog dingen afgestemd worden en dit wordt ook aangegeven aan de hand van de presentatie. Hoe vaak we bij elkaar komen, clash sessies doen en de kwaliteit toetsen moet per project bekeken worden.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?



We hebben een ontwerp- en engineeringscyclus (zie figuur), dit is gebaseerd op het Hamburgermodel. In de bovenkant en onderkant van het model is continu afstemming tussen de partijen en moeten controles gedaan worden. De workflow die hierbij hoort is de onderstaande afbeelding.

Hierin is misschien voor jouw erg belangrijk het punt waar de acceptatie plaatsvindt, dus wanneer welke punten niet voldoen. Dus de issues uit een clashsessions zou je van kunnen leren, zoals bij welke partij zijn model vaak verkeerd is.



Een belangrijk punt is voordat er gemodelleerd wordt om te bepalen wat de **uitgangspunten** zijn bij het project. Voordat er gemodelleerd wordt, komt er een uitgangspuntenlijst. Dit is zeer belangrijk om goed overeen te stemmen omdat het meerwerk oplevert als dit verandert. De modelleerfase is wel stapsgewijs en eerst worden alle belangrijke **details** besproken en uitgetekend. En het beste is om kleine delen eerst uit te tekenen en af te stemmen en steeds groter te gaan naar uiteindelijk het gehele gebouw.

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Wij houden de standaard presentatie aan waarin per project specifieke informatie wordt vastgelegd en wat voor de partijen belangrijk is en de doelen en dit delen we in pdf met elkaar. Uit ervaring merken wij dat lange verhalen geen nut heeft en geen helderheid biedt aan de verschillende partijen. Bij rijks vastgoedbedrijf en Schiphol vragen wel om bepaalde documenten waardoor ze juridisch sterk staan.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

Onze planvoorbereiders hebben dit in hun hoofd en monitoren dit. Bij ons verzint de ontwikkeling iets en dragen zij het over naar planvoorbereiders en die krijgen een PvE en zij kunnen het ontwerp toetsen hieraan. Bij grote projecten is Relatics hier handig in.

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

Zie vorige vraag door planvoorbereiders. Het projectteam doet wel evaluaties aan het einde van een project en ook halverwege de uitvoering zijn er terugkoppel momenten met wat er geleerd is en dit wordt gelogd in een OneNote, Excel of notitieblok. Het is handig om tijdens deze momenten samen een tool in te vullen en zo te registreren wat de 10 van de 150 mensen ongeveer hebben geleerd.

7. In welk subprocess komen veel fouten of knelpunten in de ontwerpfas voor?

Het is wel erg divers, maar wel zien wij vaak dat verkeerde partners worden gekozen en zij niet kunnen meewerken in het BIM verhaal, bijvoorbeeld als een constructeur niet kan bimmen. Want opleiden kost ook wel weer tijd en geld.

8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

We hebben behoefte in hoe we de juiste uitgangspunten kunnen bepalen, omdat het veel kosten oplevert als hierin later in het proces veranderingen in plaatsvinden. Er is veel kennis/ervaring in het bedrijf bij verschillende personen en we willen dit combineren en de risico's weten bij bepaalde beslissingen. Pas in de uitvoering zien we pas al die ervaringen bij elkaar komen en weten we pas of die uitgangspunten goed waren. Dus we zijn opzoek naar hoe we de kennis in de beginfase al kunnen gebruiken. Nu weten we bijvoorbeeld uit ervaring dat we bepaalde informatie moeten toevoegen aan ons model bij een partij, maar een ander persoon op een nieuw project denkt hier bijvoorbeeld niet aan en dit moet eigenlijk van te voren bij elk project standaard erin staan (bijvoorbeeld in een database met personen die hierover ervaring hebben opgedaan).

Met betrekking op de uitvoering zouden wij ernaartoe willen om een object aan te klikken en gelijk in een lijst kunt zien waar het precies is mis gegaan met welke onderaannemer.

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

-

10. Hoe wordt gecheckt of het engineeringsproces volgens planning verloopt?

Één keer in de twee weken hebben ze projectteam overleggen met het uitvoeringsteam of projectteam afhankelijk van in welke fase je zit. Er wordt daarin gewoon aangegeven hoever ze zijn in het project en in de uitvoering hebben ze een strokenplanning met het touwtje wat de status aangeeft. Daarnaast hebben we nu wel een pakket genaamd VICO en hier kun je op basis van BIM hoeveelheden bepalen en de planning eraan hangen en een dashboard creëren met hoever zijn we.

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Niet echt, we hebben wel een cyclus die we hanteren waarbij de ontwerpfas ingaan en dus eerst uitgangspunten in kaart brengen en dan schetsdetails etc. En we hebben een wekelijkse cyclus waarbij we elke maandag checken en op dinsdag alle issues op te lossen door samen te zitten. Op woensdag en donderdag gaan alle partijen zelf aan hun model werken en op vrijdag uploaden ze weer hun modellen.

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

De presentatie die we daarvoor hebben en in de kick-off bij een project wordt opgezet houden we aan. Wij hebben ook minder complexe gebouwen en dit is het standaard proces (zie afbeelding Uniform stappenplan).

13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?

Op buikgevoel en ervaring wordt bekeken of het proces verloopt zoals het hoort, maar wij controleren de informatie (BIM kwaliteit) zelf op basis van de Basis ILS. Dus producten moeten hier aan voldoen. Je hebt ook de bouwkundige kwaliteit en ook is het handig een soort evaluatie over het proces.

14. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Gelogd?/ tools)

We doen dat met BCF bestanden en Solibri. Iedereen werkt in zijn eigen tool en iedereen upload een IFC op Trimble Connect en komt alles samen, dan controleren we het en de opmerkingen delen we met BCF. We kunnen de verschillende versies van modellen over elkaar heen leggen en zien of de opmerkingen zijn verwerkt. Maar de wijzigingen leggen wij niet vast en niet dat je kan zien hoe het model is geëvalueerd.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

De objecten waar het bij van toepassing is en de informatie en de geometrie die eraan gekoppeld is. De partijen en/of personen die erbij betrokken zijn en de reden tot wijziging. Het meest nuttige lijkt mij als de uitgangspunten worden gewijzigd, omdat dit veel kost later in het proces om dingen aan te passen. PvE zit ook in de uitgangspunten.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Nee dat doen wij niet structureel, maar het wordt wel bijgehouden in bouwvergaderingen en opgeschreven in een Word document. Het is zeker interessant als de opdrachtgever een andere of nieuwe eis heeft om dat te loggen. Dat kan je achterhalen hoe vaak de opdrachtgever met een wijzigingsvraag komt. Als je bijvoorbeeld bij een nieuw project eenzelfde soort kolom gebruikt kun je kijken wat er bij voorgaande projecten mee is gedaan.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

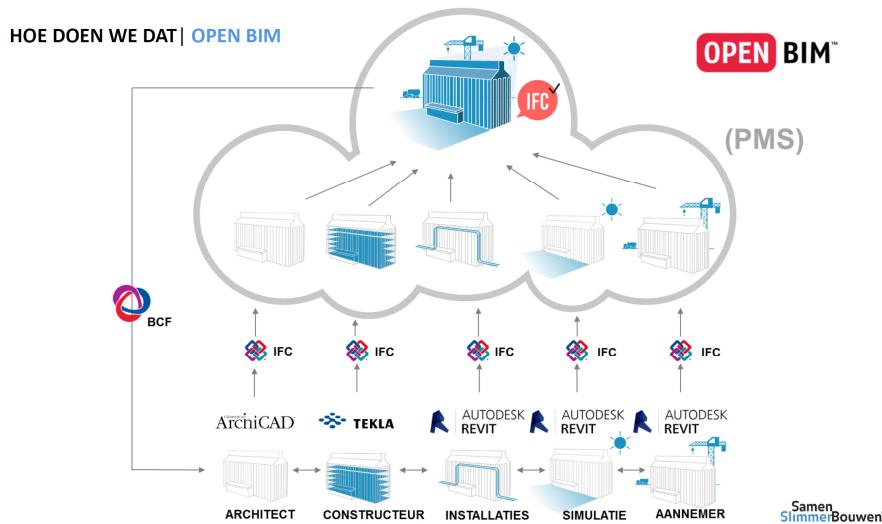
Ja, het is ook zeker iets waar wij mee bezig zijn, maar hoe het precies in de praktijk ingericht moet worden is nog de vraag.

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

Wij gaan ook pas bij elkaar zitten op het moment dat we weten wat we willen en dan komt dus ongeveer in DO een architect erbij, want daarvoor verandert er zoveel continu.

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

Dit wordt van te voren afgesproken aan de start van het project en hoe de uitwisseling en communicatie onderling gaat. Trimble Connect (een soort dropbox) voor uitwisseling van BIM bestanden gebruiken we vaak op projecten, maar wel in overeenstemming met de partijen. Ook hoe vaak we bij elkaar komen en clashsessies doen wordt per project aan de start overeen gekomen. Zie afbeelding hoe er door middel van IFC met elkaar uitgewisseld wordt. En iedereen moet zijn Revit model wel op de goede manier opbouwen anders wordt het in IFC niet gestructureerd. Je kunt ook zelf kiezen welke informatie je wel deelt als je ze bijvoorbeeld in shared properties zet. Hierin moeten de handleidingen op BIMLoket gebruikt worden.



Op BIM Loket staat hoe je de Basis ILS in elke software kan toepassen. Dit is erg belangrijk voor de uitwisseling met elkaar.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

Zie vraag 3 en afbeelding en vraag 14.

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

We zijn met Trimble Connect bezig met statussen hangen aan een object. Wij bepalen dan hoeveel statussen er zijn bijvoorbeeld. Je kan daarin nu al op een object klikken en informatie zien.

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

We gebruiken Trimble Connect als een deelomgeving voor bestanden, maar je kan dingen niet linken. Daarnaast hebben we ongeveer 40 systemen binnen VolkerWessels gebruikt, maar deze voldeden net niet aan onze eisen. Een onderzoek managementteam is gaan kijken welke pakket het best aan de eisen voldoet daaruit is er uiteindelijk gekozen voor Trimble Connect.

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

Trimble Connect is op basis van documenten.

24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

-

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

-

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Ja, door middel van process mining kan je inzicht krijgen in je processen en deze verbeteren. Met process mining kun je event data, proces gerelateerde informatie verkrijgen en proces modellen opstellen. Hierdoor kun je problemen ontdekken gebaseerd op feiten.

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

We kunnen nu al wel in Trimble Connect een hele activiteitenlog zien met alle personen wie wat heeft geupload en gedownload. Daarnaast schrijven we wel op als er dingen anders moeten in een project maar we houden dit niet goed bij.

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

-

Interview Dura Vermeer

Naam: Jeffrey Truijens

Bedrijf: Dura Vermeer Bouw Midden West bv

Functie: Informatie & Procescoördinator

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Dura Vermeer is Van woning- en utiliteitsbouw tot de aanleg van infrastructuur. Van engineering tot een scala aan services. We willen vernieuwen op al die gebieden. En daar gaan we als team aan werken. Onze mensen van nu, onze collega's van straks. Dankzij 160 jaar ervaring hebben we een stevig fundament, waarop we verder kunnen bouwen. Onze ambitie: binnen 3 jaar een plek in de top-3 van vernieuwers binnen onze sector.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

BIM is informatie managen tussen verschillende disciplines en communicatie te beheren. Aan het 3D model worden planningen, materialen en calculaties en nog veel meer informatie gekoppeld. Het is ook belangrijk dat er standaarden worden toegepast in informatie en modelleren. Door BIM-modellen zijn we in staat informatie centraal en eenduidig te delen. Wij hebben zelf gekozen voor open standaarden om zo met alle samenwerkende partijen relevante en betrouwbare informatie uit te wisselen.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

De fases zijn meestal ongeveer gelijk aan Programma van Eisen, SO, VO, DO, uitvoering, onderhoud, maar elke opdrachtgever heeft hierin wel zijn eigen invulling wat deze processen precies inhouden.

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Ja, de BIM protocol en Basis ILS wordt toegepast landelijk in projecten. Aan het begin van een project worden goede afspraken gemaakt met de verschillende disciplines waardoor dezelfde taal gesproken moet worden. Bij onze project zijn vaak de disciplines in 1 team waardoor het algemene belang hoger is dan als iedereen apart van elkaar werkt in een verschillende bedrijven. Omdat op deze manier de kosten voor iedereen zijn en niet per discipline apart.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

Nee, tijdens het proces wordt de Basis ILS en BIM protocol gevuld maar het is niet dat tijdens het proces wordt bekeken of dit ook echt precies zo verloopt zoals vooraf bedacht.

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

De procedure hoe de processen in de ontwerpfase worden gemanaged hangt af van het soort project en het team. Als dit erg klein is wordt er minder hierop gefocust omdat dit makkelijker gaat met een kleiner team. Bij de grotere projecten houden we wekelijks planningen bij in de uitvoeringsfase en in de ontwerpfase wordt er steeksgewijs bekeken of er volgens planning gelopen wordt. In de engineeringsplanning staat wel in waar wanneer iemand mee bezig is maar hier wordt vaak niet precies aan gehouden.

Daarnaast is het erg arbeidsintensief en lastig om de ontwerpprocessen te managen, omdat er verschillende disciplines in een iteratief proces mee bezig zijn. Ook is er verschillende informatie namelijk object informatie wat zich gedeeltelijk in het 3D model en in documenten bevindt, werksoort informatie wat inhoud hoe prestaties en aansluitingen van

objecten zijn en dit staat in verschillende documenten. Daarnaast zijn er ook nog functionele specificaties en prestaties wat in verschillende documenten staat.

7. In welk subprocess komen veel fouten of knelpunten in de ontwerpfas

Tijdens de engineeringsfase wordt er het meest gewijzigd en is er meer kans om deze over het hoofd te zien en hierdoor ontstaan vaak problemen.

8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

Er is inderdaad behoefte aan om het proces te verbeteren en er wordt nu ook al bekeken op welke manieren. We gebruiken nu een engineeringsplanning handmatig op borden 'plakken' we elke maandag op wie waar mee bezig is en zo kun je ook zien hoever we zijn maar ook bij wie je voor bepaalde issues of vragen moet zijn. Het is wel zo dat we nu niet vaak of snel kunnen terug zoeken waar problemen waren of wat we juist kunnen hergebruiken.

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

Door middel van elke week bijeenkomsten te plannen met alle teamgenoten en aan te geven hoever iedereen staat.

10. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?

-

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Tussen de ontwerpende partijen zijn vaak conflicten die ontstaat tijdens het ontwerpen die continu moeten worden aangepast. Het proces wanneer een ontwerpdiscipline een model controleert, upload en omzet en levert aan ons in IFC is wel een herhalend proces.

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

Ja, wij gebruiken open standaarden en de Basis ILS, Dutch Revit Standards, RVB BIMnorm, NL-SfB. En voor ontwerpmanagement DNR-STB 2014.

13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?

De kwaliteit is moeilijk te meten, maar als iedere discipline levert en communiceert zoals is afgesproken en in verschillende documenten staan beslissingen die verspreid staan opgeslagen.

14. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden (gelogd)?

Vooraf zijn altijd redenen voor een uiteindelijk resultaat, maar dit wordt niet altijd geregistreerd of gedeeld. Dit is wel erg belangrijk voor de traceerbaarheid van beslissingen en er kan verantwoording naar de klant afgelegd worden. De (meeste) wijzigingen zijn in verslagen, e-mails, notities terug te vinden en besproken.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Het ligt aan het soort wijziging wat plaatsvindt, want elke wijziging heeft een ander effect. Dus je zou de effecten van de wijzigingen in kaart willen hebben en dus de oorzaak en gevolg van de wijziging.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Op basis van verschillende thema's zijn er wijzigingen die plaatsvinden namelijk;

- Esthetisch,
- Herziening van het PvE door de klant,

- Uitvoerbaarheid en maakbaarheid zijn bijvoorbeeld niet mogelijk of te duur,
 - Bouwmethodiek duurt te lang.
- In vergaderverslagen, notulen, nota's, e-mails etc. worden aangehaald waarom er bepaalde besluiten worden genomen.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

Dit is zeker nuttig om bij te houden om te kunnen achterhalen hoe er tot een eindresultaat is gekomen alleen moet je bijvoorbeeld nagaan hoe je vastlegt als het model wel verandert maar er is geen eis verandering of toevoeging hoe dit dan komt. Het zal wel in documenten worden gezet maar dit is niet gekoppeld aan het 3D model.

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

Vanaf wanneer er afspraken zijn gemaakt tussen verschillende disciplines en hiermee aan de slag gaan.

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

Tussen de disciplines wordt er (vaak) door middel van Revit gecommuniceerd via een RevitServer (via Dura Vermeer Server) waardoor een discipline de laatste versie van een andere discipline onder zijn model in Revit kan tonen. Maar wij ontvangen alleen IFC modellen, vaak wekelijks maar dit ligt aan het soort project en team.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

In het 'Hamburgermodel' komen de momenten naar voren waarin er clashmomenten zich voordoen en tussen de disciplines worden er vaak Revit modellen met elkaar uitgewisseld, maar wij ontvangen alleen IFC modellen en vaak wekelijks worden wij deze. Wij houden engineerings sessies en nemen de issues door met de disciplines en maken clash rapportages. Vaak communiceren wij BCF files naar iedereen waarin wordt aangegeven wie wat moet aanpassen.

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

-

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

Ja, Relatics en hierbij is het belangrijk om SMART te formuleren en relaties worden gelegd wat erg handig is. Ook creëer je hierdoor traceerbaarheid en het is informatie gericht.

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

Relatics is expliciete data.

24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

-

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

Relatics geeft een basis om de informatie van je project te structureren en te registreren voor later gebruik. Het is alleen wel zo dat Relatics niet bij elk project op dezelfde manier ingedeeld wordt.

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Ja, er wordt meer bekeken op basis van informatie in plaats van mensenkennis welke patronen zich voordoen in projecten en waar knelpunten zich bevinden maar ook simulaties en visualisaties kunnen maken om echt kerngetallen uit de projectdata te trekken.

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

Ik ben zelf bezig met processen te analyseren door middel van Business Intelligence en Process mining. Een voorbeeld wat bekijken wordt is in Sharepoint wie wanneer welke informatie toevoegt of bekijkt of verwijdert. Ook tussen welke objecten bijvoorbeeld veel clashes ontstaan en hoeveel kosten we waarvoor precies kwijt zijn.

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

We kunnen onze processen met activiteiten efficiëntere inrichten en betere traceerbaarheid creëren en feitelijke conclusies trekken uit onze processen die we in onze projecten doen of hebben gedaan.

Het opgestelde processchema heeft wel de goede opzet en rode draad, maar in de werkelijkheid verloopt dit proces niet zo maar wordt er bij indiening van een wijziging als sneller uitgewerkt door de disciplines door tijdsdruk.

Interview Rövekamp Advies

Naam: Nico Rövekamp

Bedrijf: Rövekamp Advies

Functie: Integraal ontwerp manager

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Rövekamp Advies is een consultancy, interim- en projectmanagement in multidisciplinaire (bouw)projecten, in de natte en droge infrastructuur.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

Het is een manier van werken en daarin is gedrag belangrijk en de processenindeling. De kaders moeten samen wel goed overeen gekomen worden en hierin gaat wel tijd zitten. Met BIM gebruik je informatiemodellen en wissel je informatie met elkaar uit.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

Over het algemeen VO, DO, UO.

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Dit wordt uit de klant aangegeven en dit is dus per project wel verschillend.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

Eigenlijk niet. Alleen worden planningen gebruikt of producten 'op tijd' worden geleverd. Er worden dan inventarisaties gedaan aan de hand van de planning.

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

Verschillende disciplines gaan bij elkaar zitten als 1 integraal team en werken samen in 3D en 2D waardoor issues snel worden opgelost. Dit wordt per project afgesproken wanneer dit gebeurd. Maar de monitoring hiervan wordt per project op basis van mensenkennis gedaan.

7. In welk subproces komen veel fouten of knelpunten in de ontwerp fase voor?

Niet in en specifiek subproces maar meer met de installaties en deze moeten eigenlijk in het proces ook eerder in het proces komen.

8. Is hierin behoefte om dit proces te verbeteren? En hoe?

Ja zie vraag 7.

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

Dit wordt per project gewoon op basis van ervaring bekijken.

10. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?

Zie vraag 9.

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Zie vraag 7.

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

Ja, ISO 9001.

13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?**14. Wijzigingenproces. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Gelogd?/ tools)**

Wij hebben configuration control board waarmee een baseline wordt bijgehouden en veranderingen worden geëvalueerd. Baselines worden opgesteld voor een configuratie identificatie toepasbaar op een specifiek punt in een levenscyclus. Een wijziging kan opnieuw gecontroleerd worden in een configuratiemanagementsysteem waaruit alle veranderingen worden gemeten. Baselines, plus goedgekeurde wijzigingen van die baselines vormen de huidige configuratie-identificatie.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Noodzaak verschilt per organisatie en soort wijziging. Het beheren van belangrijke eisen is van belang en dit gaat nu eigenlijk met menselijke interpretatie.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Eigenlijk staan de beslissingen en redenen in vergaderverslagen.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

Zeker, alleen moet er wel ingekaderd worden wat precies belangrijke besluiten zijn om te registreren. En het aspect tijd is wel belangrijk, omdat dit registreren extra tijd kost en de meerwaarde inzien van het registreren. Wat kan er mee bereikt worden.

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

Vanaf het begin dat je met een team begint met de opdrachtuitwerking.

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

Dit is bij infrastructurele projecten anders dan bij bouwprojecten.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

Alle ontwerpdisciplines werken aan het ontwerp samen (integraal) en spreken af op welke momenten de clashvergaderingen worden gehouden. De gemeenschappelijke verantwoordelijkheid, dus het delen van de kosten al is er een fout op het gebied van de andere discipline, helpt bij het oplossen van issues .

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

-

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

Ja, maar niet bij elk project.

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

Expliciete data.

24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

Voor de uitwisseling van informatie en ook bijvoorbeeld risico's in kaart brengen en koppelen. Ook worden er documenten via Relatics gedeeld.

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

De traceerbaarheid door gebruik van Relatics en relaties leggen tussen verschillende informatie.

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Niet echt.

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

Nu worden er wel kerngetallen gebruikt uit projecten om te bekijken bijvoorbeeld waar veel kosten in gingen zitten.

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

-

Interview Conix RDBM Architects

Naam: Frederik Jacobs

Bedrijf: Conix RDBM Architects

Functie: Architect, eigenaar Conix m.b.t. interne organisatie

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Conix is een architectuur bureau en werkt in architectuur projecten in de bouwkunde en de interieur, stedenbouw, landschapsanalyse en ontwerp. We hebben 5 sectoren waarin we acteren namelijk residentieel, kantoren/bedrijfsgebouwen, zorg, onderwijs en overheidsgebouwen.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

Wij zijn 4 jaar geleden begonnen met BIM en voor ons betekent dit om al onze projecten in 3D te modelleren. In het stuk op het moment dat de bouwvergunning is aangevraagd en dat er bezig is met aanbestedingsdossier en bouwkundig ontwerp en dat wij prijs kunnen vragen bij een aannemer, zijn wij gestart met BIM en LOD300 en LOD350. Ik heb het idee dat een aantal aannemers sneller met BIM bezig zijn dan architecten. We zijn nu aan het proberen om 3D te modelleren in de ontwerpfase en haalbaarheidsfase. De meerwaarde voor ons is dat de coördinatie van de verschillende disciplines geometrisch beter gebeurd waardoor er minder problemen zijn in de geometrie in de uitvoering dus waarin is er een vermindering in tijd die we spenderen in de uitvoeringsperiode. De fase daarvoor willen we een LOD00 en LOD200 gaan opbouwen door de ontwerpers waarmee we beter kunnen communiceren met onze klanten en waardoor we meer kunnen gaan simuleren (bijvoorbeeld daglicht, akoestiek). Om te zien welke keuze beter is met welke parameters. Met BIM kunnen we meer professionaliseren en de transparantie verhogen en we willen zoveel mogelijk single source doen (alle informatie op 1 plaats). Door de juist partij en op de juiste plaats moet iets gelijk ingevoerd worden zoals een bepaalde eigenschap toekennen aan glas moet het gelijk in het Revit model en niet in een verslag/nota zetten want de kans is groot dat dit niet verwerkt wordt in het 3D model. De kans is groot dat er een verschil zit in documenten waarin besluiten worden gemaakt en het 3D model. In ons proces is belangrijk dat we weten dat aspecten gelinkt zijn aan anderen aspecten, alles is afhankelijk van elkaar.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

Schetsontwerp definieert je het volume en in VO ga je meer het gebouw dimensioneren en in DO ga je het materialiseren en verfijnen en eigenschappen toevoegen. Het gaat steeds naar een hoger detail niveau naar DO en dit hogere detail niveau en wat naar uitvoering gaat is in Revit. Na DO dient je het in als vergunning en hierin is BIM bij elk project bij ons aanwezig, maar in de begin fase ligt het erg aan de mensen of er gelijk in 3D wordt gewerkt.

We hebben nu wel een template gemaakt waarin we de massa's LOD00 precies de sheets automatisch uitkomen met de percentages en getallen hoeveel BVO en m3.

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Ja, inderdaad BIM protocol in projecten waarin we de afspraken met alle disciplines overeenkomen. We hebben iemand in dienst die focust op de coördinatie met de verschillende disciplines en iemand die focust op dat onze template en workflow in alles modellen op dezelfde manier gerespecteerd wordt en het BIM protocol.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

Wij voeren allemaal wekelijks onze timesheets in. We bekijken in een paar projecten hoeveel tijd er in ontwerpen en modelleren etc. zit. Tijdens de modelleerfase zien we dat de wijzigingen ons tijd kost. De wijzigingen komen doordat er te weinig op tijd wordt besloten, omdat vaak de opdrachtgever het nog niet weet en door het in 3D te communiceren krijgt hij er meer een beeld bij en kunnen specifieke punten overeengekomen worden.

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

We gebruiken BIMcollab en OneNote om zaken bij te houden. En we hebben een OneNote BIM beleidsteam en voor elk project gebruiken we ongeveer OneNote om daar de informatie centraal toegankelijk te houden.

Bij de ontwerpfasen passen wij een LOD000 template die tot de bouwaanvraagfase gebruikt wordt. Bij de overgang wordt er gestart met een nieuwe LOD200 template waarbij het ontwerp model opnieuw opgebouwd wordt.

7. In welk subproces komen veel fouten of knelpunten in de ontwerpfasen voor?

Dit is erg divers en het wordt vaak tijdens het project tegengekomen en afgehandeld. Het gaat vaak fout waar iets over hoofd wordt gezien en als het door communicatie niet beschikbaar was. Ook kan het zijn dat iemand iets fout doet en niemand controleert dit of ziet dat het fout is.

8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

Ja het is dus slim om veel goed bij te houden zodat het proces overzichtelijk blijft en transparantie verhoogt wordt tussen verschillende mensen en vaker simulatie gedaan kunnen worden met gebruik van de data.

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

Natuurlijk wordt er bijgehouden wekelijks of activiteiten zijn afferond en of er aan wordt gewerkt en op de planning ook staan aangegeven.

10. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?

Nog niet geïmplementeerd in Revit.

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Dit wordt niet bijgehouden. Het is praktisch moeilijk om handmatig alle handelingen te loggen, zoals wij met een kleiner team handmatig in een Excel hebben gedaan. Maar met de huidige technologieën is er meer makkelijker mogelijk.

De meeste clashes zijn tussen installaties (HVAC) en bouwkundige onderdelen. De installaties zijn nog niet altijd voorin het proces fijn genoeg uitgewerkt en later bij meer uitwerking komen er dus meer clashes. Ook kruisingen zijn punten waarin vaak clashes voorkomen.

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

De basis ILS is meestal afgesproken in het BIMprotocol en onze modellen zijn gemodelleerd op het Sfb systeem en daarnaast Revit Standard. Daarnaast gebruiken we tools van CDA (Belgisch bedrijf die de marktleider zijn in Autocad, Autodesk) waarvan we verschillende zaken gebruiken als basis. We willen ook onafhankelijk zijn dus we gebruiken geen tekeningen van fabrikanten, maar dat mag de aannemer doen in LOD400. We hebben onze eigen BIMprotocol en handleiding en BIM template waarin interne standaarden staan zoals hoe bepaalde koppelingen moeten. En alles moet door anderen gecontroleerd worden.

13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?

Op buikgevoel en ervaring wordt bekeken of het proces goed verloopt, dus of de activiteiten die uitgevoerd moeten worden ook inderdaad op het juiste moment gebeuren.

14. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Gelogd?/ tools)

We hebben wel een workflow van het modelleerproces omdat wij vanaf een punt vertrekken als er al een ontwerp ligt. Maar we zijn ook nog bezig met echt het wijzigingenproces. Helaas heb ik daar nog geen processschema voor.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Inderdaad geometrie, materiaal, waarom en door wie het gewijzigd is. Wellicht indien mogelijk, zou ook de verwerkingsstijd ervan ideaal zijn. Op deze wijze zou bekijken kunnen worden welke **impact** een aanpassing heeft op het ontwerp.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Daarom zijn wij met Neanex in zee gegaan omdat de as-required eisen met het as-designed model worden gekoppeld en vergeleken. Wij zijn zelf jaren geleden begonnen om programma van eisen (PvE) te maken in een soort kwaliteitsplan en ik zou willen dat dit gekoppeld wordt met de keuzes die gemaakt worden. Wij hebben toen der tijd het PvE gestructureerd op basis van SBR publicatie gedaan.

Het zou zo kunnen worden dat de projectmanager met de klant kan zitten en aangeven van welke eisen de klant heeft, welke wijzigingen daaraan te pas komen dus welke oplossingen aan welke eisen gekoppeld zijn en misschien daarbij commentaar geven.

Er zijn een aantal eisen die:

- bekend zijn en
- een aantal niet bekende en
- een aantal van de ontwerper (een hypothese) en het is de vraag of deze in de openbaarheid gebracht mogen worden.

Enkel gebeurd het nu in latere fases wanneer er bijvoorbeeld op plan zichtbaar moet zijn wat er aangepast is. Dus in de vorm van Revision clouds.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

Ja, om zeker onafhankelijk te zijn van wie welk project uitvoert en de kennis die wordt opgedaan niet alleen in de mensen het hoofd blijft zitten maar ook traceerbaar is. Wij willen inderdaad onafhankelijk raken, maar in ons bedrijf is al opgedeeld in stukken en daardoor is het risico voor het bedrijf kleiner.

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

Meestal in de fasen schetsontwerp en voorontwerp worden ook nog wensen en eisen verzameld. Je hebt het VO ook nodig om de informatie en de behoefte in kaart te brengen. Het PvE wordt vertaald in een ontwerp.

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

De uitwisseling van modellen tussen disciplines wordt vaak gedaan via de RevitServer als alle disciplines met Revit werken. We werken dan wel waak met gelinkte aspectmodellen waarin we alles samen zetten maar er duidelijkheid is van wie wat is. Als er in verschillende software

wordt gewerkt wordt er door middel van IFC uitgewisseld. Maar ik heb wel gehoord dat er informatie verloren gaat in de export naar IFC. Het is wel zo dat architecten niet vaak enthousiast zijn om gelijk te werken in Revit en werken nu nog vaak in Autocad en Sketchup.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

Wij gebruiken Solibri om onze eigen modellen te checken en ook te clashen tussen aspectmodellen.

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

-

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

Nee we zijn dit jaar bezig met testen en tegen de bouwvakantie is bedoeling om operationeel te zijn om het LOD300 model te koppelen met de eisen en geautomatiseerd de meetstaten, raming en bestek eruit te laten rollen.

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

-

24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

Er zijn twee systemen namelijk een DMS en vanuit dat systeem gaat het via mail, post en via een server. De verschillende versies kun je bijvoorbeeld wel zien daarin.

Maar dit kan geen Autocad of Revit file opslaan, aanmaken en dit wordt dan alleen op de server gezet. Uiteindelijk willen we ernaar toe zodat je in je Revit file kan zien wat er gelinkt is qua documenten aan bepaalde zaken.

Er is nu al een enorm verschil in vroeger allemaal losse Autocad bestanden waaruit tekeningen komen, maar nu is alles in 1 Revit file gecombineerd.

Autodesk komt ook met meer producten zoals Vault Autodesk doet al track en trace.

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

Ik kan het niet vergelijken momenteel met andere systemen op de markt. Maar ik geloof erin dat er straks software is waarin het PvE ingezet wordt en een ontwerp uitkomt maar ook wijzigingen en de flow hoe het proces is verlopen uitgehaald kan worden.

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Nee, ik ben hier niet bekend mee maar ik heb wel meer van data mining gehoord.

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

Organisch gebeurd het wel, alleen hebben wij gedaan in de bouwkosten. Elke offerte die binnenkomt die wordt op dezelfde manier behandelt en hierdoor kunnen de prijzen per sector in kaart gebracht worden. Ik probeer het nu verder te doen in de relatie uren en activiteiten, maar dit gaat fout op dat de uren door de mens worden ingevoerd. Wij controleren die wel wekelijks. En daarnaast precies weten welke vraag tot welke uren leidt is soms lastig te bepalen. Ook mensen modelleren en ontwerpen en waar elke activiteit dan aan gekoppeld is, is niet strak te bepalen.

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

Er kan meer geanalyseerd worden over wat er in de praktijk uitgevoerd wordt en de informatie die geproduceerd wordt. Ik kan nu bijvoorbeeld nog niet met een druk op de knop eruit krijgen bij een project zijn er zoveel houten ramen toegepast.

Interview Arcadis

Algemeen

Naam: Alex van Zalingen

Bedrijf: Arcadis Nederland B.V.

Functie: BIM specialist

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Arcadis bestaat uit verschillende teams, en ik zit in informatiemanagement en SE. Ik ben een BIM specialist en houd mij bezig omtrent het informatiebeheer ondersteuning in projecten. 2,5 jaar geleden ben ik bij Arcadis gekomen en waren ze als bezig met BIM.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

BIM gaat meer richting informatiemanagement dan alleen 3D modelleren. BIM is een ondersteunende methode in de projecten waarin het de processen kan helpen maar om ook de mensen mee te krijgen moeten de processen niet drastisch verandert worden. De tools maar ook de mensen zijn van invloed hoe de processen ingevuld worden.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

De normale gang is SO, VO, DO en uitvoering. Voor de processen worden degene aangehouden die de klant bepaald en ook of er een SE omgeving wordt gebruikt. Als het contract er is, wordt er o.a. de basis ILS afgesproken.

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Ja, maar dit wordt vanuit de klant aangegeven dus in het contract. Er worden dan protocolrichtlijnen voor het proces opgesteld, maar er is geen vaste BEP of protocol.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

Het proces wordt van te voren overeengekomen en er worden audits gedaan en door de klant controles uitgevoerd.

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

Vaak wordt het proces op basis van ervaring bekijken of het goed gaat of niet.

7. In welk subprocess komen veel fouten of knelpunten in de ontwerpfasen voor?

Divers, het is wel vaak zo dat wat er eerst is bedacht vaak wordt verandert in de uitvoering omdat dit precies niet kan of teveel tijd kost bijvoorbeeld.

8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

Ja, daardoor wordt steeds vaker de uitvoering eerder bij het ontwerpproces betrokken.

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

-

10. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?

-

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?**13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?**

Bij dezelfde soort projecten is er door middel van kennisdeling wel in kaart hoe zo'n proces moet verlopen.

14. Wijzigingenproces. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Gelogd?/ tools)

De projectmanagers of bimmers die zien de wijzigingen en houden hier overzicht op.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Eigenschappen van objecten, relaties tussen objecten, onderdelen ten opzichte van het geheel, tijd, kosten, invloeden van onderdeel op onderdeel, ontwerptechnisch (licht/lucht etc.) en per discipline hoe er met wijzigingen wordt omgegaan.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Er worden sessies met elkaar gehouden en dan in verslagen en Relatics de besluiten bijgehouden.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

Ja, maar op een gefilterde en gestructureerde manier zodat er geen informatie tussen staat waar niemand iets mee gaat doen.

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

Vanaf het begin en gelijk ook goede afspraken maken.

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

Er wordt vaak een server gebruikt waarop het ontwerpteam zijn modellen zet bijvoorbeeld d.m.v. IFC. En Relatics vaak gebruikt als eisen verificatie bijvoorbeeld.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

Dit wordt van te voren samen overeengekomen, dus dit verschilt per project.

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?**22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?**

Ja, Relatics.

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?**24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?**

Voor informatie-uitwisseling binnen een project.

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

Relatics geeft structuur in de informatiestromen binnen een project en de informatie wordt vastgelegd. Er kunnen ook koppelingen gemaakt worden.

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Ja, je Big data wat je creëert bij projecten te gebruiken op een manier zodat je verschillende conclusies kunt trekken over het proces.

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

Ja, alleen op basis van eenzelfde soort projecten de kennis daarvan te delen en punten daaruit te gebruiken.

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

Ik denk zeker dat je bijvoorbeeld bij een complex ontwerp de stappen terug kunt kijken en meer structuur kunt aanbrengen en met de data kunt doen zoals analyses op uitvoeren. Er kunnen daarvoor ook dashboards gecreëerd worden om overzichtelijk risico's in kaart te brengen of de status van het project weer te geven.

Interview BESIX Nederland

Naam: André de Groen
Bedrijf: BESIX Nederland
Functie: Procesmanager

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Besix Nederland is onderdeel van de Besix groep en vanuit Brussel worden alle activiteiten geregeld. Nederland heeft ongeveer 250 medewerkers en Besix groep heeft 15000 medewerkers en wij doen meer de complexere werken voor opdrachtgevers zoals het Rijksvastgoedbedrijf, Rijkswaterstaat, ProRail. Wij werken vaak samen in consortium bijvoorbeeld met Heijmans en daarbij zijn wij vaak goed in de civiele projecten, sluizen, tunnels. Ik val binnen BESIX NL bij de systems engineers en zijn we met een groep van 4/5 SE-ers. Daarbij ondersteunen wij in de Relatics omgevingen om de informatie in vast te leggen, query's op te draaien. Ik ben hierin in 2011 begonnen en ik heb o.a. geholpen met het opzetten van prestatiemeetsysteem bij DBFM contracten voor de onderhoudsperiode. Bij project Beatrixsluis had ik de procesmanagers rol waarbij ik o.a. verantwoordelijk was voor de certificering van het managementsysteem met ISO-9001, ISO-15288, ISO-15504 om een configuratiedbatabase te maken in open standaarden en ook een prestatiemeetsysteem.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

BIM staat voor bouw informatie management en wat ik zie bij alle activiteiten die wij doen als aannemer steeds meer informatie vrijkomt en die stoppen we in allemaal verschillende softwaresystemen. En de visie die je als bedrijf hebt hoe al die informatie aan elkaar hangt en goed me om te gaan noem ik bouw informatie management. Veel informatie komt in een 3D-model en in Relatics wat wel grote informatiedragers zijn, maar de gehele informatiestructuur is dan echt BIM. En het gehele 4D en 5D met planning bijvoorbeeld moet afgewogen worden om dit te doen. Binnen BESIX hebben we BIM meer opgezet vanuit de engineering department als zijnde het 3D modelleren en binnen BESIX NL zijn we erg binnen projecten zelf aan het leren en daarbij wordt bijvoorbeeld Relatics gebruikt waardoor de informatie makkelijker beheersbaar wordt. Dit is vooral de procesinformatie en de productinformatie ligt meer in de 2D en 3D Autodesk zit en door middel van de IbimConnector van Neanex komt dat meer samen. Maar bij BESIX is het nog niet 1 geïntegreerd softwarelandschap, maar eerder iedere stroming zijn eigen optimalisaties heeft.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

We hebben een processenstructuur volgens de Integraal Project Management gedachte met 5 hoofdgroepen; projectmanagement, contractmanagement, omgevingsmanagement, technisch management, projectbeheersing. En onder technische management zit dat het ontwerp en uitvoering en onderhoud etc. en hebben we voor VO, DO, UO bij civiele werken. Hiervoor hebben we een standaard ontwikkeld en voor verificatie, eisen analyse, validatie hebben we wel standaard schema's.

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Vaak is de productinformatie BIM en zeker voor elk project wordt een execution plan opgesteld waar goede afspraken in worden gemaakt over bijvoorbeeld het nulpunt en de software.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

-

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

Er moeten meestal bepaalde documenten en tekeningen worden geproduceerd en daar wordt een documentenplanning voor gemaakt en er worden reviews geplanned. Daardoor wordt beheersbaar dat dingen op tijd geleverd worden en wordt op die documentenplanning ook gestuurd.

7. In welk subprocess komen veel fouten of knelpunten in de ontwerpfase voor?

-

8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

-

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

Volgens mij wordt dat om de zoveel weken met de projectplanning een standlijn gedaan en daar staan de ontwerp hoofdlijn activiteiten ook in. Maar je hebt ook het ontwerp nodig om je vergunningen te halen dus daarop wordt wel gestuurd.

10. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?

Dit wordt volgens mij handmatig gedaan met een standlijn er activiteit of het op schema loopt. Voor de projectplanning wordt bij iedere manager (zoals technisch manager) de percentages van de activiteiten opgehaald van hoever staan we en wordt ingevoerd. Hoe een ontwerpmanager dit werkelijk doet weet ik niet precies.

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Dit is moeilijk voor mij om goed te zeggen omdat ik nooit in een ontwerpteam heb gezeten. Ik weet dat menselijk wel de communicatie vaak een struikelpunt is.

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

Voor ontwerpfase ISO-9001, ISO-15288, ISO-15504 en bij ISO-15288 moet je bepaalde levels halen in processen en per proces geven we aan welke stappen je ongeveer moet doen en welke lessons learned over de gehele sector zijn vastgesteld. Bij level 1 heb je ze overgenomen, level 2 kan je het beheersen en level 3 ben je echt aan het meten of je echt voldoet en level 4 kun je voorspellen dat het resultaat wat je hebt binnen een bepaalde bandbreedte valt en dan heb je overal overzicht over. Op projecten moeten wij meestal level 2/3 halen en bij het opleveren level 4.

Daarnaast moeten we natuurlijk een de lijst met eisen van de opdrachtgever voldoen en geven we een managementspecificaties mee.

Ook hebben we de Basis-ILS waar we ons aan houden.

13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?

-

14. Wijzigingenproces. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Gelogd?/ tools)

Je moet goed onderscheid maken in eigen wijzigingen of contractuele wijzigingen. Bij contractuele wijzigingen ben je afhankelijk van je opdrachtgever en stakeholders. Klant eisenspecificatie wordt vaak gebruikt bijvoorbeeld. En eigen eisen kunnen afgeleide eisen zijn dat je bij een ontwerp ergens aan moet voldoen omdat er een bepaalde keus in een ontwerp

is gemaakt. En hierin hoeft niet vaak de klant goedkeuring voor te geven. Je moet onderling tussen de discipline afspraken maken over o.a. aansluitingen en het is handig om dit in eisen vast te leggen. Het kan zijn dat je opeens in het DO ergens achter komt en dan een wijziging wilt aanbrengen maar dit moet wel worden gedaan volgens het interne wijzigingenbeheer. Bij contractuele wijzigingen ben je dus afhankelijk van je opdrachtgever. Wat zelf intern wordt vastgelegd is relevant voor lessons learned in de organisatie.



In Relatics houden we in de wijzigingsmodule de wijzigingen bij voor projecten. Hierin staan ook de contractuele wijzigingen en die ondertekent de klant. Welke eisen worden gewijzigd en bijvoorbeeld op welk object is het van toepassing. Ook de interne wijzigingen worden bijgehouden en noemen we onder configuratiemanagement waaronder de SBS en eisen aanpassen vallen. Vanaf een bepaald moment in het proces moeten wijzigingen goedgekeurd worden en de wijzigingen worden live bijgehouden. Aan wijzigingen zitten eisen gekoppeld maar het is vaak dat een nieuwe eis komt of een eistekst verandert maar het kan ook zijn dat een eis wijziging geen ontwerp veranderingen als gevolg hebben. Bij wijzigingen worden ook financiën aan gekoppeld hoeveel een wijziging gaat kosten en moet de klant akkoord op geven. We proberen zoveel mogelijk naar eisen te vertalen anders komt het niet bij het ontwerpteam terecht.

Daarnaast worden wijzigingen bevroren in Relatics dat deze niet meer aangepast kunnen worden. En de wijzigingen vinden plaats tussen bepaalde baselines die wij vaststellen.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Voor de contractuele wijzigingen zou je een analyse kunnen doen waarom welke opdrachtgever bepaalde wijzigingen doet. Bijvoorbeeld omdat er een nieuwe wetgeving is gekomen of een bepaalde stakeholder etc. En als je dan opmerkt dat zoveel wijzigingen bijvoorbeeld door 1 bepaalde stakeholder komen kan dit anders gedaan worden in de toekomst. Dus het is handig om bij een wijziging de **organisatorische setting** in kaart te brengen met hoe komt deze wijziging tot stand met het **type contract en opdrachtgever**.

Voor interne wijzigingen gaat het om waarom hebben we het niet in 1 keer goed gedaan en waar lag dit aan. Interessant is welke discipline heeft de wijziging geïnitieerd. Het kan zijn dat doordat de installateur te laat met zijn spullen komt en daardoor opnieuw sparingen gemaakt/verandert moeten worden. En dan kan de installateur hierop aangesproken worden.

Ik denk dat je erg moet kijken naar hoe verloopt het ontwerp en hoe gaat de besluitvorming hierbij.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Wij houden wel de omschrijvingen van wijzigingen in Relatics in een aantal woorden bij maar dit wordt nog niet gecategoriseerd.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

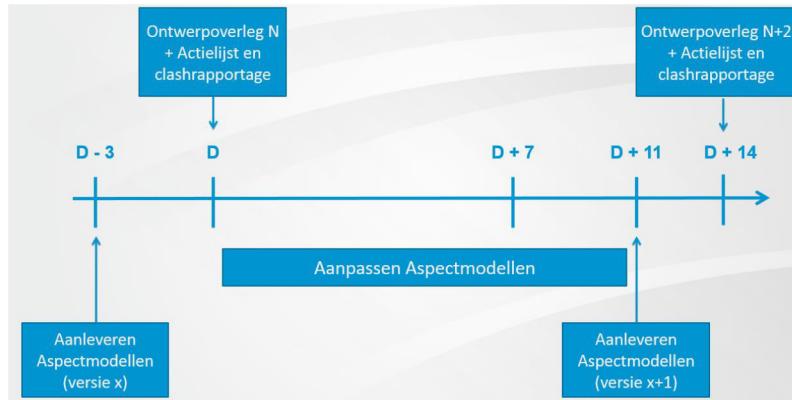
Ja zie vraag 15.

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

In de fasen voor DO worden wel meer beslissingen genomen maar of deze altijd dan ook meer zijn uitgewerkt is maar de vraag.

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

Er is vaak deze tweewekelijkse procescyclus ontwerpproces:



Maar ik weet niet hoe er binnen het ontwerpteam tekeningen worden uitgewisseld.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

-

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

-

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

Ja, alleen voor documenten Sharepoint en Chapoo en voor modellen wordt een server gebruikt en ook wel eens Autodesk Vault.

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

Relatics met expliciete data maar we hebben ook onze documenten wel eens via Relatics uitgewisseld.

24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

-

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

Een centrale plek krijgt waar de laatste stand van zaken in staat en je gaat informatie zoals WBS structuren hergebruiken. Uiteindelijk bevorderd het de integraliteit maar de mensen heb je wel nodig om het te kunnen implementeren. Relatics zelf is op zich wel een lege relationele database en we hebben zelf onze informatie en processen erin gezet.

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Volgens mij gaat het erom dat je een bepaalde workflow afspreekt en je kan allemaal dat verzamelen en bekijken welk event wanneer gebeurd en daar kun je dan analyses over houden om te kijken of je proces efficiënt werkt en of er knelpunten zijn.

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

We hebben wel een aantal kennisplatformen, 1 daarvan is voor innovatieve ideeën dus om al deze ideeën daarin iets mee te gaan doen. En we hebben een BESIXpedia waarin alle lessons learned op gezet kunnen worden. En voor documenten hebben we een technical knowledge management systeem met sterren van beste documenten.

Daarnaast gebruiken we wel Relatics om te sturen op performance indicators, KPI's en op projecten geeft dit wel inzichten in hier hadden we zoveel afwijkingen. Maar analyses voeren we niet echt uit, want we sturen nu meer op dat we zelf echt een project afronden.

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

We hebben wel bij projecten dat we de prestatie indicatoren definiëren, bijvoorbeeld zoveel beheersmaatregelen moeten we binnen zoveel tijd hebben afgerond en we houden de status bij. Eerst moet bekijken worden wat precies fout en goed ging en dat zijn wij nu aan het bekijken en daarna kunnen pas vergelijkingen en analyses nut hebben anders heb je geen vergelijkingsmateriaal en hierin is standaardisatie nodig. Dus we zijn bezig met informatie verzamelen.

Bijvoorbeeld bij de Velsertunnel kunnen we wel wat analyses al doen over het wijzigingspakket in Relatics zoals welke documenten zijn het meest aangepast en met financiële gevolgen.

Advies: organisatorisch is ook een belangrijk punt als je echt wilt slagen, want door miscommunicaties in de praktijk gaat vaak meer mis en het mensaspect heeft veel invloed op hoe dingen worden opgepakt.

Type contract van projecten is belangrijk welke je gaat bekijken.

Interview IMd Raadgevende Ingenieurs

Naam: Sander Duinker

Bedrijf: IMd Raadgevende ingenieurs

Functie: BIM modelleur, constructeur

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Constructief ingenieurs bureau en nu als grootste project landelijk is Schiphol pier. Mijn grootste project die ik het leukst vind is Boijmans van Beuningen en Hogeschool Utrecht.

Kernactiviteiten zijn construeren, rekenen en modelleren is een middel ervoor.

In de ontwerp fase communiceer ik o.a. naar externe en via een projectleider naar de aannemer en intern modelleer ik en beheer ik ze.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

Voor een modelleur is het interessant om met andere disciplines samen te werken, maar je moet niet teveel gaan afstemmen want dit kost teveel tijd. Een voorbeeld is dat een architect een tekening door geeft en wij als architect gaan daar onze kolommen op afstemmen maar de architect gaat nog het ontwerp veranderen. Er moeten goede (proces) afspraken gemaakt worden over wanneer je producten met elkaar deelt en wanneer het dus ook echt klaar is en niet meer (op bepaalde punten) gewijzigd wordt.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

Een projectleider of ingenieur maakt het schetsontwerp/voorontwerp, en in DO krijgen wij de schets en soms krijgt de architect deze eerder. Bijvoorbeeld bij Hogeschool Utrecht was onze tekening de basis voor het bouwkundig ontwerp maar dat komt niet vaak voor. Meestal heeft eerst een architect een model en zet het op een RevitServer en ga ik ermee aan de slag. Ik bouw wel alles zelf op als controle zoals het grit neem ik over want als je gaat kopiëren neem je instellingen mee en ik wil er wil grip op krijgen. Als we problemen tegenkomen moeten we overdenken in welke fase dit op moet lossen dus het kan zijn dat we er in het DO pas op terug komen.

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Ja, we gebruiken vaak een BIM protocol omdat dit dan een contractstuk is en moet iedereen het doorlezen maar zelf lees ik de afspraken die overeen gekomen moeten worden en zet ik eventueel mijn opmerkingen erbij. Bijvoorbeeld het nulpunt wat overeen wordt gekomen wordt bij elk project opnieuw gedaan en het is dan wel handig dat een BIM manager controleert. De BasisILS wordt hierin sinds een jaar wel overeen gekomen en steeds meer komt het voor dat een BIM protocol een A4tje wordt. Praktischer vindt ik gewoon samen over praten. Je bent namelijk erg gewend om op een bepaalde manier te werken en dan wil je eerder weten welke punten je daarin aan moet passen.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

Nee, dit is wel een goed idee.

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

Nu wordt de planning wel gebruikt om te bekijken hoeveel uur ergens in gaat zitten, maar dit wordt gewoon in Excel gezet. Maar de planningen worden vaak aangepast.

7. In welk subprocess komen veel fouten of knelpunten in de ontwerp fase voor?

Meestal kom je er achteraf achter dat dingen teveel tijd hebben gekost. Vaak BIM clash vergaderingen bijvoorbeeld duren meestal erg lang. Tegenwoordig moet er veel in elk project

steeds sneller gebeuren, maar input krijg je vaak op een laatste moment en worden deadlines verschoven. Vroeger moesten wij na de architect te werk gaan en nu moeten wij parallel lopen met hun en wordt er veel heen en weer gepingpong'd.

8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

Ja, ik zou me kunnen indenken vanaf VO dat de architect een grof model erin zet en dan de constructeur zijn delen erin zet. Daarna kan de architect zijn gang gaan met ontwerpen en op het laatst maken wij het af. Wij willen altijd eigenlijk de waarheid gelijk neerzetten en niet veel wijzigen, maar de architect staat daar anders in. Nu volgen wij vaak op de architect zijn aanpassingen, maar we blijven wel in aparte tekeningen werken en hebben nooit het bouwkundige model met ons model.

Daarnaast proberen we wel punten af te spreken waarop bepaalde objecten of modeldelen niet meer gewijzigd mogen worden, maar dit gaat vaak lastig. Zeker bij de overgangen van VO naar DO en DO naar TO moeten we compleet bouwkundig en constructie overeen hebben gestemd om naar de volgende fase te gaan.

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

Zie vraag 6.

10. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?

We hebben projectbesprekingen van te voren en daar brespreken we wanneer iets klaar moet zijn en daar praten we over. Per week kijk je wanneer heb je ongeveer welke input nodig en wat ga je leveren. We hebben iemand die de planningen beheert en geeft elke keer de tweewekelijkse planning uit en met die uren ga ik bij de projectleiders rond en langs bij de constructeurs wanneer ze hun input hebben.

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Ja, bij installaties gaat er vaak veel mis ook omdat ze pas later in het proces erbij komen of dat ze tijdens een proces stoppen met al die aanpassingen maken. Ook heb je de architecten waar op een gegeven moment zoveel drastisch wordt aangepast dat alles wordt omgedoooid. We houden vaak contact door middel van bellen en goed contact houden en mailen met verduidelijkingen.

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

Nee.

13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?

We hebben wel naderhand een besprekking en we hebben wel een kwaliteitssysteem waarin belangrijke punten ingezet worden. Bijvoorbeeld wat bij een project niet goed ging en ook externe klachten.

14. Wijzigingenproces. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Gelogd?/ tools)

Dit wordt niet bijgehouden en kost anders teveel tijd om dit wel te doen. Bijvoorbeeld een opdrachtgever kan tijdens het proces zien dat hij het ontwerp toch anders wilt en daardoor moeten verschillende dingen verandert worden. Dit kost op zich zelf al veel tijd met overleggen en wijzigingen aanbrengen.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Wijzigingen in het ontwerpproces noem ik niet zo, maar dit wordt niet bijgehouden alleen heb ik wel eens het idee dat ik iets al 3 keer heb gedaan en dan ga je opletten.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Nee dit staat in de kinderschoenen. Dit vond ik wel bij Relatics handig. Daar werd overzichtelijk de clashes aangegeven en werden de belangrijkste eruit gefilterd en de Revit id stonden daarbij en kon ik ze selecteren in Revit. Zo hoef je niet elke keer bij elkaar te komen. Clashen zijn nu natuurlijk anders dan wijzigingen.

Er worden in vergaderingen punten besproken dus dit staat in notulen en schetsen we de details.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

Ik zie zelf niet echt de nut ervan in behalve achteraf bij onenigheid, maar wij zijn een klein bedrijf dus we hebben goed overzicht overal op. Ik heb gewoon mail en belcontact met de architect en zo bespreken we zaken. Ik heb geen last van dat er geen traceerbaarheid is. Je moet je afvragen of het structureren meer tijd kost dan het zoeken. Probeer iets te creëren wat makkelijk te gebruiken is of waar je duidelijke afspraken over maakt.

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

-

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

Veel architecten werken in Archicad. Ik vraag me af of op de RevitServer echt het beste is om te gebruiken, want dingen die verandert worden kunnen ook telefonisch of met screenshots met elkaar uitgewisseld worden. En anders heb je het gepingpong met tekeningen over en weer. Op de RevitServer hebben we life modellen staan van de disciplines, maar als ik ga tekenen heb ik niet het architectenmodel open maar met nieuwe kolommen toevoegen bijvoorbeeld houd ik wel rekening met dat model. Je moet wel goed communiceren dat hij dan bijvoorbeeld niet precies bezig is met punten aanpassen die definitief worden. Life werken heeft wel valkuilen en op bepaalde momenten alleen uitwisselen is een gecontroleerdeerder proces.

IFC gebruiken we eigenlijk niet behalve naar de BIM manager bij grote projecten die vaak alleen IFC aangeleverd wil krijgen om de modellen te integreren, maar bij kleine projecten niet. Het is een vertaling dus er kunnen dingen misgaan dus als de architect ook in Revit werkt gebruiken RevitServer.

Ook nuttig zijn de BIM modelleerdagen dat we samen zitten werken, maar ik ga zelf gewoon vaak met de architect zitten als er belangrijke beslissingen genomen moeten worden dus veel meer maatwerk.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

Dit is een gevarieerd proces en naar mijn mening niet echt nodig want je komt toch altijd dingen tegen die je met elkaar moet communiceren en moet oplossen. De architect en constructeur hebben eigenlijk geen hulpmiddel nodig om hun clashes te vinden want ze kennen het model wel uit hun hoofd.

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

-

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

Ja, en bij Hogeschool Utrecht hebben we alle informatie in Relatics gezet maar ik vind het overdreven en je bent veel tijd kwijt met alles invullen. Voor ons is het niet praktisch. Ik heb een documentenlijst met alle versies en dat werkt prima. Verder DocStream, Chapoo. Vanuit de opdrachtgever wordt er geëist wat we moeten gebruiken.

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

-

24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

We hebben een archiefschijf en gebruiken windows verkenner.

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

Opzicht de clashlijst is handig in Relatics, maar ik krijg geen feedback bijvoorbeeld op mijn teksten maar bij mail krijg ik dat wel. De persoonlijke link met Relatics is er niet en vergeet je snel.

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Nee.

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

Meer op ervaringsniveau kijken we wel in ons archief als we in een ander project iets soortgelijks hebben gehad, dat we dat erbij kunnen pakken. We zijn een klein bureau dus we wisselen met elkaar wel kennis uit, maar nu we groter worden heb je minder overzicht en vinden we het wel vaker uit. We zoeken wel naar een gestructureerde methode hoe we dit kunnen doen. We hebben 4 directieleden die beginnen met een project en die hebben overzicht hierover. Hetzelfde geldt voor modelleursoverleg waar interessante dingen gedeeld worden en dat moet je dan onthouden.

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

-

Tip: ik denk dat projectleiders hier meer kijk op hebben.

Interview Kraaijvanger

Naam: Laurence Meulman

Bedrijf: Kraaijvanger architects

Functie: Architect projectleider en Revit deskundige

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Architectenbureau waar we ons voornamelijk in de utiliteitsbouw begeven omtrent het ontwerp en interieur.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

Vanaf ongeveer 2009 zijn wij begonnen met BIM en onze processen zijn veranderd van 2D tekenen in Autocad en Vectorworks naar Revit. Door BIM toe te passen is er een betere afstemming tussen disciplines en consistentie als bijvoorbeeld Relatics wordt gebruikt.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

In het gehele proces hebben wij de volgende aanpak:



En binnen het ontwerpproces beginnen we met tekenen en al snel gaan we in Revit werken, daarna werken we het meer uit en pas vaak vanaf VO komt de constructeur erbij en de installateur pas in DO of helemaal niet dus dan doet de aannemer het compleet.

4. Wordt er een BIM execution plan of zoiets gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Per project verschilt dit. Als er in een BIM samenwerking wordt gewerkt wordt er ook een BIMprotocol toegepast waarin we afspraken overeen komen.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

Per fase van een project maken wij een planning met de producten en capaciteit erin voor onze uren. En per week wordt er bekeken hoeveel uren eraan gewerkt is en in teams van 5/6/7 man worden wekelijks meetingen gehouden om zo de voortgang te bewaken.

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

Dit wordt dus gedaan op basis van geleverde producten en de uren hierbij.

7. In welk subproces komen veel fouten of knelpunten in de ontwerp fase voor?

In het proces waarin de installateur erbij komt, want er is dan veel afstemming met de partijen nodig maar de installateur doet zich vaak een lange tijd afwachtend voor zodat de architect en constructeur al veel hebben uitgewerkt. Dus zij komen te laat in het proces en er worden dan ongeveer 2 wekelijks ontwerp overleggen gedaan waarin issues worden aangepakt en bijvoorbeeld de eisen en oplossingen van de disciplines op tafel komen.

8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

Ja, er wordt veel op het laatste moment gewijzigd doordat de installateur laat in het proces erbij komt.

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

Dit wordt gedaan aan de hand van de producten die we 'op tijd' leveren volgens onze planning.

10. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?

We houden niet echt dit proces heel erg bij omdat het een creatief proces is met vele ontwerpkeuzes en veranderingen.

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Dit is erg divers, maar tussen constructie en installaties komen wel vaak issues voor.

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

Dit hangt af van het soort project, contract en opdrachtgever en of het ontwerp al vastligt, maar dan kan het nog zijn dat het totale ontwerp gewijzigd moet worden. We bepalen in het contract welke activiteiten en producten geleverd worden en we hebben een standaard contract waarin we eisen aan documenten en modellen vaststellen.

13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?

Het kwaliteit is lastig te bepalen, maar we hebben wel een calculator die toetst of het model voldoet aan het Bouwbesluit en het PvE. We houden ook wel na elk project een interne evaluatie en heel soms ook extern.

14. Wijzigingenproces. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Gelogd?/ tools)

Nee. Wel houden we in verslagen de besproken wijzigingen bij, maar wij zoeken dan op de schijf of in mail.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Welke wijzigingen welke oorzaken hebben en meerkosten. Maar ook de start en eind status bij wijzigingen en bijbehorende redenen.

In de bouwfase kan het zijn dat er een ontwerpfout was die verandert moet worden of een klantvraag of aannemersvraag.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Zie vraag 14.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

Ik zie daar nog niet helemaal de meerwaarde van in.

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

Concept is schetsmatig en starten we mee en heel soms in Revit, maar eerst is het proces erg flexibel en na aanbesteding heeft alles meer impact. Je moet tijdens de ontwerpfase eigenlijk geen meerwerk krijgen. Vanaf TO kan je ook nog wijzigingen hebben, maar dit wordt vaak

geregistreerd om te zien bijvoorbeeld of het estetische beeld voldoet aan PvE, maar de aannemer is dan verantwoordelijk.

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

De uitwisseling van modellen tussen disciplines wordt vaak gedaan via de RevitServer als alle disciplines met Revit werken. Als er in verschillende software wordt gewerkt wordt er door middel van IFC uitgewisseld. Het is wel zo dat architecten niet vaak enthousiast zijn om gelijk te werken in Revit en werken nu nog vaak in Autocad en Sketchup.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

De voorkeur gaat meestal uit om 1 keer per week via de cloud te delen. Bij Hogeschool Utrecht uploaden we eind elke week onze definitieve tekeningen op Relatics en zo konden de clashsessies gebeuren door de BIM manager.

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

-

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

Ja, als bij de uitvraag Relatics wordt aangegeven (UAV-GC contracten).

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

Expliciete data.

24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

Voor documentenuitwisseling gebruiken we een cloud server om eigen documenten te delen met disciplines.

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

Met Relatics kan je op een gestructureerde wijze de projectinformatie delen en vastleggen, maar het kost nu alleen wel veel tijd.

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Nu weet ik meer dat het over registreren van activiteit gaat en je daar analyses mee kan doen.

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

We hebben alleen handmatig een korte periode bijgehouden welke activiteiten er werden uitgevoerd.

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

Kennisdeling doen we met het bureau om van elkaar te leren. Iedere week geven we ook intern presentaties over het project waar je mee bezig bent. Zo kan er ook gezien worden hoe de capaciteit verdeeld is.

Interview Strukton

Naam: Rafke Hazen

Bedrijf: Strukton

Functie: Integraal ontwerpleider

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

Ik werk bij Strukton als integraal ontwerpleider meer in contact met de klant en o.a. de nieuwe wensen en wijzigingenbeheer voor de Hogeschool Utrecht en hiervoor hebben we samen met BESIX na gunning een nieuw bedrijf opgericht genaamd SPARK. Daarnaast heb ik collega's die meer op het gebied van installatietechniek en bouwtechniek werken. We hebben dan de ontwerpleider bouw die de partijen aanstuurt op inhoud. Ik zit hier meer boven om dit samen te coördineren en naar de klant toe te brengen. We hebben meerdere managers die met de klant contact hebben, namelijk aan de proces kant en de DBM omdat het dit soort contract is en ik en de projectleider vanuit de realisatie.

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

Bouw informatie management dus het totaal van de informatie managen en delen en documentstructuur aanhouden en alles wat daarbij komt kijken zoals je risico's, afwijkingen. Dus dit gaat over informatie, administratief en echt het bouwwerk. Bij Hogeschool Utrecht zijn we uiteindelijk direct na gunning met een Relatics omgeving gestart waarin we onze informatie managen.

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

Natuurlijk heb je de basis ontwerpfases en in principe wordt vanuit de eisen ontworpen. Voor ons managementplan werken wij op basis van werkpakketten. Deze hebben we ingericht op basis van de nl-sfb codering en daarnaast voor het project specifiek gemaakt. En wij krijgen bijvoorbeeld alleen die informatie aangeleverd van de klant die wij nodig hebben om op aan te sluiten, omdat hij ook delen zelf uitvoert. Het is een wisselwerking in welke informatie wij krijgen en wat wij denken nodig te hebben.

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Voor het 3D modelleren hebben we een BIM protocol, om af te spreken hoe wordt omgegaan met modelleren. Voor het documenten management is altijd de oproep om zoveel mogelijk met elkaar te delen.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

-

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

Eigenlijk aan de hand van de planning waarin aangegeven wordt wat de fases in een project zijn en welke producten er wanneer geleverd moeten worden.

7. In welk subproces komen veel fouten of knelpunten in de ontwerpfase voor?

-

8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

-

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

We hebben elke week ontwerpoverleg en tegenwoordig is dit ontwerp en realisatieoverleg omdat dit er al tegenaan zit in doorlooptijd en de ontwerpen kan communiceren met de werkvoorbereiding. Hierdoor krijg je minder dat het ontwerpteam iets bedenkt dat in uitvoering niet gemaakt kan worden. Die overleggen doen wij op basis van de werkpakketten thema's zoals plafonds, installatietechniek. Het is afhankelijk waar er behoefte aan is en aan de hand van deze thema's wordt ook de planning bekeken van hoever we staan en waar we bijvoorbeeld vaart achter moeten zetten. Op basis van de nl-sfb codering hebben we de hoofd thema's en hebben wekelijks op de agenda punten waar veel bij elkaar komt en wanneer er issues/ clashes zijn worden die toegevoegd. Als we een hele tijd niks te bespreken hebben over een thema dan kunnen we het schrappen van de agenda.

10. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?

-

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Er kunnen wel zaken worden besloten in DO waar de realisatie nog niet bij betrokken was, maar het heeft vaak minder impact als het nog in de uitvoering gewijzigd moet worden. Hoofd werkvoorbereiding was bij HU al wel vroeg rond DO in het proces dus voorkom je dat meer.

Ook worden er basisprincipes afgesproken over wat leidend is als er issues zijn. Deze basisprincipes worden afgesproken in het teamoverleg of clashoverleg, dat ligt aan waar het beland. Qua issues moet het ontwerpteam het eerst samen overeenkomen, als dit niet lukt wordt er een besluit gemaakt bijvoorbeeld op basis van kosten of tijd. Er wordt soms een trade-off matrix gemaakt om te kijken welke optie het beste is en dit wordt ook vastgelegd en iedere discipline moet daar zijn handtekening onder zetten. En bij kleine beslissingen worden gewoon knopen doorgehakt en alle besluiten worden vastgelegd en die kunnen we koppelen in Relatics. Ik typ een notulen met beslissingen die we hebben genomen en in Relatics zet ik apart de besluiten en koppel ik aan een document en aan een thema.

Het kost veel tijd om besluiten vast te leggen en je moet alert zijn op wat precies een besluit is en tot dat het verandert is wat het daarvoor was.

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

Ja we gebruiken het projectmanagementplan van BESIX en dit is een standaard. De Relatics omgeving van BESIX is hierop afgestemd.

13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?

We houden om de zoveel tijd audits of we aan het projectmanagementplan houden.

14. Wijzigingenproces. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Gelogd?/ tools)

In het projectmanagementplan hebben we een schema hoe we omgaan met wijzigingen en we hebben we het net iets anders ingericht dus hebben we een iets anders schema opgesteld. Binnen Relatics hebben we een module waarin dan printscreens gezet worden van de clash met een naam eraan gehangen.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Het is lastig wat je vastlegt en wat meldt je extern qua afwijkingen en wijzigingen. In UAV-gc contract is wijziging iets wat permanent verandert en dit moeten we melden en een afwijking is de weg die er naartoe verandert maar het eindresultaat niet. Wanneer we een

ontwerpwijzigingen hebben moet deze altijd gemeld worden en bij afwijkingen niet altijd. Alleen vanaf een acceptatiemoment van VO naar DO bijvoorbeeld moet in DO een afwijking altijd worden gemeld. In iedere fase moet je dit opnieuw doen. Wij hebben ook met een aantal wijzigingen pakketten ervan gemaakt. Als bijvoorbeeld een halve verdieping wijzigt is dit 1 wijziging en vaak heeft dit ook 1 reden/oorzaak.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

Intern doen we dat met een ontwerp/ realisatieformulier en met name intern houden wij een reden bij, meestal is dat kosten of een eis wijziging. Op het moment dat een klant met een eis/wens komt en dit wordt in Relatics zo omschreven.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

-

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

Vanaf het moment dat je bezig bent met uitwerking in het ontwerp. Dus wanneer je de opdracht hebt en intern principe keuzes/besluiten vast te leggen is wel met advies.

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

De disciplines zitten vaak bij elkaar te werken en er zijn losse aspectmodellen dus bijvoorbeeld prinklermodel en die worden op maandag door de coördinator bij elkaar gevoegd. En dit wordt iedere maandag verstrekt aan het hele team door volgens mij IFC. In een mailtje wordt dit verstrekt en dan heeft iedereen elkaars nieuwste model en is er iedere week een nieuwe baseline.

De installateurs leveren later in het proces hun producten maar geven een ruimtereservering waar eerst de contouren instaan voor hun installaties.

In Relatics worden ook iedere keer de modellen geüpload en daar zie je onder alle versies en dit is van alle losse aspectmodellen maar ook de coördinatie modellen.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

Naast het ontwerp en realisatieoverleg hebben we clashoverleggen, waar alleen de 3D BIM clashes worden besproken. Daar zitten dan de engineers en modelleurs aan tafel over het technisch inhoudelijke. In het ontwerp en realisatie overleg wordt de top 10 clashes besproken in meer samenvatting die zijn opgelost of waar de modelleurs niet uitkomen.

Er wordt niet altijd over alles gesproken omdat dat ook in het clashoverzicht in Relatics terug gevonden kan worden.

Op en een gegeven moment hebben we clashdagen omdat er zoveel clashes zijn en wordt er bij elkaar gezeten tot dat we naar de keet gaan. Nu we in uitvoering zitten wordt er geen externe ontwerper meer ingezet en zijn er bouwkundig minder clashes omdat het ontwerp vast staat.

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

-

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

Ja, maar vanuit Strukton gebruiken we het niet bij elk project. Dit wordt soms vanuit de klant aangegeven maar soms geven wij aan dat we een platform willen om de eisen in te beheren.

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

Expliciete data, maar we gebruiken Relatics ook wel om documenten op te zetten en te koppelen met bijvoorbeeld besluiten.

24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

-

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

-

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

Nee.

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

Ja, zoals vandaag kwam de realisatie ermee dat bepaalde zaken niet in uitvoering gemaakt kunnen worden en wel een kostenkwestie erbij komt kijken. Hier werd terug voor gekeken waarom die ontwerpkeuze is gemaakt.

Daarnaast bij het tenderproces bij Strukton hebben we wel evaluaties over hoe is het proces gegaan en komen ook punten uit en in team overleggen wordt dit gedeeld. Maar hoe dit bij projecten gaat, zou dit wel moeten gebeuren maar waar het wordt opgeslagen weet ik niet.

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

-

Interview BESIX

Door beschikbaarheid van beperkte tijd bij de geïnterviewde persoon zijn de algemene vragen bij dit interview uitgelaten.

Naam: Thomas van den Bergh

Bedrijf: BESIX

Functie: Senior projectmanager

1. Wat is de kernactiviteit van uw bedrijf?

-

2. Wat is uw perceptie van BIM? En hoe heeft BIM jullie processen beïnvloed?

-

3. Uit welke sub processen bestaat het ontwerpproces?

-

4. Wordt er een BIM execution plan of iets dergelijks gebruikt? En hoe wordt dit gebruikt in het proces?

Ja, op ieder project waar BIM wordt gebruikt is er een protocol en wordt een scope bepaald met acties.

5. Wordt dit vergeleken met hoe het proces in werkelijkheid verloopt?

-

6. Hoe worden ontwerpprocessen gemonitord en gemanaged?

Er zijn contractuele eisen waaraan moeten worden voldaan en goedkeuringsprocedures, maar tijdens het proces kunnen hier ook wijzigingen optreden en ambities veranderen. Dit brengt meerkosten met zich mee.

7. In welk subproces komen veel fouten of knelpunten in de ontwerp fase voor?

-

8. Is hierin behoeften om dit proces te verbeteren? En hoe?

-

9. Hoe wordt de ontwerplanning gebruikt om te reflecteren aan hoe het ontwerp proces verloopt?

-

10. En hoe wordt gecheckt of het proces volgens planning verloopt?

-

11. Herkent u patronen in de activiteiten (bijv. dezelfde fouten/activiteiten) in het ontwerpproces bij projecten? En tussen welke partijen komen vaak problemen voor?

Vaak met MEP, omdat zij een aanname doen in het begin van het ontwerpproces en later nog veel aangepast moet worden.

12. Gebruikt u standaarden voor de procesbeheersing? Zo ja, welke en hoe?

-

13. Hoe wordt de kwaliteit van het proces beoordeeld?

De kwaliteit wordt bewaakt door twee wekelijkse progressie vergaderingen en maandelijks kwantitatief kijken we naar Level Of Detail hoeveel er is uitgevoerd. Ook zijn er cross audits die gehouden worden om andermans (collega's) werk te checken.

14. Wijzigingenproces. Hoe wordt het verloop van wijzigingen in het ontwerpproces bijgehouden? (Gelogd?/ tools)

Er zijn verschillende wijzigingen vanuit de klant, namelijk kleine worden opgenomen en uitgevoerd en bij grote wijzigingen wordt het contract aangepast. Dit wordt van te voren geschat in tijd en geld. Het is moeilijk om een overzicht te creëren nu van alle wijzigingen en de argumentatie wordt ook niet bijgehouden.

15. Welke informatie van wijzigingen zou nuttig zijn om te loggen (zoals geometry van bouwdelen)?

Het is nuttig om te registreren wat de oorzaak en impact van wijzigingen zijn om deze te beheren en wie dit aanvaart (zoals de opdrachtgever). Ook de kosten waardoor is wel interessant. Daarnaast veel projecten die een opdrachtgever heeft zijn niet hetzelfde dus het is eerder handig voor opdrachtgevers die wel dezelfde soort projecten in bezit hebben waarvoor de wijzigingentracking nuttig is.

Ook de criteria voor aanvaarding is misschien een punt om mee te nemen, want dan kan het wijzigingenproces veel sneller gaan. Ook is er nu geen controle van afgehandelde zaken.

16. Hoe worden de redenen van ontwerpwijzigingen bijgehouden?

De redenen achter besluiten staan niet vast. Wel in vergaderingen wordt veel besproken en genoteerd. De lessons learned zitten vaak in het hoofd en worden gedeeld in kennisdeling binnen het bedrijf. Op technisch vlak gebeurd het meer door Technical knowledge management. Om echt tijdens een project kennis bij te houden kost vaak teveel tijd en moeite.

17. Zou het nuttig zijn om wijzigingen (en de redenen en personen) bij te houden om op terug te kunnen kijken (in een soort logboek)?

Ja, om zo de resources uit vorige projecten te kunnen bekijken en de kosten die hierbij behoren. Er worden ook veel keuzes gemaakt die van invloed hebben op het ontwerp en de beslissingen zijn nu niet gekoppeld met waarom dat is gedaan.

18. Vanaf welke fase zou het nuttig zijn om deze wijzigingen te documenteren?

In de SO en VO fase zijn er geen contractuele wijzigingen, dus vandaar zou het in de fase DO en later interessant zijn om het wijzigingenbeheer met koppelingen bij te houden.

19. Hoe wordt uitwisseling van modellen tussen disciplines gedaan (Revit/IFC)? Wanneer?

Revit en dwg en IFC, maar met IFC is niet altijd de geometrie perfect.

20. Waar bestaat het clashproces uit? Hoe wordt dit gedaan?

-

21. Wordt een object status bijgehouden hoever het in het ontwerpproces is?

-

22. Gebruikt u deze omgevingen, zoals Relatics, en zo ja welke?

-

23. Is dit met expliciete data of op basis van documenten?

-

24. Waarom gebruikt u deze omgeving en op welke manier (bijv. alleen document uitwisseling)?

-

25. Wat vindt u de meerwaarde van de omgevingen?

-

26. Weet u wat process mining inhoud en zo ja, wat?

-

27. Wordt er al gebruik gemaakt van de geschiedenis van projecten om daarvan te leren voor toekomstige projecten, zo ja hoe werd dit gedaan?

-

28. Welke voordelen zijn daaruit gekomen / denkt u die er kunnen ontstaan?

-

Meeting with Process Gold (Process Mining and Business Intelligence company)

This company focuses especially on analysis of processes automatically on the basis of data (which may be present in different systems). To do this automatically only three data elements are required.

- Identifier: A unique number to follow an item in the process
- Activity: An action performed on the item
- Timestamp: The time when the action takes place

With an algorithm this data the process could automatically be mapped to be analyzed further. If more data is available than these 3 required elements, this could be included in the analysis in a BI platform of the Process Gold company (e.g. relevant people / teams or the type of bill). How the events will be filtered depend on the information which is needed and the type of process which is analyzed.

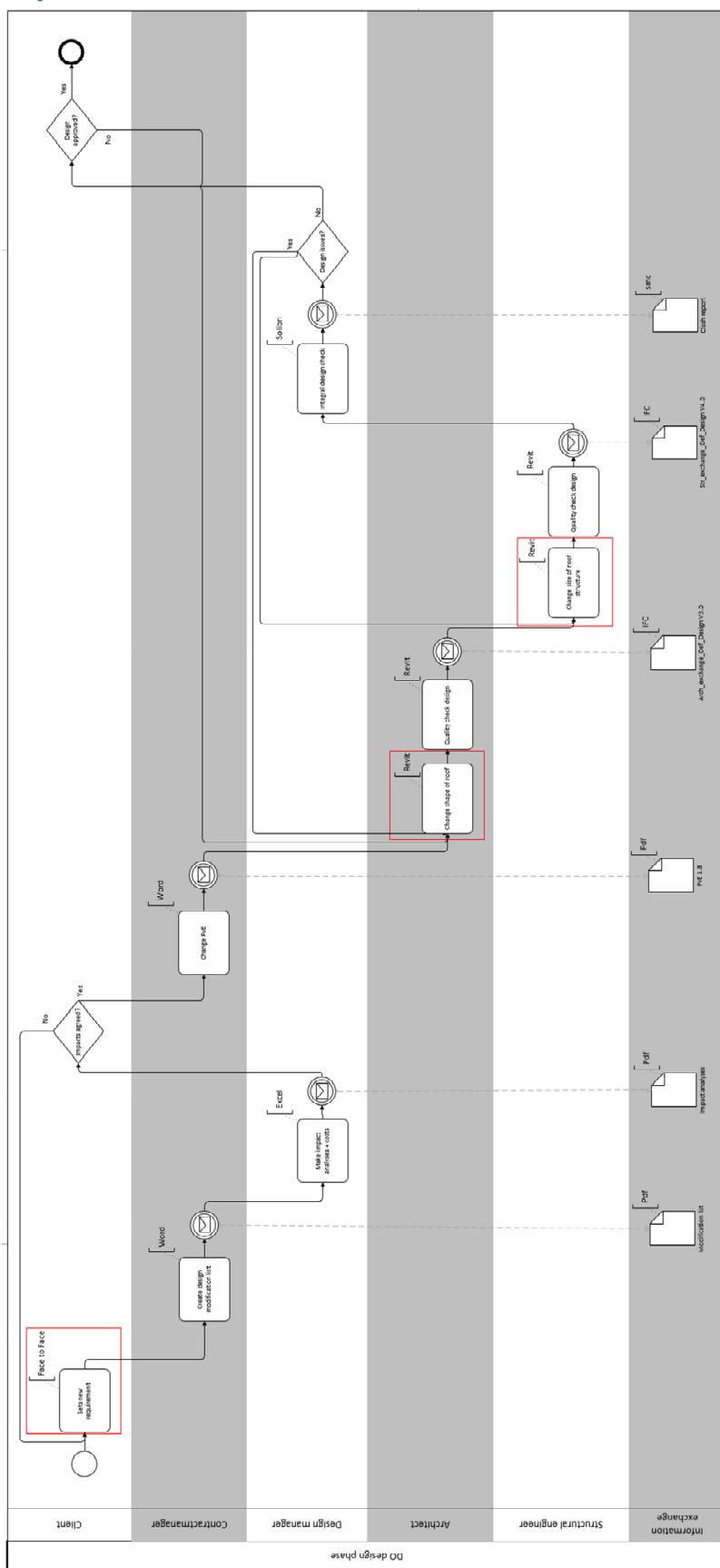
Meeting with ZuiverICT (Process Mining company)

At construction companies we only have experience with Boskalis. Therefor we do Process Mining in infrastructure. We use Celonis as Process Mining software package to make SAP transparent. In construction projects the purchasing process is the most suitable process for now where we can do Process Mining because here most companies have their data registered. Often a client has a problem what will be the start of the process mining process. An example of a client question is where deliveries are exceeded and therefor real time monitoring will be done. Also with Process Mining decisions can be supported and predictions can be made on how a process could proceed. It can also be noted where improvements in the process must take place. Also benchmarking (compare with other companies) is possible to learn from others.

Process mining is not the first phase of the whole analyzing process. In all cases the quality of the data is important to carry out analyzes. The next step is Business Intelligence and after that Process mining. The last step is data science and predictions.

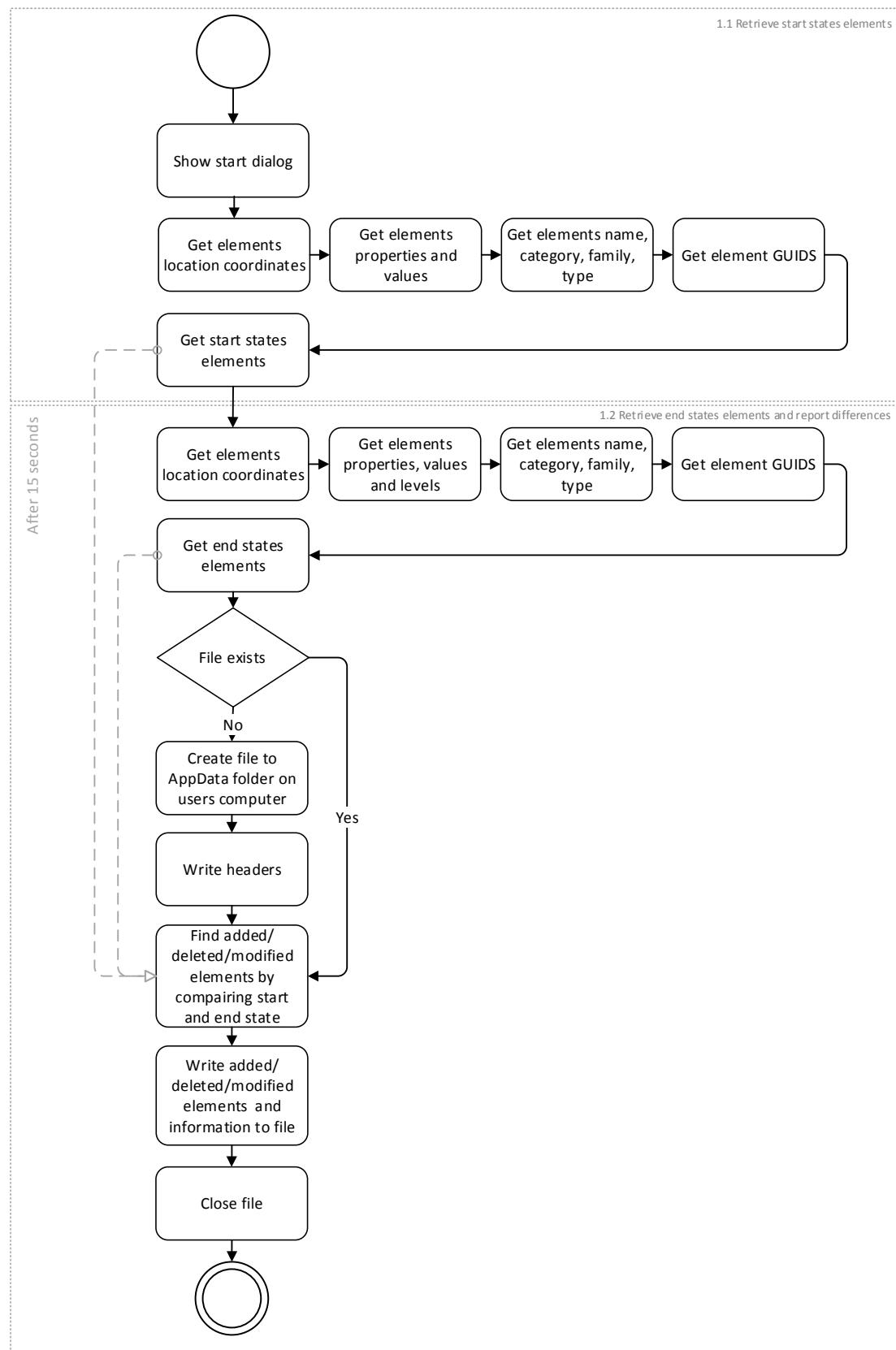
At the start, companies need to know how the situation of the company is now and which problem(s) they want to solve and why. It depends on the problem definition of the company on how the data could be filtered. For example a company want to know where activities take longer than expected and to shorten the time period to save money, then the duration of the events are important in the data. Often in conversations with the client the data which will be needed will be discussed. The format where the data is gathered is more often csv instead of xml by ZuiverICT. ZuiverICT uses SQL for preparing the data.

Appendix II: BPMN visualization in the design phase within a (big) construction project

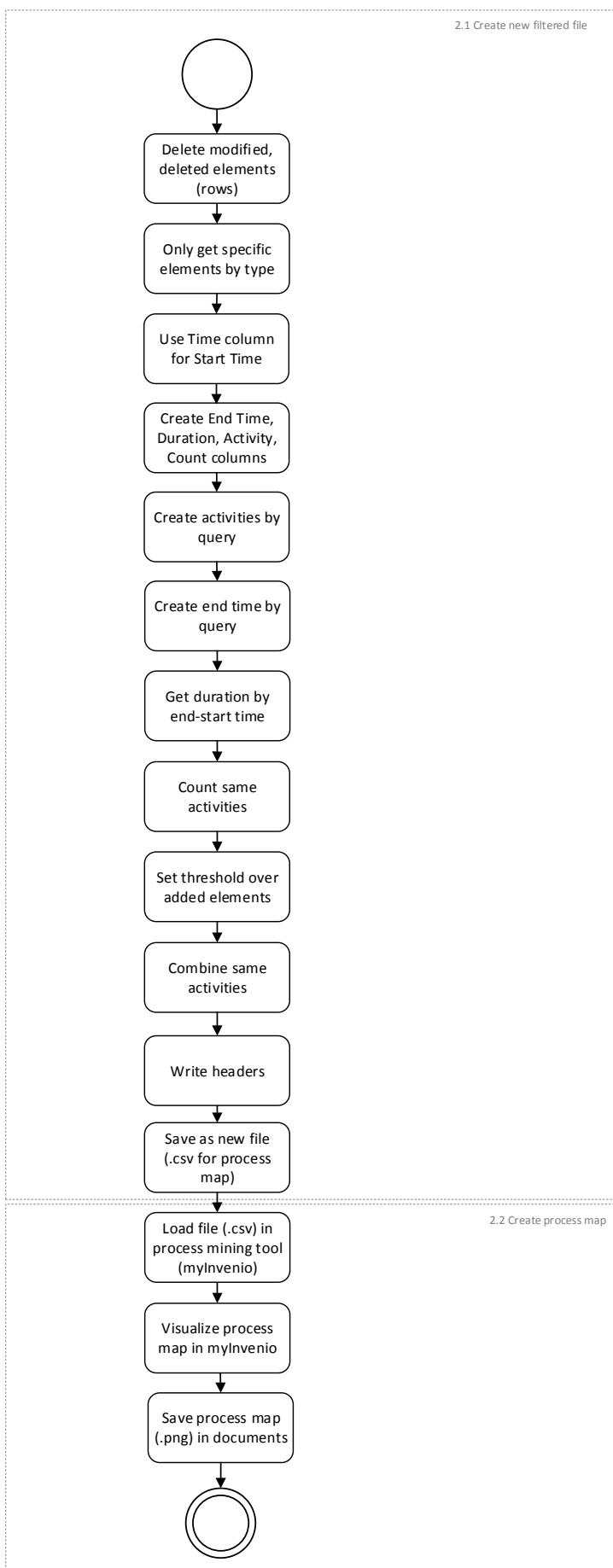


A BPMN visualization in design phase of a construction project

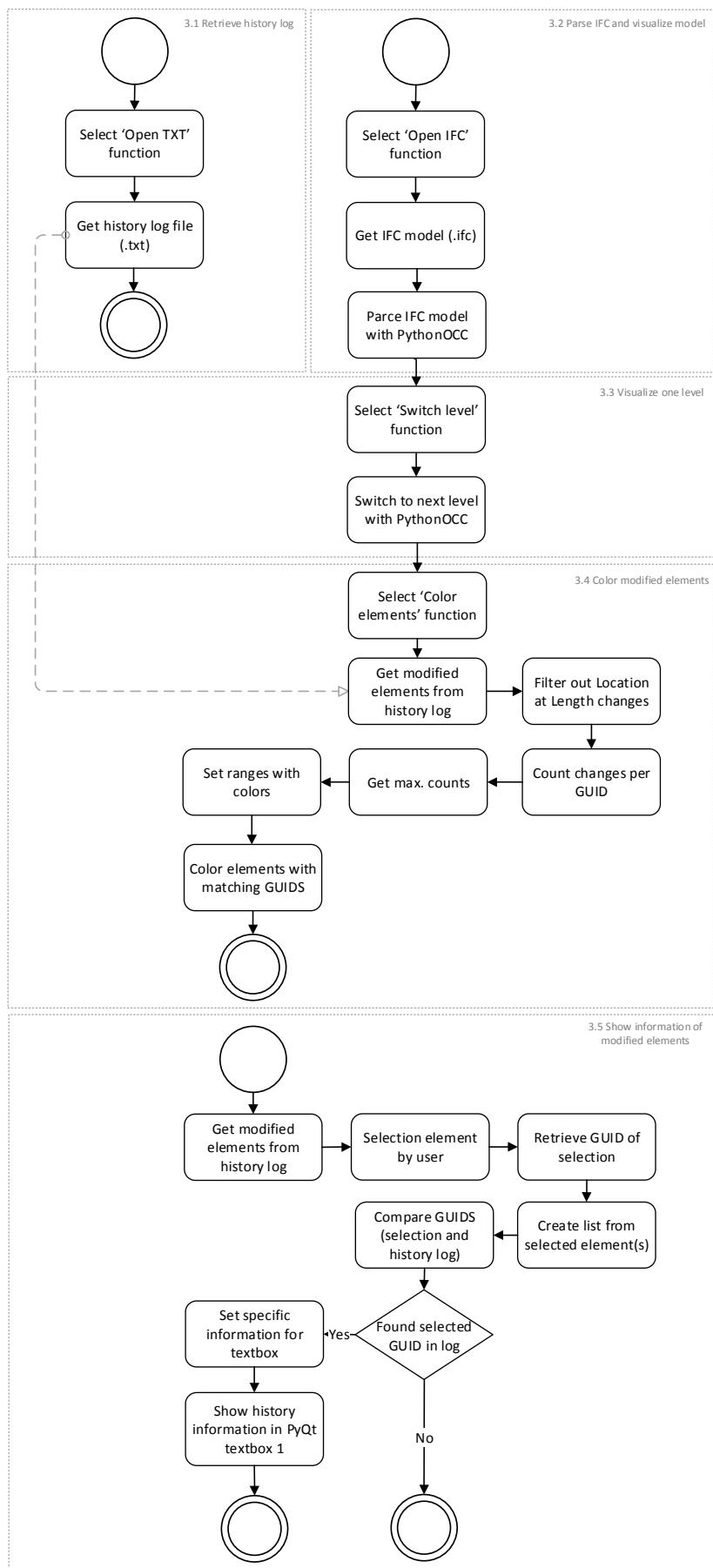
Appendix III: Flowcharts for data collection, transformation and visualization



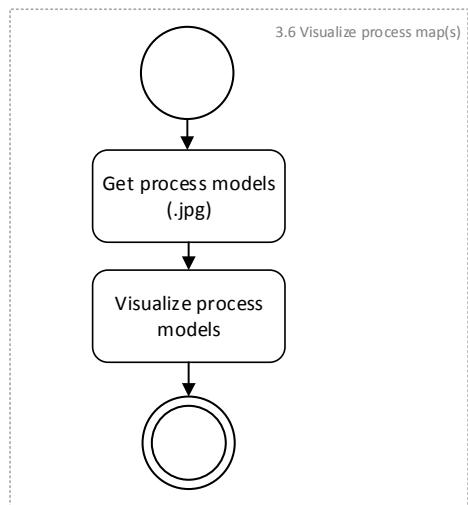
Flowchart to view the process steps of the data extraction (related to the C# code).



Flowchart to view the process steps of data filtering (related to the Python code).



Flowchart to view the process steps of the data visualization (related to the Python code).



Flowchart to view the process steps of the process models visualization.

Appendix V: User manual for data collection

Project: School Case

Author: Claudia van der Graaf

Date: 27-07-2017

Version 3.0

1. Welcome

This document consist of a user manual and a program of requirements for different Revit users and is part of the graduation research of Claudia van der Graaf.

The purpose of this document is to instruct on how to use the created tool for Revit and the screen video tracking software. The steps in this document need to be performed by the users. The steps indicate what needs to be done by the user.

The end results will be data of the design actions, which are done by the user in the Revit project. The data contains the objects within the Revit project which are added, modified or deleted. This data will be used to gain insight and improve the design processes.

The total time to carry out this case is approximately 1,5 hours.

2. Introduction

In this chapter the System Breakdown Structure of the required system, with the underlying systems and objects, is elaborated. The required system which need to be designed is a school building.

In Chapter 3 the design, building and object requirements are stated. The design needs to meet these requirements approximately.

Within Chapter 4 some adapted requirements are stated. The purpose of this chapter is to detect which design actions are being done to meet these requirements. As an example; in a real project the client could require new or other requirements during the design process.

In Chapter 5 the process steps for the user are described (from installing the tool and software to finally sending the required files). Also, in these steps will be referred to Chapter 3 and 4.

2.1 System Breakdown Structure (SBS)

Systems, such as a building, consist of parts (spaces) that can only fulfill the function of the system together. These parts consist of building components. Building components are physical objects in the building.

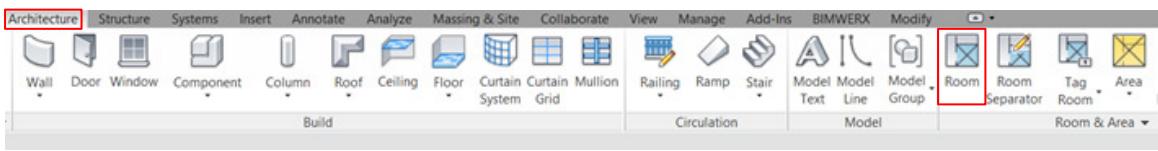
A System Breakdown Structure (SBS) is used to breakdown the system into objects. Large amounts of data are kept clear in objects. The breakdown is in the form of a tree structure. In an object tree underlying objects form together the parent object. If you drop a level in the tree, you can read the relationships with the underlying objects: "consists of". Vice versa, the relation of an object with its parent object is read as "is part of".

The SBS is less detailed and complete then all objects in a real-life school project. This is due to the lower level of detail which is needed for this research. The SBS is shown in the table below.

Parent system	Underlying systems	Underlying objects
> School	> Restaurant	> Kitchen > Storage > Dining area
	> Working areas	> Study areas > Working rooms
	> Educational areas	> Classrooms > Computer rooms
	> Facility areas	> Entrance > Reception > Storage
	> Traffic areas	> Horizontal traffic area > Stairs > Elevator
	> Sanitary	> Toilet male > Toilets female

3. Design requirements

Within this chapter the requirements for the designing process and the building (with objects) are elaborated. The required school project need to be designed. The design does not need to meet the requirements below on an exact way. Conclusion: meet the design, building and object requirements approximately (i.e. the building could have a width of 25 and a length of 35).

Do's and don'ts designing
Use Revit 2016 (not Revit structure).
Use the <u>same</u> family and type for the same type of objects (i.e. for all external doors use the same type of door and materials).
No furniture or kitchen furniture must be drawn.
Do <u>not</u> copy a whole floor or rooms etc.
Do <u>not</u> select multiple objects to modify, copy or delete.
Do <u>not</u> open another Revit file when using the Add-in.
Insert the room names (use the underlying object names in the SBS) in the rooms your design in this way: Click on the 'Architecture' tab, 'Room' and click in a room. Double click on the Room name and change this to the object (i.e. Classroom 1).
 Use for external walls:  Exterior - Brick on Mtl. Stud

Use for internal walls: When this not exists in your Revit: use a wall for external walls in which 'Exterior' is stated use a wall for internal walls in which 'Interior' is stated	 Interior - Blockwork 100
Use for roof:	roof type does not matter

3.1 Output specification

Building

Requirement name	Description
Minimum width	20 meters
Minimum length	30 meters
Floor levels	<ul style="list-style-type: none"> - Ground floor - Floor 1 - Floor 2
Free height of floors	2.60 meters
Construction	Columns within the building every 5 meters in length and 4 meters in width on every floor.
Roof	Flat
Accessibility	<ul style="list-style-type: none"> - Every room needs to be accessible for people (i.e. by using doors) - Roof needs to be accessible (i.e. by using stairs)

Restaurant

Kitchen	
Amount	1
Minimum surface area (m2)	30
Floor	Ground floor
Storage	
Amount	1
Minimum surface area (m2)	15
Floor	Ground floor
Dining area	
Amount	1
Minimum surface area (m2)	200
Minimum daylight (m2)	10
Floor	Ground floor

Working areas

Study areas	
Amount per floor	Floor 1: 1 Floor 2: 1
Minimum total surface area (m2)	90
Minimum daylight per room (m2)	3

Working rooms	
Amount per floor	Floor 1: 1 Floor 2: 1
Minimum total surface area (m2)	100
Minimum daylight per room (m2)	3

Educational areas

Class rooms	
Amount per floor	Ground floor: 2 Floor 1: 4 Floor 2: 4
Minimum surface area per room (m2)	50
Minimum daylight per room (m2)	5
Computer rooms	
Amount per floor	Floor 1: 1 Floor 2: 1
Minimum surface area per room (m2)	50
Minimum daylight per room (m2)	5

Facility areas

Entrance	
Amount	1
Minimum surface area (m2)	90
Accessibility stairs	The stairs need to be reached from the entrance.
Reception	
Amount	1
Minimum surface area (m2)	20
Openness reception	In one internal wall a window needs to be added to see the receptionist.
Floor	Ground floor
Storage	
Amount per floor	Floor 1: 1 Floor 2: 1
Minimum surface area per storage (m2)	5

Traffic areas

Horizontal traffic areas (areas between rooms among others to walk)	
Minimum width	2 meters
Staircase	
Amount per floor	1
Minimum surface area per floor (m2)	15
Elevator space	

Amount	1
Minimum surface area (m2)	2.5
Elevator top	The top is equal to the roof.

Sanitary

Toilets Female	
Amount per floor	3
Minimum total surface area per floor (m2)	15
Minimum area per toilet	A required toilet room must have a floor area of 0.9 m x 1.2 m.
Toilets Male	
Amount per floor	3
Minimum total surface area per floor (m2)	15
Minimum area per toilet	A required toilet room must have a floor area of 0.9 m x 1.2 m.

4. Adapted requirements

This chapter could be used only if the school project meet the requirements of Chapter 3 approximately. In this chapter the adapted requirements are given. The design need to be modified to meet these (new) requirements approximately.

Object	Requirement name	Old requirement	New requirement
Class rooms	Amount	Ground floor: 2 Floor 1: 4 Floor 2: 4	On floor 2, 2 classrooms must be combined to 1. In conclusion; Ground floor: 2 Floor 1: 4 Floor 2: 3
Class rooms	Minimum daylight per room (m2)	5	3
Kitchen	Minimum surface area (m2)	30	40
Dining area	Doors	-	Double doors to restaurant.
Ground floor	Free height of floors	2.60 meters	Free height of ground floor is 3 meters.

5. Process steps

In this chapter the process steps for the user of this manual are explained. Within these steps is indicated when Chapter 3 and 4 need to be used.

Step 1: Installation Screen video tracking

Open the [ActivePresenter v6.1.1 setup.exe](#) file and install the program.

Step 2: Installation Add-In

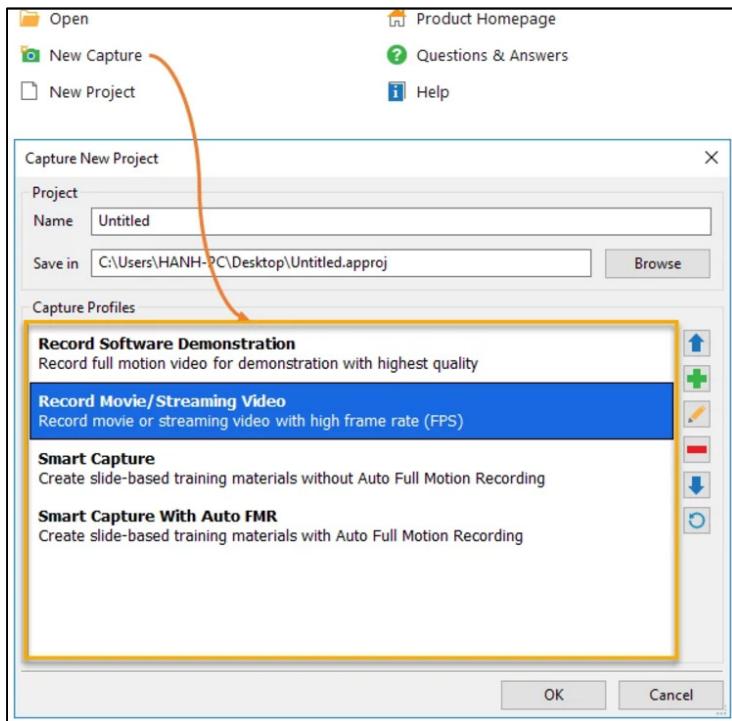
Open the [DesignTracking.exe](#) file and install the tool.

Step 3: Start Revit

Open Revit and create a new (architectural) file as School_yourname.rvt. Hereby 'yourname' need to be changed to your name. This is the **same** for all other files in the next steps.

Step 4: Start Screen video tracking

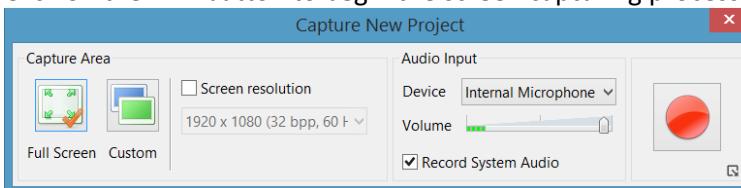
Open the ActivePresenter program and click on 'New Capture', give it the Name: ScreenRecord_yourname.approj and click on 'Record Movie/Streaming Video' and 'OK'.



Click on 'Custom' to create a square around your Revit screen.

'Record System Audio' needs to be checked and the volume as high as possible.

Click on the RED button to begin the screen capturing process.



Now your screen and audio are being recorded.

Step 5: Audio recording

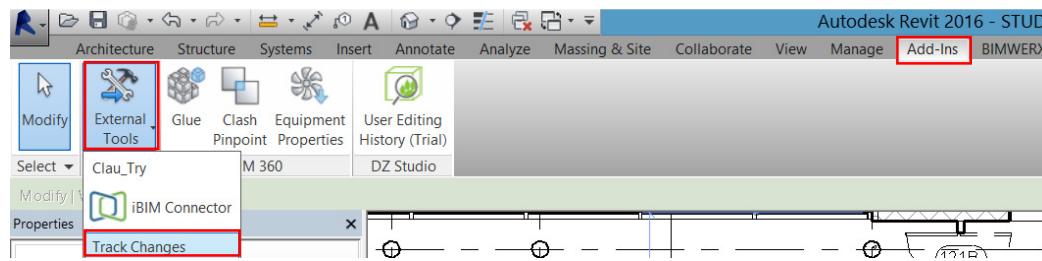
The purpose of the screen and audio recording is to examine why design actions are being done by the user. In example; moving a wall to meet a requirement.

The user need to say why design actions are being done. In this way (design) decisions of the user are being tracked.

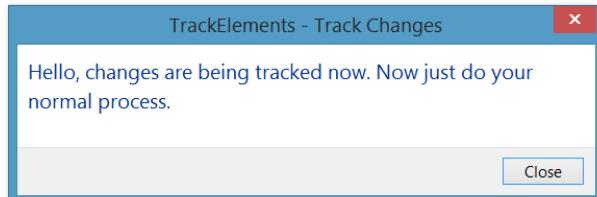
Step 6: Start Add-In

Within Revit and your Revit drawing:

Click on the 'Add-Ins' button in Revit, 'External Tools' and then the 'Track Changes' button.



A message screen will appear on your screen. Click on 'Close' in the message dialog.



Step 7: Design process

In this step the required school project will be made by the user. See Chapter 3 of this document for the requirements of the project.

During the design process; do not forget to save your Revit drawing often according to the naming in step 3. Also, check if your history log file is tracking your design activities (see step 12 for finding this file). Do **not** leave the file open during designing!

Step 8: End of design process

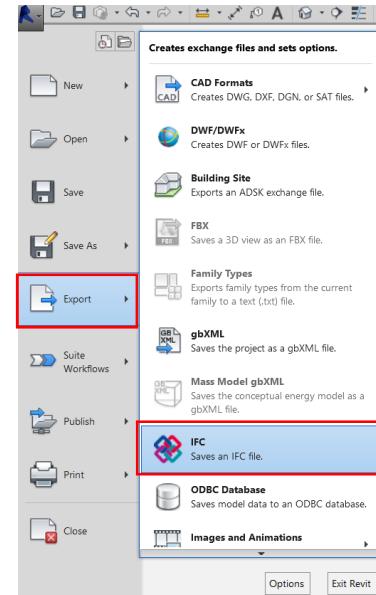
Save your Revit file again when your design meet the requirements of Chapter 3.

Step 9: Adapted requirements

In Chapter 4 several adapted requirements are stated. Your design need to meet these requirements at the end, therefor after step 6 your design need to be changed according to these adapted requirements.

Step 10: Creating IFC file

To create an IFC file of your Revit drawing click on 'Export' and 'IFC'. Choose a place in your folders and give it the name as *IFC_School_yourname.ifc*. The file type *IFC 2x3* need to be used (in Revit 2017 file type is *IFC 2x3 Coordination View*).



Step 11: Stop audio recording

After creating your IFC file, press **CTRL + END** on your keyboard to stop the screen tracking process. Save it again under the same name you used at step 3: *ScreenRecord_yourname.approj*.

Step 12: Finding history log file

The history file of your design activities is automatically stored on your computer. To find this file, type: %appdata% in the address bar and click on the RevitHistory folder. Change the file name to *HistoryLog_yourname.csv*.

Name	Date modified	Type	Size
HistoryLog_yourname.txt	10/01/2024 10:00	Text Document	0

Step 13: Sending information

At last, create a zip file with:

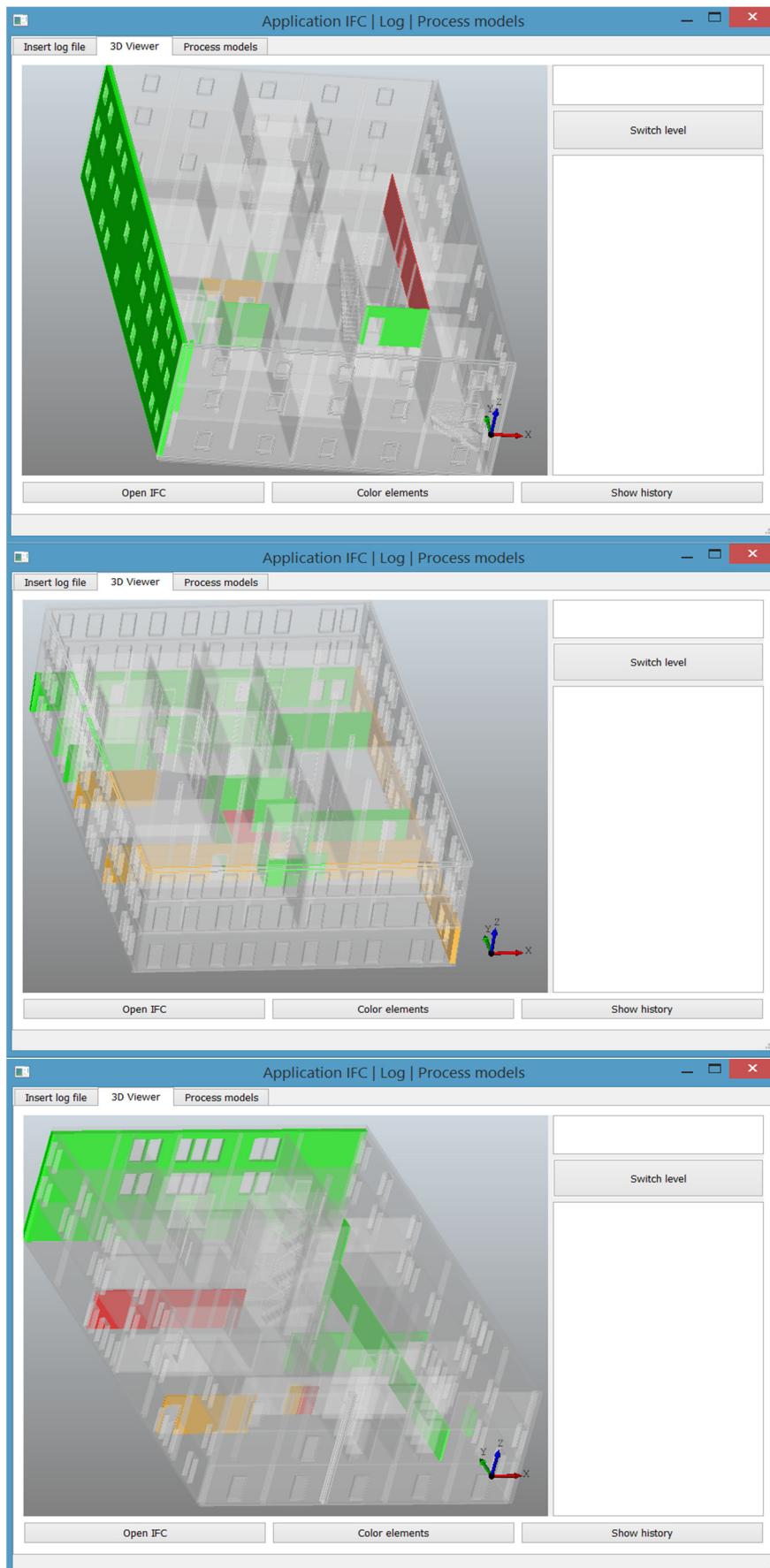
1. the HistoryLog_yourname.txt,
2. the School_yourname.rvt,
3. the IFC_School_yourname.ifc,
4. the ScreenRecord_yourname.approj and a folder with the audio/video files (i.e. ScreenRecord_yourname_files)

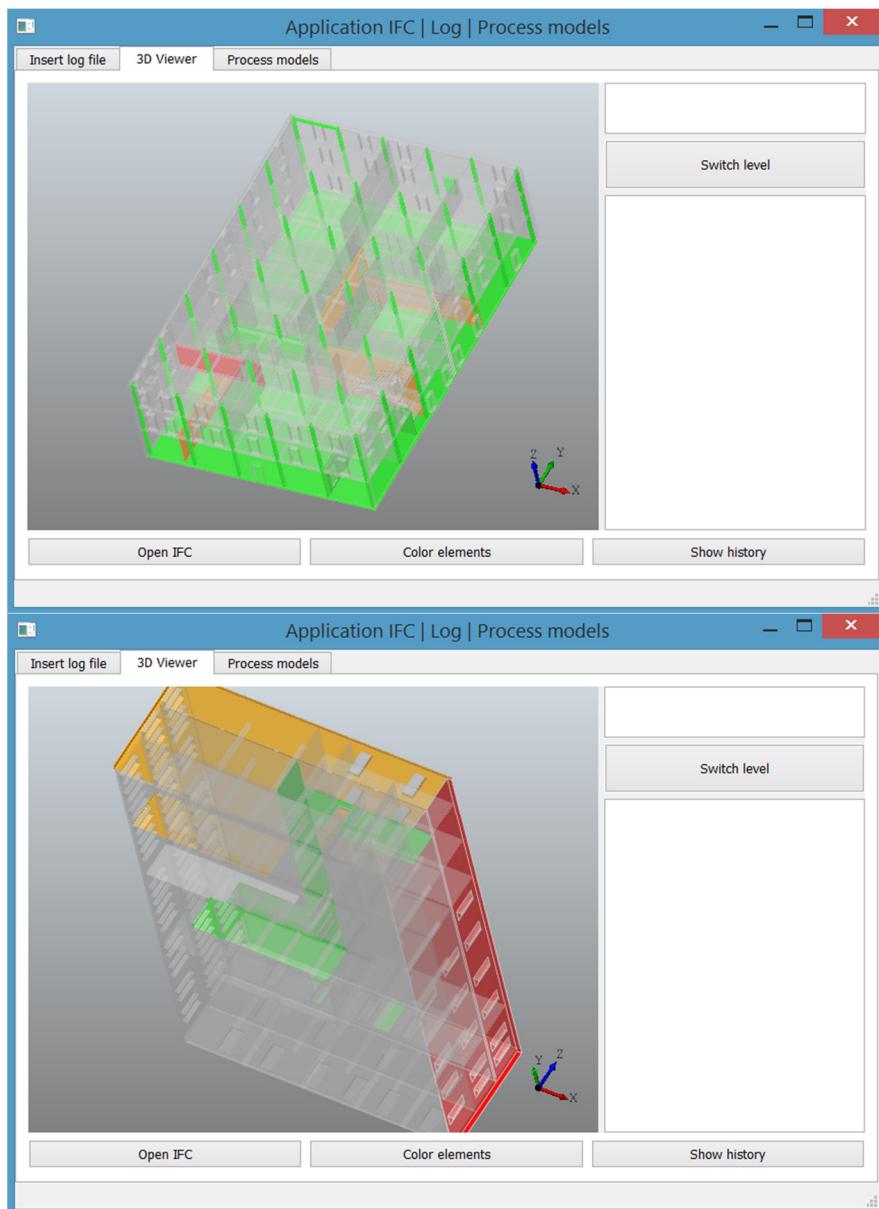
Send the zip file by using <https://wetransfer.com> to claudia.vandergraaf@neanex.com.

Thank you for following this manual and delivering your data.

Don't forget to send your information (see step 13 of Chapter 5).

Appendix VI: Data visualizations





Data visualizations by using datasets retrieved from different users.

Appendix VII: Script for data collection (C#)

```

1.  using System;
2.  using System.IO;
3.  using System.Security.Cryptography;
4.  using System.Collections.Generic;
5.  using System.Diagnostics;
6.  using System.Linq;
7.  using System.ComponentModel;
8.  using Autodesk.Revit.Attributes;
9.  using Autodesk.Revit.DB;
10. using Autodesk.Revit.DB.Structure;
11. using Autodesk.Revit.UI;
12. using Autodesk.Revit.ApplicationServices;
13. using Autodesk.Revit.UI.Selection;
14. using System.Data;
15. using System.Threading;
16. using System.Runtime.InteropServices;
17. using Autodesk.Windows;
18. using Autodesk.Revit.DB.Events;
19.
20. namespace TrackChanges
21. {
22.     [Autodesk.Revit.Attributes.Transaction(Autodesk.Revit.Attributes.TransactionMode
23.         .ReadOnly)]
24.
25.     public class Tracking : IExternalCommand
26.     {
27.         // Timer is starting when add-in starts and after every 15 seconds
28.         // the comparison of start and end states of elements will be done and logged
29.         static ExternalEvent _event = null;
30.         static Thread _thread = null;
31.         static int _nSnapshots = 0;
32.         static int _timeout_seconds = 15;
33.         static int _timeout = 1000 * _timeout_seconds;
34.         static bool _subscribed = false;
35.
36.         // DLL imports from user32.dll to set focus to
37.         // Revit to force it to forward the external event
38.         // Raise to actually call the external event
39.         // Execute.
40.
41.         // The GetForegroundWindow function returns a
42.         // handle to the foreground window
43.         [DllImport("user32.dll")]
44.         static extern IntPtr GetForegroundWindow();
45.
46.         // Move the window associated with the passed handle to the front
47.         [DllImport("user32.dll")]
48.
49.         static extern bool SetForegroundWindow(IntPtr hWnd);
50.         static UIApplication _uiapp;
51.         static string IdSelected = null;
52.
53.         // There is looked if an element is selected to get the id
54.         void PanelEvent( object sender, PropertyChangedEventArgs e)
55.         {
56.             Debug.Assert(sender is Autodesk.Windows.RibbonTab,
57.                         "expected sender to be a ribbon tab");
58.
59.             if (e.PropertyName == "Title")
60.             {
61.                 ICollection<ElementId> ids = _uiapp.ActiveUIDocument.Selection.GetEl
62.                 ementIds();
63.                 int n = ids.Count;
64.             }
65.         }
66.     }
67. }
```

```

63.             if (0 == n)
64.             {
65.             }
66.
67.             else
68.             {
69.                 foreach (ElementId id in ids)
70.                 {
71.                     IdSelected = id.IntegerValue.ToString();
72.                 }
73.             }
74.         }
75.     }
76.
77.     static void SetFocusToRevit()
78.     {
79.         IntPtr hRevit = ComponentManager.ApplicationWindow;
80.         IntPtr hBefore = GetForegroundWindow();
81.
82.         if (hBefore != hRevit)
83.         {
84.             SetForegroundWindow(hRevit);
85.             SetForegroundWindow(hBefore);
86.         }
87.     }
88.
89. // Trigger a modification tracker snapshot at
90. // regular intervals. Relinquish control and wait
91. // for the specified timeout period between each
92. // snapshot. This method runs in a separate thread.
93.     static void TriggerModificationLogger()
94.     {
95.         while (true)
96.         {
97.             Thread.Sleep(_timeout);
98.             ++_nSnapshots;
99.             _event.Raise();
100.            SetFocusToRevit();
101.        }
102.    }
103.
104.    static Dictionary<int, string> _start_state = null;
105.    static Dictionary<int, Dictionary<string, string>> _start_props = null
106.    1;
107.
108.    public Result Execute(
109.        ExternalCommandData commandData,
110.        ref string message,
111.        ElementSet elements)
112.    {
113.        _uiapp = commandData.Application;
114.        UIDocument uidoc = _uiapp.ActiveUIDocument;
115.        Application app = _uiapp.Application;
116.        Document doc = uidoc.Document;
117.
118.        // When the add-in is started a taskdialog message is shown
119.        // Current snapshots of all element states are stored to
120.        // report the original and modified values
121.        IEnumerable<Element> a = GetTrackedElements(doc);
122.
123.        if (null == _start_state)
124.        {
125.            _start_state = GetSnapshot(a);
126.            _start_props = GetParameterSnapshot(a);
127.            Autodesk.Revit.UI.TaskDialog.Show("Track Changes", "Hello, ch
anges are being tracked now. Now just do your normal process.");
127.            _event = ExternalEvent.Create(new ModificationLogger());

```

```

128.             _thread = new Thread(TriggerModificationLogger);
129.             _thread.Start();
130.         }
131.     else
132.     {
133.         var end_state = GetSnapshot(a);
134.         var end_props = GetParameterSnapshot(a);
135.         ReportDifferences(doc, _start_state, end_state, _start_props,
136.             end_props);
137.         _start_state = end_state;
138.         _start_props = end_props;
139.     }
140.     foreach (RibbonTab tab in ComponentManager.Ribbon.Tabs)
141.     {
142.         if (tab.Id == "Modify")
143.         {
144.             if (_subscribed)
145.             {
146.                 tab.PropertyChanged -= PanelEvent;
147.                 _subscribed = false;
148.             }
149.             else
150.             {
151.                 tab.PropertyChanged += PanelEvent;
152.                 _subscribed = true;
153.             }
154.             break;
155.         }
156.     }
157.     return Result.Succeeded;
158. }
159.
160. static string propertyList = null;
161. static string CombVal = null;
162. static string loc = null;
163.
164. // Define helper functions and other support for geometrical comparisons
165. const double _eps = 1.0e-9;
166.
167. public static bool IsZero(double a, double tolerance)
168. {
169.     return tolerance > Math.Abs(a);
170. }
171.
172. public static bool IsZero(double a)
173. {
174.     return IsZero(a, _eps);
175. }
176.
177. public static bool IsEqual(double a, double b)
178. {
179.     return IsZero(b - a);
180. }
181.
182. public static int Compare(double a, double b)
183. {
184.     return IsEqual(a, b) ? 0 : (a < b ? -1 : 1);
185. }
186.
187. public static int Compare(XYZ p, XYZ q)
188. {
189.     int d = Compare(p.X, q.X);
190.
191.     if (0 == d)
192.     {
193.         d = Compare(p.Y, q.Y);

```

```

194.             if (0 == d)
195.             {
196.                 d = Compare(p.Z, q.Z);
197.             }
198.         }
199.     }
200.     return d;
201. }
202. // Define a bunch of helper functions to generate string representations of v
203. // arious objects
204. // Convert a string to a byte array
205.     static byte[] GetBytes(string str)
206.     {
207.         byte[] bytes = new byte[str.Length * sizeof(char)];
208.         System.Buffer.BlockCopy(str.ToCharArray(),
209.             0, bytes, 0, bytes.Length);
210.     }
211.     return bytes;
212. }
213.
214. // Define a project identifier for the given Revit document
215. public static string GetProjectIdentifier(Document doc)
216. {
217.     SHA256 hasher = SHA256Managed.Create();
218.
219.     string key = System.Environment.MachineName
220.         + ":" + doc.PathName;
221.
222.     byte[] hashValue = hasher.ComputeHash(GetBytes(key));
223.
224.     string hashb64 = Convert.ToBase64String(hashValue);
225.
226.     return hashb64.Replace('/', '_');
227. }
228.
229. // Get elements location coordinates
230. // Return a string for a real number formatted to two decimal places
231.     public static string RealString(double a)
232.     {
233.         return a.ToString("0.##");
234.     }
235.
236. // Return a string for an XYZ point or vector with its coordinates formatted
237. // to two decimal places
238.     public static string PointString(XYZ p)
239.     {
240.         return string.Format("{0},{1},{2}",
241.             RealString(p.X),
242.             RealString(p.Y),
243.             RealString(p.Z));
244.     }
245. // Return a string for this bounding box with its coordinates formatted to tw
246. // o decimal places
247.     public static string BoundingBoxString(BoundingBoxXYZ bb)
248.     {
249.         return string.Format("{0},{1}",
250.             PointString(bb.Min),
251.             PointString(bb.Max));
252.     }
253. // Return a string for this point array with its coordinates formatted to two
254. // decimal places
255.     public static string PointArrayString(IList<XYZ> pts)
256.     {

```

```

256.             return string.Join(", ", pts.Select<XYZ, string>(p => PointString
257.               (p)));
258.
259.         // Return a string for this curve with its tessellated point coordinates form
260.         // atted
261.         public static string CurveTessellateString(Curve curve)
262.         {
263.             return PointArrayString(curve.Tessellate());
264.         }
265.
266.         // Return a string for this curve with its tessellated point coordinates form
267.         // atted
268.         public static string GetLocationString(Location location)
269.         {
270.             LocationPoint lp = location as LocationPoint;
271.             LocationCurve lc = (null == lp)
272.                 ? location as LocationCurve
273.                 : null;
274.
275.             return null == lp
276.                 ? (null == lc
277.                     ? null
278.                     : CurveTessellateString(lc.Curve))
279.                 : PointString(lp.Point);
280.         }
281.
282.         // Return a JSON string representing a dictionary of the given parameter name
283.         // s and values
284.         public static string GetPropertiesJson(IList<Parameter> parameters)
285.         {
286.             int n = parameters.Count;
287.             List<string> a = new List<string>(n);
288.             foreach (Parameter p in parameters)
289.             {
290.                 a.Add(string.Format("\'{0}\' :\'{1}\'", p.Definition.Name, p.AsValueString()));
291.             }
292.             a.Sort();
293.             string s = string.Join(", ", a);
294.             return "{" + s + "}";
295.         }
296.
297.
298.         // Return a string describing the given element:
299.         // category name, family and symbol name for a family instance, and element n
300.         // ame
301.         static String prompt = null;
302.
303.         public static string GetElementDescription(Element e)
304.         {
305.             if (null == e)
306.             {
307.                 return "null";
308.             }
309.
310.             // For a wall, the element name equals the wall type name, which is equivalent
311.             // t to the family name
312.             string typeName = e.GetType().Name;
313.
314.             FamilyInstance fi = e as FamilyInstance;
315.             string categoryName = (null == e.Category)
316.                 ? string.Empty
317.                 : e.Category.Name + " ";

```

```

317.             string familyName = (null == fi)
318.                 ? string.Empty
319.                 : fi.Symbol.Family.Name + " ";
320.
321.             string symbolName = (null == fi)
322.                 || e.Name.Equals(fi.Symbol.Name))
323.                     ? string.Empty
324.                     : fi.Symbol.Name + " ";
325.
326.             return string.Format("{0}{1} {2}: {3}", categoryName, familyName,
327.             typeName, e.Name);
327.         }
328.
329.         public static string ElementDescription(Document doc, int element_id)
330.
331.         {
332.             return GetElementDescription(doc.GetElement(new ElementId(element
333.             _id)));
332.         }
333.
334.         // Get level name of elements
335.         public static string GetElementLevel(Element e)
336.         {
337.             if (null == e)
338.             {
339.                 return " ";
340.             }
341.
342.             if (e.LevelId.Equals(ElementId.InvalidElementId))
343.             {
344.
345.             }
346.
347.             else
348.             {
349.                 Level level = e.Document.GetElement(e.LevelId) as Level;
350.                 prompt = level.Name;
351.             }
352.
353.             return string.Format("{0}", prompt);
354.         }
355.
356.         public static string ElementDescriptionLevel(Document doc, int elemen
357.             t_id)
358.         {
359.             return GetElementLevel(doc.GetElement(new ElementId(element_id)));
360.         }
361.
362.         class XyzEqualityComparer : IEqualityComparer<XYZ>
363.         {
364.             public bool Equals(XYZ p, XYZ q)
365.             {
366.                 return p.IsAlmostEqualTo(q);
367.             }
368.
369.             public int GetHashCode(XYZ p)
370.             {
371.                 return PointString(p).GetHashCode();
372.             }
373.
374.             // Add the vertices of the given solid to the vertex lookup dictionary
375.             static void AddVertices(Dictionary<XYZ, int> vertexLookup, Transform
376.             t, Solid s)
376.             {
377.                 Debug.Assert(0 < s.Edges.Size, "expected a non-empty solid");

```

```

378.
379.            foreach (Face f in s.Faces)
380.            {
381.                Mesh m = f.Triangulate();
382.
383.                foreach (XYZ p in m.Vertices)
384.                {
385.                    XYZ q = t.OfPoint(p);
386.
387.                    if (!vertexLookup.ContainsKey(q))
388.                    {
389.                        vertexLookup.Add(q, 1);
390.                    }
391.                    else
392.                    {
393.                        ++vertexLookup[q];
394.                    }
395.                }
396.            }
397.        }
398.
399.        // Add vertices of all solids found in the given geometry to the vertex looku
p
400.        static void AddVertices(Dictionary<XYZ, intif (null == geo)
404.            {
405.                Debug.Assert(null != geo, "null GeometryElement");
406.                throw new System.ArgumentException("null GeometryElement");
407.            }
408.
409.            foreach (GeometryObject obj in geo)
410.            {
411.                Solid solid = obj as Solid;
412.
413.                if (null != solid)
414.                {
415.                    if (0 < solid.Faces.Size)
416.                    {
417.                        AddVertices(vertexLookup, t, solid);
418.                    }
419.                }
420.                else
421.                {
422.                    GeometryInstance inst = obj as GeometryInstance;
423.
424.                    if (null != inst)
425.                    {
426.                        GeometryElement geos = inst.GetSymbolGeometry();
427.
428.                        Debug.Assert(null != inst.Transform, "null inst.Trans
form");
429.
430.                        if (null != geos)
431.                        {
432.                            AddVertices(vertexLookup, inst.Transform.Multiply
(t), geos);
433.                        }
434.                    }
435.                }
436.            }
437.        }
438.
439.        static Solid GetSolid(Element e, Options opt)
440.        {
441.            GeometryElement geo = e.get_Geometry(opt);

```

```

442.
443.             Dictionary<XYZ, int> a = new Dictionary<XYZ, int>(new XyzEquality
   Comparer());
444.
445.             Solid solid = null;
446.             GeometryInstance inst = null;
447.             Transform t = Transform.Identity;
448.
449.             // Some family elements have no own solids, therefor the geometry from the sy
   mbol will be retrieved;
450.             // others do have own solids on the instance itself and no contents in the in
   stance geometry
451.             foreach (GeometryObject obj in geo)
452.             {
453.                 solid = obj as Solid;
454.
455.                 if (null != solid && 0 < solid.Faces.Size)
456.                 {
457.                     break;
458.                 }
459.
460.                 inst = obj as GeometryInstance;
461.             }
462.
463.             if (null == solid && null != inst)
464.             {
465.                 geo = inst.GetSymbolGeometry();
466.                 t = inst.Transform;
467.
468.                 foreach (GeometryObject obj in geo)
469.                 {
470.                     solid = obj as Solid;
471.
472.                     if (null != solid
473.                         && 0 < solid.Faces.Size)
474.                     {
475.                         break;
476.                     }
477.                 }
478.             }
479.             return solid;
480.         }
481.
482.         // Return a sorted list of all unique vertices of all solids in the given ele
   ment's geometry in an order
483.         static List<XYZ> GetCanonicVertices(Element e)
484.         {
485.             GeometryElement geo = e.get_Geometry(new Options());
486.             Transform t = Transform.Identity;
487.
488.             Dictionary<XYZ, int> vertexLookup
489.                 = new Dictionary<XYZ, int>(new XyzEqualityComparer());
490.
491.             AddVertices(vertexLookup, t, geo);
492.
493.             List<XYZ> keys = new List<XYZ>(vertexLookup.Keys);
494.
495.             keys.Sort(Compare);
496.             return keys;
497.         }
498.
499.         // Retrieve all elements to track
500.         static IEnumerable<Element> GetTrackedElements(Document doc)
501.         {
502.             Categories cats = doc.Settings.Categories;
503.
504.             List<ElementFilter> a = new List<ElementFilter>();

```

```

505.
506.            foreach (Category c in cats)
507.            {
508.                if (CategoryType.Model == c.CategoryType)
509.                {
510.                    a.Add(new ElementCategoryFilter(c.Id));
511.                }
512.            }
513.
514.            ElementFilter isModelCategory = new LogicalOrFilter(a);
515.
516.            Options opt = new Options();
517.
518.            return new FilteredElementCollector(doc)
519.                .WhereElementIsNotElementType()
520.                .WhereElementIsViewIndependent()
521.                .WherePasses(isModelCategory)
522.                .Where<Element>(e =>
523.                    (null != e.get_BoundingBox(null))
524.                    && (null != e.get_Geometry(opt)));
525.            }
526.
527.
528.        // Return a string representing the given element state
529.        static string GetElementState(Element e)
530.        {
531.            string s = null;
532.
533.            BoundingBoxXYZ bb = e.get_BoundingBox(null);
534.
535.            if (null != bb)
536.            {
537.                List<string> properties = new List<string>();
538.                loc = GetLocationString(e.Location);
539.                properties.Add(GetElementDescription(e) + " at " + loc);
540.
541.                if (!(e is FamilyInstance))
542.                {
543.                    properties.Add("Box=" + BoundingBoxString(bb));
544.
545.                    properties.Add("Vertices=" + PointArrayString(GetCanonicalV
      erices(e)));
546.                }
547.
548.                properties.Add(GetPropertiesJson(e.GetOrderedParameters()));
549.
550.                s = string.Join(", ", properties);
551.            }
552.            return s;
553.        }
554.
555.        // Return a dictionary mapping element id values to hash codes of the element
556.        // state strings
557.        // This represents a snapshot of the current database state
558.        static Dictionary<int, string> GetSnapshot(IEnumerable<Element> a)
559.        {
560.            Dictionary<int, string> d = new Dictionary<int, string>();
561.
562.            SHA256 hasher = SHA256Managed.Create();
563.
564.            foreach (Element e in a)
565.            {
566.                Debug.Print(e.Id.IntegerValue.ToString()
567.                            + " " + e.GetType().Name);
568.                propertyList = GetElementState(e);

```

```

569.             if (null != propertyList)
570.             {
571.                 string hashb64 = Convert.ToBase64String(
572.                     hasher.ComputeHash(GetBytes(propertyList)));
573.
574.                 d.Add(e.Id.IntegerValue, hashb64);
575.                 Debug.Print(d.ToString());
576.             }
577.         }
578.     }
579.     return d;
580. }
581.
582. // First getting all the elements parameters and values and then only from on
e element
583. static Dictionary<string, string> GetElementParameterSnapshot(Element
e)
584. {
585.     var snapshot = new Dictionary<string, string>();
586.
587.     foreach (Parameter prop in e.Parameters)
588.     {
589.         snapshot[prop.Definition.Name] = prop.AsValueString();
590.     }
591.
592.     snapshot["Location"] = GetLocationString(e.Location);
593.
594.     return snapshot;
595. }
596.
597. static Dictionary<int, Dictionary<string, string>> GetParameterSnapsh
ot(IEnumerable<Element> elements)
598. {
599.     var snapshot = new Dictionary<int, Dictionary<string, string>>();
600.
601.     foreach (var e in elements)
602.     {
603.         snapshot[e.Id.IntegerValue] = GetElementParameterSnapshot(e);
604.     }
605.
606.     return snapshot;
607. }
608.
609. // Compare the start and end states and report the differences found. In this
implementation, a hash code of the element state is stored
610. // Also, the old and new value properties are stored
611. public static void ReportDifferences(
612.     Document doc,
613.     Dictionary<int, string> start_state,
614.     Dictionary<int, string> end_state,
615.     Dictionary<int, Dictionary<string, string>> start_props,
616.     Dictionary<int, Dictionary<string, string>> end_props)
617. {
618.     int n1 = start_state.Keys.Count;
619.     int n2 = end_state.Keys.Count;
620.
621.     List<int> keys = new List<int>(start_state.Keys);
622.
623.     foreach (int id in end_state.Keys)
624.     {
625.         if (!keys.Contains(id))
626.         {
627.             keys.Add(id);
628.         }
629.     }

```

```

630.
631.            keys.Sort();
632.
633.            int n = keys.Count;
634.            int nAdded = 0;
635.            int nDeleted = 0;
636.            int nModified = 0;
637.
638.            List<string> modifiedElements = new List<string>();
639.
640.            string del = null;
641.            string mod = null;
642.            string IdString = null;
643.            string IdDel = null;
644.            Element eFromId = null;
645.            Element eFromIdAdd = null;
646.            Element eFromIdDel = null;
647.            string add = null;
648.            string IdAdd = null;
649.            int idInt = 0;
650.            int idInt2 = 0;
651.            int idInt32 = 0;
652.            string GUIDS = null;
653.            string GUIDAdd = null;
654.
655.        // Using the appdata path to create a folder and history log file
656.        string appDatafolder = Environment.GetFolderPath(Environment.Spec
ialFolder.ApplicationData);
657.        string folder = Path.Combine(appDatafolder, "RevitHistory");
658.        if (!Directory.Exists(folder))
659.        {
660.            Directory.CreateDirectory(folder);
661.        }
662.
663.        string path = Path.Combine(folder, "HistoryLog_yourname.txt");
664.        StreamWriter sw = null;
665.
666.        // Creating the header for the history log file when it does not exist
667.        try
668.        {
669.            if (File.Exists(path))
670.            {
671.                sw = File.AppendText(path);
672.            }
673.            else
674.            {
675.                sw = File.AppendText(path);
676.                sw.WriteLine("Time\tUser\tID element\tGUID\tProcess\tType
Change\tObject Type\tActivity\tCase\tProperty Type\tStart State\tEnd State");
677.            }
678.
679.        // Get the username and document title
680.        string userName = System.Security.Principal.WindowsIdentity.G
etCurrent().Name;
681.        string docTitle = doc.Title;
682.        string CategoryVal = null;
683.        string FamVal = null;
684.        string RoomVal = null;
685.
686.        // Searching for which elements are added, deleted or modified by looking at
the start and end states of the elements
687.        // and write information from these element to the history log file with a ti
mestamp
688.        foreach (int id in keys)
689.        {
690.            if (!start_state.ContainsKey(id))
691.            {

```

```

692.                     ++nAdded;
693.                     IdAdd = id.ToString();
694.                     idInt2 = Convert.ToInt32(IdAdd);
695.                     ElementId Elemaadd = new ElementId(idInt2);
696.                     eFromIdAdd = doc.GetElement(Elemaadd);
697.
698.             // Get the IFC Guids from the element which are modified
699.             Guid elemGuidA = Autodesk.Revit.DB.ExportUtils.GetExportId(eFromIdAdd.Document, eFromIdAdd.Id);
700.             String tempNumA = IfcGuid.ToIfcGuid(elemGuidA);
701.             GUIDAdd = tempNumA;
702.
703.             string ti = DateTime.Now.ToString("dd-MM-
704.                                         yyyy:HH.mm.ss");
705.             add = ("Added");
706.             {
707.                 var end = end_props[id];
708.                 foreach (var v in end)
709.                 {
710.                     if (v.Key.ToString().CompareTo("Category") ==
711.                         0)
712.                         {
713.                             if (v.Value.ToString().CompareTo("Rooms") ==
714.                                 0)
715.                                 {
716.                                     RoomVal = v.Value;
717.                                     sw.WriteLine("{0}\t{1}\t{2}\t{3}\t{4}
718. \t{5}\t{6}\t{7}\t{8}\t{9}\t{10}\t{11}", ti, userName, IdAdd, GUIDAdd, docTitle, add,
719.                                         RoomVal, add + " " + ElementDescription(doc, id), ElementDescriptionLevel(doc, id),
720.                                         "", "", "");
721.                                 }
722.                             }
723.                         }
724.                     }
725.                 }
726.
727.             else if (!end_state.ContainsKey(id))
728.             {
729.                 ++nDeleted;
730.                 IdDel = id.ToString();
731.                 idInt32 = Convert.ToInt32(IdDel);
732.                 ElementId Elemedel = new ElementId(idInt32);
733.                 string tiDel = DateTime.Now.ToString("dd-MM-
734.                                         yyyy:HH.mm.ss");
735.                 del = ("Deleted");
736.                 {
737.                     var start = start_props[id];
738.                     foreach (var v in start)
739.                     {
740.                         if (v.Key.ToString().CompareTo("Category") ==
741.                             0)
742.                             {
743.                                 CategoryVal = v.Value;
744.                             }
745.                         }

```

```

746.                                     if (v.Key.ToString().CompareTo("Family and Ty
747.                                         pe") == 0)
748.                                         {
749.                                         FamVal = v.Value;
750.                                         }
751.                                         }
752.                                         CombVal = CategoryVal + " " + FamVal;
753.                                         sw.WriteLine("{0}\t{1}\t{2}\t{3}\t{4}\t{5}\t{6}\t{7}\t
    t{8}\t{9}\t{10}\t{11}", tiDel, userName, IdDel, "", docTitle, del, CombVal, del +
    " " + CombVal, ElementDescriptionLevel(doc, id), "", "", "");
754.                                         }
755.
756.                                     else if (start_state[id] != end_state[id])
757.                                         {
758.                                         ++nModified;
759.                                         string IdMod = id.ToString();
760.                                         idInt = Convert.ToInt32(IdMod);
761.                                         ElementId Elemod = new ElementId(idInt);
762.                                         eFromId = doc.GetElement(Elemod);
763.                                         IdString = eFromId.Id.ToString();
764.                                         string tiMod = DateTime.Now.ToString("dd-MM-
    yyyy:HH.mm.ss");
765.                                         mod = ("Modified");
766.
767.                                         Guid elemGuidM = Autodesk.Revit.DB.ExportUtils.GetExp
    ortId(eFromId.Document, eFromId.Id);
768.                                         String tempNumM = IfcGuid.ToIfcGuid(elemGuidM);
769.                                         GUIDS = tempNumM;
770.
771.                                         if (IdString == IdSelected)
772.                                         {
773.                                         var start = start_props[id];
774.                                         var end = end_props[id];
775.                                         var diff = start.Where(x => !end.Contains(x));
776.                                         foreach (var v in diff)
777.                                         {
778.
779.                                             if (v.Key.ToString().CompareTo("Unconnected H
    eight") == 0 || v.Key.ToString().CompareTo("Family and Type") == 0 || v.Key.ToString()
    .CompareTo("Width") == 0 || v.Key.ToString().CompareTo("Length") == 0 || v.Key.ToString()
    .CompareTo("Location") == 0)
780.                                             {
781.                                                 sw.WriteLine("{0}\t{1}\t{2}\t{3}\t{4}\t{5}
    \t{6}\t{7}\t{8}\t{9}\t{10}\t{11}", tiMod, userName, IdString, GUIDS, docTitle, mod,
    ElementDescription(doc, id), mod + " " + ElementDescription(doc, id), ElementDescri
    ptionLevel(doc, id), v.Key, v.Value, end[v.Key]);
782.                                             }
783.
784.                                         else
785.                                         {
786.                                         }
787.                                         }
788.                                         }
789.                                         }
790.                                         }
791.                                     }
792.
793.                                     catch (Exception)
794.                                     {
795.                                         Console.WriteLine("");
796.                                     }
797.
798.                                     finally
799.                                     {
800.                                         if (sw != null)
801.                                         {

```

```

802.                     sw.Close();
803.                 };
804.             }
805.         }
806.
807.         // Class to create the Guids
808.         public static class IfcGuid
809.         {
810.
811.             // The replacement table
812.             private static readonly char[] base64Chars = new char[]
813.             {
814.                 '0', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9',
815.                 'A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'H', 'I', 'J',
816.                 'K', 'L', 'M', 'N', 'O', 'P', 'Q', 'R', 'S', 'T',
817.                 'U', 'V', 'W', 'X', 'Y', 'Z', 'a', 'b', 'c', 'd',
818.                 'e', 'f', 'g', 'h', 'i', 'j', 'k', 'l', 'm', 'n',
819.                 'o', 'p', 'q', 'r', 's', 't', 'u', 'v', 'w', 'x',
820.                 'y', 'z', '_', '$' };
821.
822.             // Conversion of an integer into characters with base 64 using the table base
823.             // 64Chars
824.             static void cv_to_64(uint number, ref char[] result, int start, i
825.             nt len)
826.             {
827.                 uint act;
828.                 int iDigit, nDigits;
829.
830.                 Debug.Assert(len <= 4);
831.                 act = number;
832.                 nDigits = len;
833.
834.                 for (iDigit = 0; iDigit < nDigits; iDigit++)
835.                 {
836.                     result[start + len - iDigit - 1] = base64Chars[(int)(act
837. % 64)];
838.                     act /= 64;
839.                 }
840.                 Debug.Assert(act == 0, "Logic failed, act was not null: " + a
841. ct.ToString());
842.             }
843.             public static string ToIfcGuid(Guid guid)
844.             {
845.                 uint[] num = new uint[6];
846.                 char[] str = new char[22];
847.                 int i, n;
848.                 byte[] b = guid.ToByteArray();
849.
850.                 // Creation of six 32 Bit integers from the components of the GUID structure
851.
852.                 num[0] = (uint)(BitConverter.ToInt32(b, 0) / 16777216);
853.                 num[1] = (uint)(BitConverter.ToInt32(b, 0) % 16777216);
854.                 num[2] = (uint)(BitConverter.ToInt16(b, 4) * 256 + BitConver
855. ter.ToInt16(b, 6) / 256);
856.                 num[3] = (uint)((BitConverter.ToInt16(b, 6) % 256) * 65536 +
857. b[8] * 256 + b[9]);
858.                 num[4] = (uint)(b[10] * 65536 + b[11] * 256 + b[12]);
859.                 num[5] = (uint)(b[13] * 65536 + b[14] * 256 + b[15]);
860.
861.                 n = 2;

```

```
862.          }
863.      }
864.  }
865. }
866. }
867. }
```

Appendix VIII: Script for data transformation (python)

```

1. import os
2. import csv
3. import sys
4. import time
5. import re
6. from collections import defaultdict
7.
8. # To read and get the timestamp in the correct order
9. def parsetime(s):
10.     return time.mktime(time.strptime(s, "%d-%m-%Y:%H.%M.%S"))
11.
12. # First, filter out specific information what not need to be used in the process
13. # mining analysis
14. def pass1_filter(logdata, i):
15.     row = logdata[i]
16.
17.     # Don't keep modified elements
18.     if row['Type Change'] == "Modified":
19.         return None
20.
21.     # Don't keep deleted elements
22.     if row['Type Change'] == "Deleted":
23.         return None
24.
25.     # Don't keep added elements that will be deleted in the future
26.     for r in logdata[i+1:]:
27.         if r['Type Change'] == 'Deleted' and r['ID element'] == row['ID element']:
28.             return None
29.
30.     # Determine general object classes for (only) looking at these objects and
31.     # filter out other objects
32.     row['Object Class'] = 'Unknown'
33.     classes = {
34.         '\\\\bwalls?\\\\b': 'Walls',
35.         '\\\\bdoors?\\\\b': 'Doors',
36.         '\\\\bfloor?\\\\b': 'Floors',
37.         '\\\\bwindows?\\\\b': 'Windows',
38.         '\\\\bcolumns?\\\\b': 'Columns',
39.         '\\\\bstairs?\\\\b': 'Stairs',
40.         '\\\\broofs?\\\\b': 'Roofs'
41.     }
42.
43.     for r, c in classes.items():
44.         if re.search(r, row['Object Type'], re.IGNORECASE):
45.             row['Object Class'] = c
46.             break
47.
48.     # Don't keep the (unknown) objects which were not determined in the general
49.     # object classes dictionary
50.     if row['Object Class'] == 'Unknown':
51.         return None
52.
53.     # Initialise helper columns for pass 2
54.     row['DeleteAdd'] = False
55.     row['Count'] = 1
56.     row['Start Time'] = row['Time']
57.     row['End Time'] = row['Time']
58.     row['SmallAdds'] = False
59.
60.     return row
61.
62. # Second, creating and combining the specific information to finally deliver a
63. # structured log file for process mining
64. def pass2_filter(logdata, i):

```

```

61.     row = logdata[i]
62.
63.     if row['DeleteAdd']:
64.         return None
65.
66.     # Looking in the future to group events
67.     object_type = row['Object Type']
68.     a_case = row['Case']
69.     end_time = row['Time']
70.     activity_process = row['Type Change']
71.     count = 1
72.
73.     # Creating the Activity column
74.     if 'Columns' in object_type:
75.         row['Activity'] = activity_process + ' ' + row['Object Class']
76.
77.     if 'Doors' in object_type:
78.         row['Activity'] = activity_process + ' ' + row['Object Class']
79.
80.     if 'Windows' in object_type:
81.         row['Activity'] = activity_process + ' ' + row['Object Class']
82.
83.     if 'Roofs' in object_type:
84.         row['Activity'] = activity_process + ' ' + row['Object Class']
85.
86.     if 'Floors' in object_type:
87.         row['Activity'] = activity_process + ' ' + row['Object Class']
88.
89.     if 'Stairs' in object_type:
90.         row['Activity'] = activity_process + ' ' + row['Object Class']
91.
92.     if 'Interior' in object_type:
93.         row['Activity'] = activity_process + ' Interior ' + row['Object Class']
94.
95.     if 'Exterior' in object_type:
96.         row['Activity'] = activity_process + ' Exterior ' + row['Object Class']
97.
98.     # Count objects when object type stays the same on the same floor
99.     for r in logdata[i+1:]:
100.         if r['Object Type'] != object_type or r['Case'] != a_case:
101.             break
102.         end_time = r['Time']
103.         count += 1
104.         r['DeleteAdd'] = True
105.
106.         row['End Time'] = end_time
107.         row['Count'] = count
108.         row['Duration'] = parsetime(row['End Time']) - parsetime(row['Start Time'])
109.     ]
110.
111.     # Looking in the past to see if to keep the row
112.     max_count = max([1] + [r['Count'] for r in logdata[:i] if r['Object Type']
113.     ] == object_type and r['Case'] == a_case and not r['DeleteAdd']])
114.
115.     # Threshold to extract what is lower than 1/8 of the maximum amount of
116.     # the combined activities
117.     if count <= max_count / 8:
118.         row['SmallAdds'] = True
119.
120.     def load(filename):
121.         with open(filename, 'r') as inputfile:
122.             reader = csv.DictReader(inputfile, delimiter='\t')
123.             return [row for row in reader]
124.

```

```

125.     # Creating the structured data for usage in the myinvenio tool
126.     def process_file_for_mining(logdata):
127.         # Filter history log pass 1
128.         newlogdata = []
129.         for i in range(len(logdata)):
130.             newrow = pass1_filter(logdata, i)
131.             if newrow is not None:
132.                 newlogdata.append(newrow)
133.
134.         # Filter history log pass 2
135.         logdata = newlogdata
136.         newlogdata = []
137.         for i in range(len(logdata)):
138.             newrow = pass2_filter(logdata, i)
139.             if newrow is not None:
140.                 newlogdata.append(newrow)
141.
142.     return newlogdata
143.
144.     # Get all the modification from the total history file
145.     # for 3D visualization
146.     def process_file_for_visualisation(original_logdata):
147.         # Keep only modified records
148.         logdata = [row for row in original_logdata if row['Type Change'] == 'Modified']
149.
150.         changes = {}      # number of changes per guid
151.         wall_changes = {} # number of length changes per wall
152.
153.         for row in logdata:
154.             guid = row['GUID']
155.
156.             # Skip records without a guid
157.             if len(guid) == 0:
158.                 continue
159.
160.             # Count changes per guid
161.             if guid in changes:
162.                 changes[guid] += 1
163.             else:
164.                 changes[guid] = 1
165.
166.             # If this record describes a length change of a wall
167.             if row['Property Type'] == 'Length' and row['Object Type'].startswith
168.                 ("Walls"):
169.                     # count it
170.                     if guid in wall_changes:
171.                         wall_changes[guid] += 1
172.                     else:
173.                         wall_changes[guid] = 1
174.
175.             # For all found guids
176.             for guid in changes:
177.
178.                 # If this guid had wall length changes
179.                 if guid in wall_changes:
180.                     # Subtract those changes
181.                     changes[guid] -= wall_changes[guid]
182.
183.     return changes
184.
185.     # Creating the structure with the correct information for the history data
186.     # visualization
187.     def process_file_for_history(original_logdata):
188.         # Keep only modified records
189.         logdata = [row for row in original_logdata if row['Type Change'] == 'Modified']

```

```

188.
189.     elements = defaultdict(str)      # modified elements and properties
190.
191.     for row in logdata:
192.         guid = row['GUID']
193.         timest = row['Time']
194.         user = row['User']
195.         obj_type = row['Object Type']
196.         case = row['Case']
197.         propert = row['Property Type']
198.         start = row['Start State']
199.         end = row['End State']
200.         elements[guid] += \
201.             "Time: " + timest + \
202.             "\nUser: " + user + \
203.             "\nObject: " + obj_type + \
204.             "\nLevel: " + case + \
205.             "\nProperty: " + propert + \
206.             "\nStart State: " + start + \
207.             "\nEnd state: " + end + "\n-----\n"
208.
209.     return elements
210.
211. if __name__ == "__main__":
212.     print("Filter History Log Processor")
213.
214. filenames = sys.argv[1:]
215.
216. for filename in filenames:
217.     print("Processing: " + filename)
218.     logdata = load(filename)
219.     logdata = process_file_for_mining(logdata)
220.
221.     # Write filtered history log
222.     with open(os.path.splitext(filename)[0]+'.csv', 'w') as output:
223.         writer = csv.DictWriter(output, fieldnames = ['User', 'Start Time',
224.             ', 'End Time', 'Duration', 'Activity', 'Case', 'Count'], lineterminator='\n', extras
225.             action='ignore')
226.         writer.writeheader()
227.         for row in logdata:
228.             if not row['SmallAdds']:
229.                 writer.writerow(row)

230.     print("Done.")

```

Appendix IX: Script for data visualization (python)

```

1.  from __future__ import division
2.  import svgwrite
3.  import sys
4.  import os
5.  display_prog = 'display'
6.  import ifcopenshell, ifcopenshell.geom
7.  from collections import defaultdict
8.  settings = ifcopenshell.geom.settings()
9.  settings.set(settings.USE_PYTHON_OPENCASCADE, True)
10. from PyQt4 import QtCore, QtGui
11. from PyQt4.QtCore import QObject, pyqtSignal
12. from OCC.Display.backend import get_backend
13. get_backend("qt-pyqt4")
14. import OCC.Display.qtDisplay
15. from OCC.Display.qtDisplay import qtViewer3d
16. from PyQt4.QtWebKit import QWebView
17. from PyQt4.QtGui import QApplication
18. from PyQt4.QtCore import QUrl
19. from OCC.gp import *
20. import OCC.Bnd, OCC.BRepBndLib
21. from OCC.Aspect import Aspect_GT_Rectangular, Aspect_GDM_Lines
22. from OCC.BRepPrimAPI import BRepPrimAPI_MakeBox
23. import filterlog_processes2
24.
25. guid_selection = None
26.
27. class ProductViewer(qtViewer3d):
28.     def __init__(self, *args):
29.         qtViewer3d.__init__(self)
30.         self.objects = {}
31.
32.     @staticmethod
33.     def Hash(shape):
34.         return shape.HashCode(1 << 30)
35.
36.     displayed_shapes = {}
37.
38. # Definition to show the 3D model in a gray color and set the material, transparency
39.     def Show(self, key, shape, color=None):
40.         self.objects[ProductViewer.Hash(shape)] = key
41.         qclr = OCC.Quantity.Quantity_Color(.8, .8, .8, OCC.Quantity.Quantity_TOC_RGB)
42.         material = OCC.Graphic3d.Graphic3d_MaterialAspect(OCC.Graphic3d.Graphic3d_NOM_PLASTER)
43.         material.SetDiffuse(1)
44.         ais = OCC.AIS.AIS_Shape(shape)
45.         aisSetColor(qclr)
46.         ais.SetMaterial(material)
47.         ais.SetTransparency(0.8)
48.         handle = ais.GetHandle()
49.         self._display.Context.Display(handle)
50.         self.displayed_shapes[key] = handle
51.         self._display.FitAll()
52.
53. # Set the green color using RGB
54.     def ColorGreen(self, key):
55.         ais = self.displayed_shapes[key]
56.         qclr = OCC.Quantity.Quantity_Color(0, 1, 0, OCC.Quantity.Quantity_TOC_RGB)
57.         ais.GetObject().SetColor(qclr)
58.         ais.GetObject().UnsetTransparency()
59.
60. # Set the red color using RGB
61.     def ColorRed(self, key):
62.         ais = self.displayed_shapes[key]
63.         qclr = OCC.Quantity.Quantity_Color(1, 0, 0, OCC.Quantity.Quantity_TOC_RGB)

```

```

64.         ais.GetObject().SetColor(qclr)
65.         ais.GetObject().UnsetTransparency()
66.
67. # Set the orange color using RGB
68.     def ColorOrange(self, key):
69.         ais = self.displayed_shapes[key]
70.         qclr = OCC.Quantity.Quantity_Color(1, 0.6, 0, OCC.Quantity.Quantity_TOC_RGB)
71.         ais.GetObject().SetColor(qclr)
72.         ais.GetObject().UnsetTransparency()
73.
74. # Get the GUID of the users' selection as global variable
75.     def mouseReleaseEvent(self, *args):
76.         qtViewer3d.mouseReleaseEvent(self, *args)
77.         if self._display.selected_shape:
78.             global guid_selection
79.             global selected_shape
80.             selected_shape = self._display.selected_shape
81.             guid_selection = (self.objects[ProductViewer.Hash(self._display.selected_shape)])
82.
83. # Main class of the application
84. class initUI(object):
85.     def __init__(self, *args):
86.         # Constructing an application
87.         app = QtGui.QApplication(sys.argv)
88.
89.         # Viewer initialization
90.         self.main = Main(self)
91.         self.main.show()
92.         self.main.canvas.InitDriver()
93.         self.main.statusBar()
94.         self.display = self.main.canvas._display
95.
96.         # Methods to feed the viewer with content
97.         self.geometry_box()
98.         self.geometry_grid()
99.
100.        # Raise a system exit
101.        sys.exit(app.exec_())
102.
103.    # Create the geometry of the box
104.    def geometry_box(self):
105.        box = BRepPrimAPI_MakeBox(10., 10., 10.).Shape()
106.        self.display.DisplayShape(box)
107.        self.display.FitAll()
108.
109.    def geometry_grid(self):
110.        ax3 = gp_Ax3(gp_Pnt(0, 0, 0), gp_Dir(0, 0, 1))
111.        self.display.GetViewer().GetObject().SetPrivilegedPlane(ax3)
112.        self.display.GetViewer().GetObject().SetRectangularGridValues(0, 0, 10, 10, 0)
113.        self.display.GetViewer().GetObject().SetRectangularGridGraphicValues(10, 10, 0)
114.        self.display.GetViewer().GetObject().ActivateGrid(Aspect_GT_Rectangular, Aspect_GDM_Li
    nes)
115.        self.display.FitAll()
116.
117. # Main class of the Graphical User Interface
118. class Main(QtGui.QMainWindow):
119.     def __init__(self, parent=None):
120.         self.parent = parent
121.         QtGui.QMainWindow.__init__(self)
122.
123.         # Instantiating the tabs
124.         global filename
125.         self.filename = None
126.
127.         self.tabs = QtGui.QTabWidget()
128.         self.setCentralWidget(self.tabs)
129.         self.log_tab = QtGui.QWidget()

```

```

130.         self.tabs.addTab(self.log_tab, "Insert log file")
131.
132.         self.viewer_tab = QtGui.QWidget()
133.         self.tabs.addTab(self.viewer_tab, "3D Viewer")
134.
135.         self.process_tab = QWebView()
136.         self.tabs.addTab(self.process_tab, "Process models")
137.
138. # Implementing the OCC viewer
139. self.canvas = ProductViewer(self)
140. self.setGeometry(100, 100, 850, 550)
141. self.setWindowTitle("Application IFC | Log | Process models")
142.
143. # Calling the tabs
144. self.tab_log()
145. self.tab_3dview()
146. self.tab_processes()
147.
148.# Tab 1
149.     def tab_log(self):
150.         # Define and set layouts
151.         vbox = QtGui.QVBoxLayout()
152.         hbox = QtGui.QHBoxLayout()
153.         hbox2 = QtGui.QHBoxLayout()
154.         hbox3 = QtGui.QHBoxLayout()
155.         vbox2 = QtGui.QVBoxLayout()
156.         vbox3 = QtGui.QVBoxLayout()
157.
158.         vbox.addLayout(hbox)
159.         vbox.addLayout(hbox2)
160.         hbox2.addLayout(vbox2)
161.         hbox2.addLayout(vbox3)
162.         vbox3.addLayout(hbox3)
163.         self.log_tab.setLayout(vbox)
164.
165.         vbox2.setSpacing(50)
166.         vbox3.setSpacing(50)
167.         hbox3.setSpacing(10)
168.         # Set the introduction text in the first tab
169.         csv_log_introduction = QtGui.QLabel(
170. """
171.This tab provides operations to open the TXT history log data.
172.
173.The next tab enables the user to visualise the IFC in a 3D environment and connect the history
log data to the elements in the IFC model.
174.When an IFC is imported:
175.1) Click on the 'Switch level' button to view the level you want,
176.2) Click on the 'Color elements' button to view the colors of the modified elements where;
177.    - Green colored elements are the least modified
178.    - Orange colored elements are moderately modified
179.    - Red colored elements are the most modified
180.3) Click on a colored element and click on the 'Show history' button to view the history data
of that element.
181.
182.In the last tab the user could view the process models created by myInvenio*. Thereby the filt
ered CSV history log file is used and this CSV
183.is created by means of the TXT history log data.
184.
185.* https://www.my-invenio.com/
186."""
187.         )
188.         # Set the text details
189.         csv_log_introduction.setMaximumHeight(500)
190.         csv_log_introduction.setWordWrap(True)
191.         font = QtGui.QFont()
192.         font.setPointSize(9)
193.         csv_log_introduction.setFont(font)
194.

```

```

195.     # Set the text for the button, label, path
196.     openTXT = QtGui.QLabel("Open a TEXT file that contains log data:")
197.     openTXT_btn = QtGui.QPushButton("Open TXT file", self)
198.     self.openTXT_btn_path = QtGui.QLineEdit(self)
199.     self.openTXT_btn_path.setPlaceholderText("Open the required history design data here")
200.
201.     # When clicking on the button, in a second screen a .txt file could be selected
202.     openTXT_btn.clicked.connect(self.open_txt)
203.     # Adding widgets
204.     hbox.addWidget(csv_log_introduction)
205.     vbox2.addWidget(openTXT)
206.     hbox3.addWidget(self.openTXT_btn_path)
207.     hbox3.addWidget(openTXT_btn)
208.
209.     # Definition to open a .txt file
210.     def open_txt(self):
211.         self.txtFilePath = QtGui.QFileDialog.getOpenFileName(self, 'Open file', '.', "Text Fil
es (*.txt)")
212.         self.txtFileName = str(os.path.basename('%s' % self.txtFilePath))
213.         self.openTXT_btn_path.setText(self.txtFilePath)
214.         return self.txtFilePath
215.
216. # Tab 2
217.     def tab_3dview(self):
218.
219.         # Initializing a split-view layout
220.         self.historybox = QtGui.QTextBrowser()
221.         self.current_levelbox = QtGui.QTextBrowser(self)
222.         self.current_levelbox.setMinimumHeight(0)
223.         self.current_levelbox.setMaximumHeight(50)
224.         sizePolicy2 = QtGui.QSizePolicy(QtGui.QSizePolicy.MinimumExpanding, QtGui.QSizePolicy.
MinimumExpanding)
225.         font = QtGui.QFont()
226.         font.setFamily(("Arial"))
227.         font.setPointSize(10)
228.         self.historybox.setFont(font)
229.         self.historybox.setSizePolicy(sizePolicy2)
230.         self.current_levelbox.setFont(font)
231.
232.         # Define a widget for the 3D viewer
233.         center = QtGui.QWidget()
234.         # Define and set layout
235.         mainLayout = QtGui.QHBoxLayout(center)
236.         viewer_hbox = QtGui.QHBoxLayout()
237.         viewer_vbox = QtGui.QVBoxLayout()
238.
239.         # Define buttons
240.         viewer_open_ifc_btn = QtGui.QPushButton("Open IFC", self)
241.         viewer_open_ifc_btn.clicked.connect(self.open_ifc_file)
242.         viewer_color_btn = QtGui.QPushButton("Color elements", self)
243.         viewer_color_btn.clicked.connect(self.color_ifc_with_log)
244.         viewer_show_hist_btn = QtGui.QPushButton("Show history", self)
245.         viewer_show_hist_btn.clicked.connect(self.viewer_history)
246.         viewer_level_objects_btn = QtGui.QPushButton("Switch level", self)
247.         viewer_level_objects_btn.clicked.connect(self.switch_levels)
248.         splitter = QtGui.QSplitter(QtCore.Qt.Horizontal)
249.         splitterH = QtGui.QSplitter(QtCore.Qt.Vertical)
250.
251.         # Adding widgets
252.         splitter.addWidget(self.canvas)
253.         splitter.addWidget(splitterH)
254.         splitterH.addWidget(self.current_levelbox)
255.         splitterH.addWidget(viewer_level_objects_btn)
256.         splitterH.addWidget(self.historybox)
257.         viewer_vbox.addWidget(splitter)
258.         viewer_vbox.addLayout(viewer_hbox)
259.         self.viewer_tab.setLayout(viewer_vbox)
260.         viewer_hbox.addWidget(viewer_open_ifc_btn)

```

```

261.         viewer_hbox.addWidget(viewer_color_btn)
262.         viewer_hbox.addWidget(viewer_show_hist_btn)
263.         viewer_level_objects_btn.setMaximumHeight(50)
264.         self.count = 0
265.
266.     # View the history information of a selected element in textbox
267.     def viewer_history(self):
268.         self.ifc_file = ifcopenshell.open(self.filename)
269.         histdata = filterlog_processes2.load(self.txtFilePath)
270.         hist_data = filterlog_processes2.process_file_for_history(histdata)
271.
272.         self.historybox.clear()
273.         self.guid_to_prop_dict()
274.
275.     # Append history data to textbox for GUID input (selection)
276.     for guid in self.guid_to_prop[guid_selection]:
277.         hist_values = hist_data[guid]
278.         self.historybox.setPlainText(hist_values)
279.
280.     return
281.
282.     # Append the IDs of elements to dictionary
283.     def guid_to_prop_dict(self):
284.         self.guid_to_prop = defaultdict(list)
285.         for elem in self.ifc_file.by_type("IfcProduct"):
286.             self.guid_to_prop[elem.GlobalId].append(elem.GlobalId)
287.
288.     # Open IFC file
289.     def open_ifc_file(self, filename=None):
290.         self.filename = QtGui.QFileDialog.getOpenFileName(self, 'Open file', '.', "Industry Fo
undation Classes(*.ifc)")
291.         if self.filename:
292.             self.parent.display.EraseAll()
293.             self.historybox.clear()
294.             self.current_levelbox.clear()
295.             self.parse_ifc(self.filename)
296.
297.     # Visualize IFC model
298.     def parse_ifc(self, filename):
299.         self.created_shapes = {}
300.
301.         self.ifc_file = ifcopenshell.open(filename)
302.         elements = self.ifc_file.by_type("IfcBuildingElement")
303.         for element in elements:
304.             if element.Representation:
305.                 try:
306.                     ifcgeom = ifcopenshell.geom.create_shape(settings, element).geometry
307.                     shp = self.canvas.Show(element.GlobalId, ifcgeom, None)
308.                 except:
309.                     print "Failed to process", element
310.
311.     # Change colors of modified IFC elements by using a color range
312.     def color_ifc_with_log(self, filename):
313.         self.ifc_file = ifcopenshell.open(self.filename)
314.
315.         logdata = filterlog_processes2.load(self.txtFilePath)
316.         visualisation_data = filterlog_processes2.process_file_for_visualisation(logdata)
317.         max_count = max(visualisation_data.values())
318.
319.     # Find GUID in ifc
320.     # Change color of elements to green when count is <= 1/3 of maximum counts
321.     # Change color of elements to red when count is > 2/3 of maximum counts
322.     # Change color of elements to orange when count is > 1/3 and <= 2/3 of maximum counts
323.     for product in self.ifc_file.by_type("IfcProduct"):
324.         if product.GlobalId in visualisation_data:
325.             try:
326.                 count = visualisation_data[product.GlobalId]
327.                 if count <= max_count / 3:

```

```

328.             shapes = self.canvas.ColorGreen(product.GlobalId)
329.         if count > max_count * (2 / 3):
330.             shapes2 = self.canvas.ColorRed(product.GlobalId)
331.         if count > max_count / 3 and count <= max_count * (2/3):
332.             shapes = self.canvas.ColorOrange(product.GlobalId)
333.     except:
334.         print "Failed to process", product.GlobalId
335.
336.     self.canvas._display.repaint()
337.
338.     current_level = 0
339.
340. # Definition to switch the 3D view to a different floor level
341. def switch_levels(self):
342.     levels = self.ifc_file.by_type("IfcBuildingStorey")
343.     self.parent.display.EraseAll()
344.     self.historybox.clear()
345.
346.     # Look at the current level
347.     level = levels[self.current_level]
348.
349.     # Show text which floor is visualized in 3D at that moment
350.     self.current_levelbox.setPlainText("The current level: " + str(self.current_level) + " "
351.     of " + str((len(levels)) - 1))
352.
353.     # Visualize all elements related to the specific floor
354.     for elements in level.ContainsElements[0].RelatedElements:
355.         if elements.Representation:
356.             ifcgeom = ifcopenshell.geom.create_shape(settings, elements).geometry
357.             shp = self.canvas.Show(elements.GlobalId, ifcgeom, None)
358.
359.     # Look at the next level when clicking on the 'Switch level' button
360.     # Use the total building storeys in the model as the maximum levels to switch to
361.     self.current_level += 1
362.     if self.current_level == (len(levels)-1):
363.         self.current_level = 0
364.# Tab 3
365.     def tab_processes(self, filename=None):
366.         # To visualize the process models of the different data sets, a folder with images of
367.         # the process flows (created by myInvenio) is used by means of a html code (Appendix X)
368.         self.process_tab.load(QUrl("file:///C:/Users/s141362/Desktop/testprocesslayout/layout.
369.         html"))
370.
371.         # Close tool
372.         def closeEvent(self, event):
373.             result = QtGui.QMessageBox.question(self,
374.                                                 "Confirm Exit",
375.                                                 "Are you sure you want to exit ?",
376.                                                 QtGui.QMessageBox.Yes | QtGui.QMessageBox.No)
377.             event.ignore()
378.
379.             if result == QtGui.QMessageBox.Yes:
380.                 event.accept()
380.init = initUI()

```

Appendix X: Script for data visualization of the process models

```
1. <style>
2.   body {
3.     white-space: nowrap;
4.   }
5.   img {
6.     display: inline-block;
7.     width: 30%;
8.     height: auto;
9.   }
10. </style>
11. 
12. 
13. 
```